

Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap

***Betekenis van milieugradiënten en
waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van
het natte zandlandschap***

Eindrapport deel 4

Gert-Jan van Duinen
Hein van Kleef
Michiel Wallis de Vries
Arnold van den Burg



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

© 2011 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2011/OBN147-4-NZ
Den Haag, 2011

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap
onder vermelding van code 2011/OBN147-4-NZ en het aantal exemplaren.

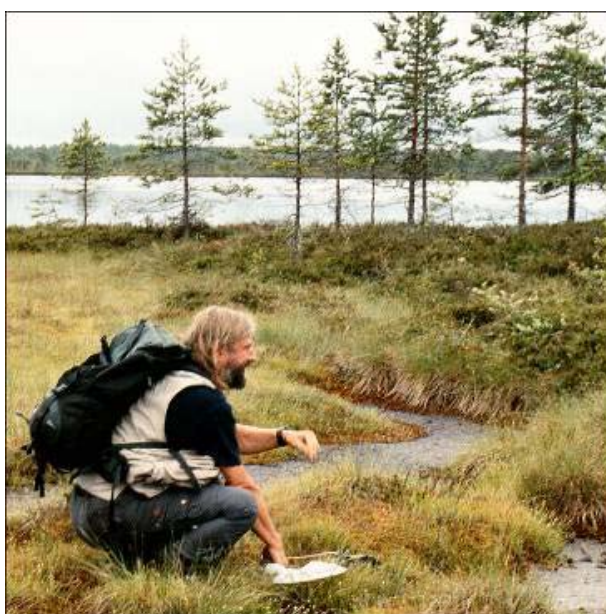
Oplage 150 exemplaren

Samenstelling G. van Duinen, H. van Kleef, M. Wallis de Vries, A. van
den Burg

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Opgedragen aan Hans Esselink
(1955-2008)



Voorwoord

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

Het onderzoek "Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap" is uitgevoerd in de Natura 2000 gebieden De Groote Heide, Dwingelderveld, Haaksbergerveen en in de boswachterij Gieten. Er is vooral gekeken naar de habitattypen heideveentjes en aangetast hoogveen. Daarnaast zijn er tijdens het onderzoek ook veel met uitsterven bedreigde soorten aangetroffen.

Voor een verder en duurzaam herstel van deze gebieden, habitattypen en soorten is herstel op landschapsschaal noodzakelijk. Daarom wordt in dit onderzoek achtereenvolgens de volgende vier delen besproken:

- Deel 1A: landschapsecologische systeemanalyse (LESA)
- Deel 1B: verschillende landschapsvormen
- Deel 2: dynamiek van peilen en fluxen
- Deel 3: herkomst van kooldioxide (CO₂)
- Deel 4: betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor fauna

Kortom, dit rapport biedt de natuurbeheerder een groot aantal handvatten om een goed beheerplan op te stellen. Daarnaast biedt het rapport een dieper inzicht in het functioneren van hoogveensystemen.

Drs. E.H.T.M. Nijpels
Voorzitter Bosschap

Dankwoord

Dit onderzoek zou niet mogelijk zijn zonder de hulp van velen. We bedanken alle betrokken terreinbeheerders in Nederland, België, Duitsland, Denemarken en Estland voor hun medewerking bij het opstarten en uitvoeren van het onderzoek. Verschillende mensen leverden hun onmisbare bijdrage aan het veld- en laboratoriumwerk. Albert Dees, Jan Kuper, Tiina Parkkima, Albert Vliegenthart, Jehan van den Berg, Mark Meijrink, Camille Turlure, Hans van Dyck, Pauline Arends, Agu Leivits, Meelis Leivits, Birgit Knudsen, Bjarke Huus Jensen, Wouter de Vlieger, Albert Henckel, Roy Dear, Robert Ketelaar, Mari de Bijl en Rob van der Burg verleenden medewerking aan en toestemming voor het veldwerk in de verschillende terreinen. Albert Dees en Jan Kuper voerden de determinaties van de verzamelde fauna uit. Ankie de Vries-Brock, Jelle Eygenstein en TNO voerden de chemische analyses uit. Frits Bink en Wilco Verberk worden bedankt voor de constructieve discussies en bijdragen aan het onderzoek. Mark Meijrink, Jehan van den Berg, Eleonore Danhier, Victoriia Radchuck en Camille Turlure hebben lange dagen gemaakt om de bioassay met rupsen van de Veenbesparelmoervlinder uit te voeren. Medewerkers van de Vlinderstichting, EIS-Nederland en Floron verleenden medewerking door het beschikbaar stellen van gegevens uit de landelijke Nederlandse databestanden.

Dit onderzoek werd begeleid door het OBN-deskundigenteam Nat Zandlandschap. Dank voor jullie opbouwend commentaar bij de voorbereiding en uitvoering van dit onderzoek.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Aantasting en herstel van biodiversiteit in het natte zandlandschap	8
1.2	Randvoorwaarden voor herstel biodiversiteit in het natte zandlandschap	8
1.3	Aanpak op landschapsschaal noodzakelijk	9
1.4	Onderzoeksvragen	10
2	Uitvoering	12
2.1	Inleiding	12
2.2	Terreinkeuze	12
3	Milieugradiënten en soortensamenstelling	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Deelvragen	14
3.3	Uitvoering	15
3.4	Resultaten en discussie	21
4	Veenvlinders en waardplantenkwaliteit	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Deelvragen	38
4.3	Werkwijze	38
4.4	Resultaten en discussie	43
5	Conclusies, aanbevelingen en samenvatting	60
6	Literatuur	62

Deelrapporten

De volgende andere deelrapporten zijn verschenen over de resultaten van het OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap':

Deelrapport 1A: Landschapsanalyse

Gert Jan Baaijens, Peter van der Molen & Ab Grootjans

Deelrapport 1B: Catalogus Landschapsvormen

Gert Jan Baaijens & Peter van der Molen

Deelrapport 2: Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes

Jos von Asmuth, Ab Grootjans & Sake van der Schaaf

Deelrapport 3: Herkomst van CO₂ voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes

Hilde Tomassen, Ab Grootjans & Fons Smolders

Deelrapport 4: Betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap

Gert-Jan van Duinen, Hein van Kleef, Michiel Wallis de Vries & Arnold van den Burg

1 Inleiding

1.1 Aantasting en herstel van biodiversiteit in het natte zandlandschap

Natte, voedselarme en zure tot zwak gebufferde ecosystemen zijn zeer gevoelig voor verdroging, vermesting en verzuring. Veel van deze natte gebieden op de hogere zandgronden (hoogvenen, natte heiden, vennen, oorsprongen van beken met vochtige en natte schraallanden, berkenbroeken en multifunctionele bossen) verliezen teveel water naar de omgeving en/of krijgen minder grondwater toegevoerd vanuit de omgeving. Deze aantastingen en ontginningen hebben geleid tot een sterke nivellering en versnippering van ecosystemen. Karakteristieke soorten van deze ecosystemen zijn in Nederland sterk achteruitgegaan of zelfs verdwenen. Om deze ecosystemen en hun karakteristieke biodiversiteit te behouden en te herstellen, zijn in de afgelopen decennia effectgerichte maatregelen genomen, onder andere in het kader van EGM/OBN.

1.2 Randvoorwaarden voor herstel biodiversiteit in het natte zandlandschap

In de afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeksprojecten uitgevoerd m.b.t. herstel en behoud van de verschillende onderdelen van het natte zandlandschap: o.a. EGM/OBN-onderzoek in vennen, natte heiden, vochtige en natte schraallanden, hoogvenen, landschapsecologisch onderzoek Dwingelerveld, OBN-Faunaonderzoek naar de betekenis van heterogeniteit voor ongewervelde fauna (case-study Korenburgerveen) en het Nederlands-Iers onderzoeksproject naar hoogveenherstel. Dit onderzoek in de verschillende onderdelen van het natte zandlandschap heeft bijgedragen aan het ophelderen van de randvoorwaarden voor succesvol herstel van hoogvenen, vennen, natte heide, vochtige en natte schraallanden en bronnen. Zuur-buffering en de beschikbaarheid van koolstof zijn sleutelfactoren in de vegetatieontwikkeling in vennen en hoogvenen. Voor Littorellion vegetaties is C-limitatie in de waterlaag een randvoorwaarde, terwijl voor herstel van hoogveenvormende vegetaties de beschikbaarheid van voldoende CO₂ in de waterlaag essentieel is, in combinatie met een gunstige waterhuishouding (Bobbink et al. 2004, Smolders et al. 2003, 2004).

Daarnaast is vastgesteld dat in hoogvenen en natte heide herstel van de voormalige diversiteit aan soorten kruidachtige planten, bladmossen, korstmossen en de fauna nog beperkt is. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn vermoedelijk de hoge beschikbaarheid van nutriënten, de sterke afname van de basenverzadiging van de bodem en het verdwijnen van gradiënten in het landschap. Vooronderzoek heeft laten zien dat stagnatie van hoogveenherstel en het onvoldoende herstel van de biodiversiteit waarschijnlijk samenhangt

met te grote lekverliezen van water door de veenbasis in hoogveenrelicten of door slecht doorlatende lagen (B-horizonten, gyttjalagen etc.) onder heidevennen, die in Drenthe ook wel veentjes worden genoemd. Deze lekverliezen kunnen worden verminderd door het verhogen van de regionale of lokale waterpotentialen (vergroten van de tegendruk). In veentjes wordt daardoor ook de toevoer van lokaal grondwater vergroot, doordat minder neerslag door de omliggende B-horizonten ontsnapt. Dit lokale grondwater is doorgaans minder zuur dan regenwater, omdat het in geringe mate mineralen uit de bodem opneemt en het is rijker aan CO₂ (Verschoor et al. 2003). In het hoogveenbeheer bestaat al langere tijd de vraag of waterverzadiging van de veenbasis een randvoorwaarde is voor duurzaam herstel van hoogvenen, zowel voor beperking van waterstands-fluctuaties door wegzijging, als voor de CO₂-voorziening. Door verhoging van het grondwaterpeil zouden ook gradiënten in zuurgraad en beschikbaarheid van mineralen rond de veentjes hersteld kunnen worden. Om deze redenen is het belangrijk te weten in hoeverre lekverliezen door de veenbasis en B-horizonten verminderd kunnen worden en in welke mate de toename van de invloed van grondwater kan bijdragen aan herstel van de biodiversiteit.

Uit vergelijkend OBN-onderzoek naar de aquatische fauna van Nederlandse hoogveenrestanten en vennen en Estlandse intacte hoogveensystemen is gebleken dat diverse soorten van zowel de voedselarme hoogveenkern, als van mesotrofe milieutypen op de gradiënt van hoogveenkern naar het omringende landschap in Nederland sterk achteruit zijn gegaan. Hiervoor zijn vermoedelijk de overmaat aan stikstof (Van Duinen et al. 2004) en de afgenomen beschikbaarheid van mineralen in Nederlandse hoogvenen en vennen belangrijke oorzaken, naast de degradatie van lagg-zones en overgangsvennen en hun ruimtelijke heterogeniteit (Van Duinen et al. 2006b). In het kader van het Soortenbeschermingsplan Veenvlinders is verandering van de kwaliteit van de waardplanten -als gevolg van vermeting en verzuring- van Veenhooibeestje (*Coenonympha tullia*), Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) en Veenbesblauwtje (*Plebejus optilete*) naar voren gekomen als een mogelijke sleutelfactor in de achteruitgang van deze herbivoren (Van Duinen et al. 2006a). Om meer aanwijzingen te krijgen of de veranderde kwaliteit van waardplanten als gevolg van veranderingen in water- en bodemkwaliteit inderdaad een belangrijke sleutelfactor is voor het voorkomen van karakteristieke herbivoren, omvat dit OBN-onderzoek een pilot-study aan de waardplanten van de genoemde veenvlinders.

1.3 Aanpak op landschapsschaal noodzakelijk

Herstel op landschapsschaal is noodzakelijk voor een verder en duurzaam herstel van de verschillende onderdelen van het natte zandlandschap, gradiënten en de karakteristieke flora- en faunadiversiteit. Om het herstel van condities en processen op landschapsschaal adequaat aan te pakken, zijn landschapsecologische systeemanalyses essentieel. In dit onderzoeksproject wordt een methodische systeembeschrijving opgesteld en uitgewerkt voor verschillende terreinen. In deze systeemanalyse staan de relaties tussen de (a)biotische milieucondities (o.a. waterpeil, basenverzadiging, CO₂-concentratie) en de ontwikkeling van de vegetatie en fauna in de hoogveenrestanten, vennen en de omliggende delen van het natte zandlandschap centraal. Door de verschillende disciplines wordt aan deze analyse bijgedragen. De systeemanalyse had nog geen prioriteit in het voorgaande

OBN-onderzoek, dat vooral op condities en processen op micro- en mesoschaal was gericht. Deze landschapskennis en beantwoording van de vragen over de waterverzadiging van de veenbasis en de beschikbaarheid van micronutriënten bepalen in belangrijke mate het inzicht in de herstel-mogelijkheden van veentjes en hoogvenen en daarmee de koers en intensiteit van het externe beheer door terreinbeheerders. Daarom zijn deze vragen ook urgent. Ze kunnen nu met succes worden opgepakt, omdat dankzij het eerdere OBN-onderzoek aan hoogvenen (Smolders et al. 2004, Tomassen et al. 2003, 2006) bekend is geworden wat op operationeel en conditioneel niveau de belangrijkste sturende processen zijn. Wat nu bekend moet worden - om een effectief extern beheer te kunnen voeren en vervolgens te kunnen bepalen welke interne hydrologische herstelmaatregelen onvermijdelijk zijn - is hoe deze operationele en conditionele factoren worden aangestuurd door processen op landschapsschaal.

1.4 Onderzoeksvragen

Door de Directie Kennis en het OBN-deskundigenteam Nat Zandlandschap zijn de volgende **kennisvragen** geformuleerd:

1. Wat is de betekenis van waterverzadiging van de veenbasis op het grondwaterregime en de levensgemeenschappen van hoogvenen?
2. Is de achteruitgang van veenvlinders in Nederland te wijten aan een veranderde samenstelling van de bodem en het bodemvocht, die doorwerkt in een veranderde kwaliteit van de waardplanten?
3. Hoe worden waterpeilen, biogeochemie, vegetatie en fauna in en om hoogveenvennen, en hoogveenrestanten, andere ventypen en de omliggende delen van het natte zandlandschap beïnvloed door het lokaal en regionaal hydrologisch systeem? Geef hiervoor een methodische systeembeschrijving die in concrete gevallen kan worden toegepast en waarmee de gewenste herstelmaatregelen kunnen worden afgeleid.

Om deze kennisvragen te beantwoorden, is onderzoek opgestart gericht op het beantwoorden van de volgende **onderzoeksvragen**:

1. Welke informatie en gegevensanalyses dient een landschapsecologische systeemanalyse te omvatten op basis waarvan de perspectieven voor herstel van hoogveenvorming en milieugradiënten kunnen worden aangegeven, alsook adequate maatregelen op verschillende schaalniveaus van het landschap of het hydrologisch systeem kunnen worden geformuleerd?
2. Hoe schat je de lekverliezen in en om vennen en hoogveenrestanten, en de invloed van het lokale en regionale hydrologische systeem daarop?
3. Waar komt de CO₂ vandaan die de veenvorming op gang brengt?
4. In hoeverre hangt het voorkomen van karakteristieke planten- en diersoorten samen met gradiënten in de invloed van minerotroof grondwater en de basenverzadiging in het veen?
5. Is de achteruitgang van veenvlinders in Nederland te wijten aan een veranderde samenstelling van de bodem en het bodemvocht, die doorwerkt in een veranderde kwaliteit van de waardplanten?

In dit deelrapport worden deelvragen 4 en 5 rond de knelpunten voor de fauna behandeld. De eerste drie deelvragen komen in de deelrapporten 1, 2 en 3 aan de orde.

2 Uitvoering

2.1 Inleiding

Om de geformuleerde onderzoeksvragen te beantwoorden is een combinatie nodig van een landschapsecologische systeemanalyse, vergelijkend veldonderzoek en laboratoriumexperimenten. Complexen van zure heidevennen in pleistoceen Nederland vormen met hun relatief kleine schaal en verschillen in bodemtype, lokale hydrologie en ontstaanswijze uitstekende modelsystemen om via een landschapsecologische benadering de relaties tussen omgeving, hydrologie, biogeochemie, vegetatieontwikkeling en faunasamenstelling te ontrafelen. Tevens vormen deze complexen in het natte zandlandschap de meest kansrijke systemen voor het herstel van hoogveenvegetaties met hun bijbehorende overgangszones naar de minerale ondergrond. Overigens is ook in de grotere hoogveenrestanten het herstel van overgangszones naar de minerale ondergrond wel essentieel voor het herstel van de biodiversiteit. De kennis die de landschapsecologische systeemanalyse en het vergelijkend veldonderzoek van vencomplexen oplevert, dient overdraagbaar te zijn naar andere vencomplexen en ook bruikbaar te zijn voor het herkennen van kansrijke situaties in grotere hoogveenrestanten, om vervolgens adequaat in te grijpen om herstel in gang te zetten. Daarom worden in dit onderzoeksproject de onderzoeksvragen beantwoord door vergelijkend onderzoek in drie complexen van venen - waarbinnen hoogveenvorming wel en niet optreedt - en in een hoogveenrestant.

2.2 Terreinkeuze

Het onderzoeksproject is grotendeels uitgevoerd in de volgende terreinen:

1. **Dwingelerveld** (Drenthe): Van dit gebied waren bij de start van het onderzoek al veel gegevens beschikbaar die nodig zijn voor de landschapsecologische systeemanalyse. Het gebied omvat heidevennen (of veentjes) met verschillende mate van hoogveenvorming en verschillen in watertoevoer en waterverzadiging van de veenbasis.
2. **Boswachterij Gieten** (Drenthe): Voor dit gebied (met name Gasselternveld) was reeds een goede start gemaakt met de systeemanalyse in het kader van een milieueffectrapportage voor een zandwinning. Door deze zandwinning is het lokale grondwater diep onder de veenbodems van veentjes gezakt. Deze veentjes dienen als voorbeelden van aangetaste veentjes, waar ook milieugradiënten rond de veentjes grotendeels ontbreken.
3. **Haaksbergerveen** (Overijssel): Middelgroot hoogveenrestant, waarbinnen de mate van hoogveenvorming verschilt tussen terreindelen, de veenbasis gedeeltelijk wel en gedeeltelijk niet waterverzadigd is en zowel zuur als meer gebufferd oppervlaktewater aanwezig is.

4. **De Groote Heide** (Baronie Kranendonck/Boswachterij Leende) werd onderzocht in het kader van het OBN-project 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap: Case-study Groote Heide, Noord-Brabant'. De in de drie genoemde Noord-Nederlandse terreinen verzamelde gegevens zijn geanalyseerd samen met de gegevens van de Groote Heide. De Groote Heide is representatief voor vennencomplexen in Zuid-Nederland en omvat natte heide, vennen en veentjes met verschillende ontstaanswijze (o.a. laagten op Brabantse leem, in afgesnoerde beeklopen) en in diverse stadia van ontwikkeling, omringd door grote bossen.

De veentjes in Dwingelerveld, boswachterij Gieten, Groote Heide en de compartimenten in het Haaksbergerveen zijn zo gekozen dat zowel het onderzoek naar hydrologie/lekverliezen, als de onderzoeken naar CO₂-herkomst, variatie in milieugradiënten en basenverzadiging en biodiversiteit er in plaats kon vinden. Voor het onderzoek naar de kwaliteit van de waardplanten van de veenvlinders en het voorkomen van watermacrofauna-soorten in gradiënten is daarnaast in andere Nederlandse en buitenlandse terreinen materiaal verzameld. In de volgende hoofdstukken worden nadere details over deze onderzoeksterreinen gegeven.

3 Milieugradiënten en soortensamenstelling

3.1 Inleiding

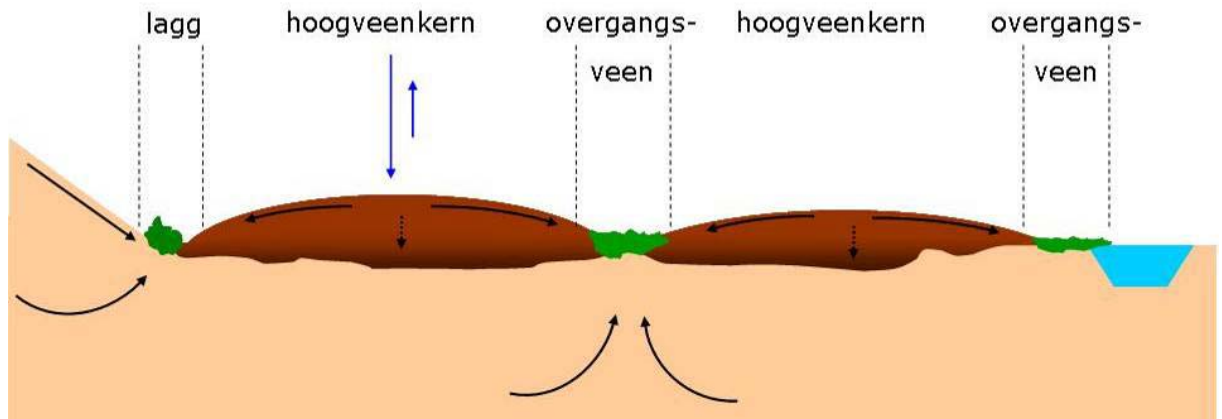
Uit het vergelijkende faunaonderzoek in het kader van OBN-hoogvenen is gebleken dat de watermacrofauna van de Nederlandse hoogvenen wordt gedomineerd door enkele soorten die in Estlandse hoogveenlandschappen hoofdzakelijk voorkomen in de door grondwater en/of oppervlaktewater beïnvloede, mesotrofe milieutypen: overgangsvenen en lagg-zones (Figuur 1). Daarentegen zijn andere soorten die kenmerkend zijn voor mesotrofe milieutypen op de gradiënt van hoogveenkern naar omringend landschap sterk achteruit gegaan in Nederland, evenals diverse soorten die kenmerkend zijn voor de voedselarme hoogveenkern (Van Duinen et al. 2004). De dominantie van 'mesotrafente soorten' en de afname van soorten die karakteristiek zijn voor de voedselarme hoogveenkern kan worden toegeschreven aan de sterk verhoogde beschikbaarheid van nutriënten in Nederlandse hoogvenen. Dat andere typische 'mesotrafente soorten', maar ook hoogveenkernsoorten in Nederland over het geheel genomen schaars zijn, maar op enkele locaties nog wel talrijk zijn, geeft aan dat de beschikbaarheid van nutriënten niet de enige sturende factor is in het voorkomen van deze soorten. Mogelijk doen deze soorten het in Nederland relatief goed op locaties waar nog grondwaterinvloed is en de basenverzadiging relatief hoog is, terwijl ze sterk achteruit zijn gegaan of verdwenen in de huidige verzuurde inzijsituaties: veen dat verdroogd is (geweest) en uitsluitend wordt gevoed door regenwater, zoals in het grootste deel van de grotere hoogveenrestanten. In dat geval is het herstel van grondwaterinvloed in en om hoogvenen van belang voor het herstel en behoud van de karakteristieke soorten van hoogveenkernen en hoogveenranden (overgangsvenen en lagg-zones). Hetzelfde geldt waarschijnlijk voor herstel van condities voor diverse kwetsbare en bedreigde plantensoorten, die vooral voorkomen in gradiëntsituaties tussen voedselarme en zure hoogveenkernen en voedselrijkere, meer gebufferde omgeving van het hoogveenlandschap.

3.2 Deelvragen

Voor dit deelproject zijn de onderstaande deelvragen geformuleerd.

1. Welke in Nederland bedreigde soorten zijn karakteristiek voor overgangsvenen en lagg-zones in intacte hoogveenlandschappen?
2. Komen deze soorten nog voor in Nederlandse hoogveenrestanten en veentjes?
3. Komen (gemeenschappen van) deze soorten in Nederland nog voor in andere habitattypen?

4. Onder welke milieucondities komen deze soorten voor in intacte hoogveenlandschappen?
5. Hoe komen de milieucondities van hoogveengradiënten tot stand in Nederlandse hoogveenrestanten en veentjes, of daar buiten?



Figuur 1. Schematische doorsnede van een hoogveenlandschap en weergave van waterstromen: neerslag en verdamping, zijwaartse afstroming en (geringe) inzijging in de hoogveenkern en toestrooming van ondiep en dieper grondwater in de lagg-zone en overgangsvenen.

3.3 Uitvoering

Verzameling van gegevens

In de vier voor dit OBN-project geselecteerde onderzoeksterreinen zijn monsterpunten gekozen waar de soortensamenstelling van de vegetatie (met name kruidachtige planten) en fauna zijn vastgelegd. Voor het onderzoek naar de soortensamenstelling van de fauna is gekozen voor bemonstering van watermacrofauna¹, omdat in het kader van OBN-onderzoek (vennen, hoogvenen, case-study Korenburgerveen) reeds veel gegevens zijn verzameld en kennis is ontwikkeld over de watermacrofauna. In het voorjaar en najaar van 2008 is watermacrofauna bemonsterd in het Haaksbergerveen, de Boswachterij Gieten (Veentje 1), het Dwingelerveld (Poort 2 en Barkmanveen) en de Groote Heide (Ronde Vlaas en Lange Vlaas). De locaties zijn aangegeven in Figuur 2 t/m 5.

In verband met de in paragraaf 3.2 geformuleerde deelvraag 5 zijn daarnaast in twee gradiëntsituaties in België (het Vijverven bij de Zwarte Beek en het Buitengoor) monsters van watermacrofauna en oppervlaktewater genomen. Verder zijn monsters genomen in drie Nederlandse gradiënten: watermacrofauna en oppervlaktewater in het Greveschutven (tussen Valkenswaard en Heeze) en oppervlaktewater in het Ringselven (ten zuiden van Valkenswaard) en het Rijsven (bij Budel-Dorplein).

In dit onderzoeksproject zijn eveneens gegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit en de soortensamenstelling van de vegetatie en watermacrofauna

¹ Onder watermacrofauna worden de ongewervelde dieren verstaan, die met het blote oog zichtbaar zijn en waarvan de voortplantingsfase in het water plaatsvindt. Dit betreft borstelwormen, platwormen, watermijten, waterspinnen, haften, libellen, water- en oppervlaktewantsen, waterkevers, kokerjuffers en vliegen en muggen.

gebruikt die in voorgaande onderzoeksprojecten zijn verzameld in de grotere Nederlandse hoogveenrestanten en enkele veentjes en Estlandse intacte hoogveensystemen. Tenslotte zijn verspreidingsgegevens gebruikt van Rode-Lijstsoorten in Nederland van de periode 1990-2006 uit de landelijke databestanden van de Vlinderstichting (libellen), European Invertebrate Survey-Nederland (kokerjuffers) en Floron (vaatplanten).

Verwerking van de gegevens per deelvraag

Deelvraag 1: Voor het selecteren van bedreigde soorten die karakteristiek zijn voor overgangsvenen en lagg-zones in intacte hoogvenen zijn vegetatieopnamen en watermacrofaunagegevens van 26 locaties in de Estlandse venen Nigula (Natuurreservaat Nigula), Valgeraba (Nationaal Park Soomaa) en Punaraba (Natuurreservaat Endla) gebruikt die in het voorjaar van 2001 en najaar van 2005 zijn verzameld door Stichting Bargerveen. Vijftien van deze 26 locaties lagen in de hoogveenkern en 11 in overgangsvenen of lagg-zones. Soorten werden karakteristiek voor overgangsvenen en lagg-zones genoemd als ze een hogere frequentie hadden in de monsterpunten in de overgangsvenen en lagg-zones dan in de hoogveenkern. Van deze soorten werden de soorten geselecteerd die op de Nederlandse Rode Lijsten als kwetsbaar, bedreigd, ernstig bedreigd of uitgestorven vermeld staan. In Nederland zijn Rode Lijsten beschikbaar voor vaatplanten (Van der Meijden et al. 2000), libellen (Wasscher et al. 1998), kokerjuffers (Verdonschot et al. 2003) en waterkevers (Drost et al. 1992).

Deelvraag 2: Om het voorkomen van de onder deelvraag 1 geselecteerde bedreigde soorten *in* de grotere Nederlandse veenrestanten en kleinere veentjes te bepalen, zijn gegevens van het voorkomen van planten en watermacrofauna van 212 monsterpunten gebruikt. Deze gegevens zijn verzameld in voorjaar en najaar in de periode 1998 – 2007 in verschillende gebieden (Figuur 7; Korenburgerveen 45 monsterpunten; Dwingelerveld 8; Bargerveen 45; Haaksbergerveen 11; Engbertsdijksvenen 9; Fochteloërveen 6; Wierdense Veld 36; Mariapeel en Deurnese Peel 46; Tuspeel 6) (Van Duinen et al. 2003, Van Duinen 2008, Van Duinen et al. 2008a en 2008b, Verberk et al. 2006, Verberk 2008). Wijze van monsternamen voor watermacrofauna is beschreven in de genoemde rapporten en artikelen. Vaatplantensoorten binnen een straal van 5 m rondom de oppervlakte die op watermacrofauna werd bemonsterd, werden genoteerd.

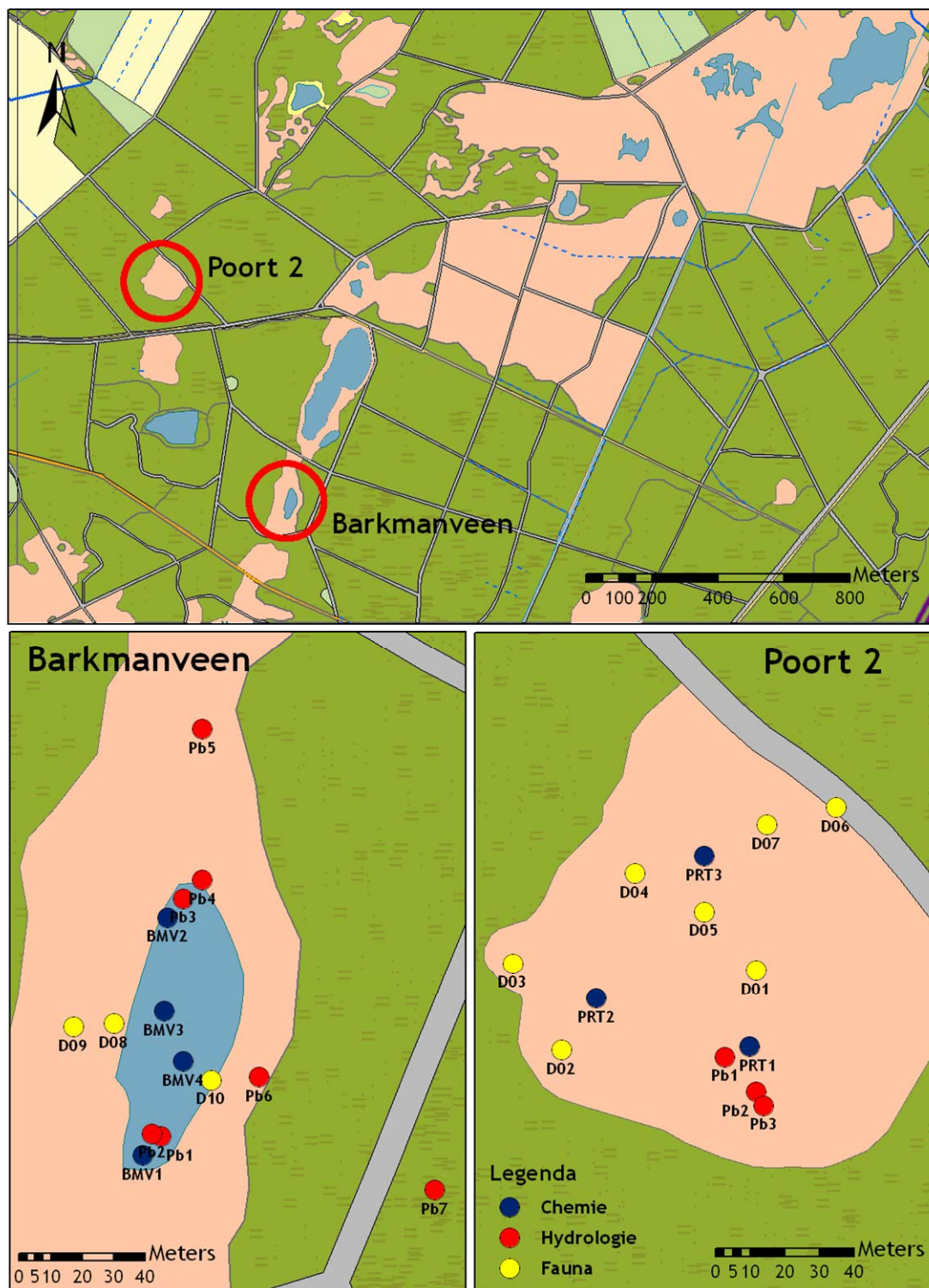
Deelvraag 3: Om te bepalen waar de geselecteerde bedreigde soorten (en soortgemeenschappen) die karakteristiek zijn voor overgangsvenen en lagg-zones voorkomen *buiten* de Nederlandse hoogveenrestanten en gebieden te identificeren met aggregaties van deze soorten werden verspreidingsgegevens van de geselecteerde soorten gebruikt uit de landelijke Nederlandse databestanden van de Vlinderstichting, EIS-Nederland en Floron. Omdat voor waterkevers geen goede dekking van verspreidingsgegevens over Nederland bestaat, zijn in de gegevensanalyse voor het beantwoorden van deelvraag 3 alleen de vaatplanten, kokerjuffers en libellen meegenomen.

Om na te gaan of de geselecteerde bedreigde soorten in Nederland in sterke mate beperkt zijn tot milieugradiënten die in terreincondities overeenkomen met de gradiënten in intacte hoogveenlandschappen, is de mate waarin tweetallen van de geselecteerde soorten tezamen voorkomen in hetzelfde of een aangrenzend kilometerhok uitgedrukt in een getal. De gebruikte methode voor de berekening van de mede-aanwezigheid ('co-occurrence') wordt beschreven door Van Kleef et al. (2010). De berekende mede-aanwezigheid van soortenparen is vergeleken met de mede-aanwezigheid wanneer de twee soorten een willekeurige verspreiding in natuurgebieden zouden hebben. Bij

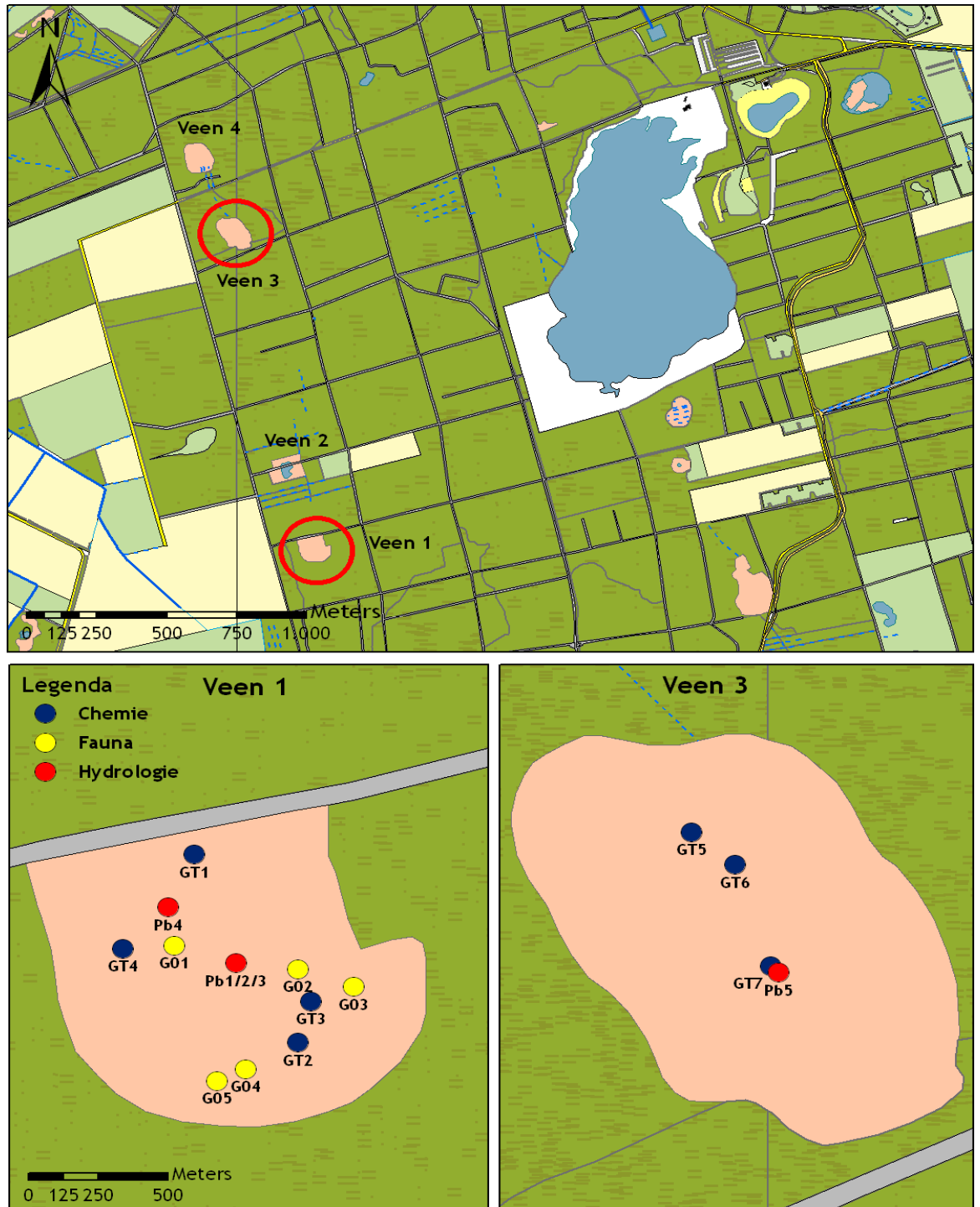
een willekeurige verspreiding van twee soorten zou het berekende getal voor de mede-aanwezigheid 4,5 zijn. De achterliggende gedachte hierbij is dat wanneer de twee soorten in sterke mate beperkt zijn tot dezelfde milieugradiënt, het berekende getal van hun mede-aanwezigheid relatief hoog moet zijn. Soorten met een geringe mede-aanwezigheid met de andere geselecteerde bedreigde soorten (berekend getal kleiner dan 5) zijn niet meegenomen bij het identificeren van milieugradiënten waar aggregaties van soorten voorkomen.

Deelvraag 4: Voor het beantwoorden van deze deelvraag zijn gegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit op monsterpunten in overgangsvelden en lag-zones vergeleken met die in de hoogveenrestanten in intacte velden in Estland. Verder is nagegaan bij welke range van pH-waarden (als indicator voor invloed van gebufferd grond- of oppervlaktewater) de bedreigde soorten voorkomen in Estlandse hoogveenlandschappen.

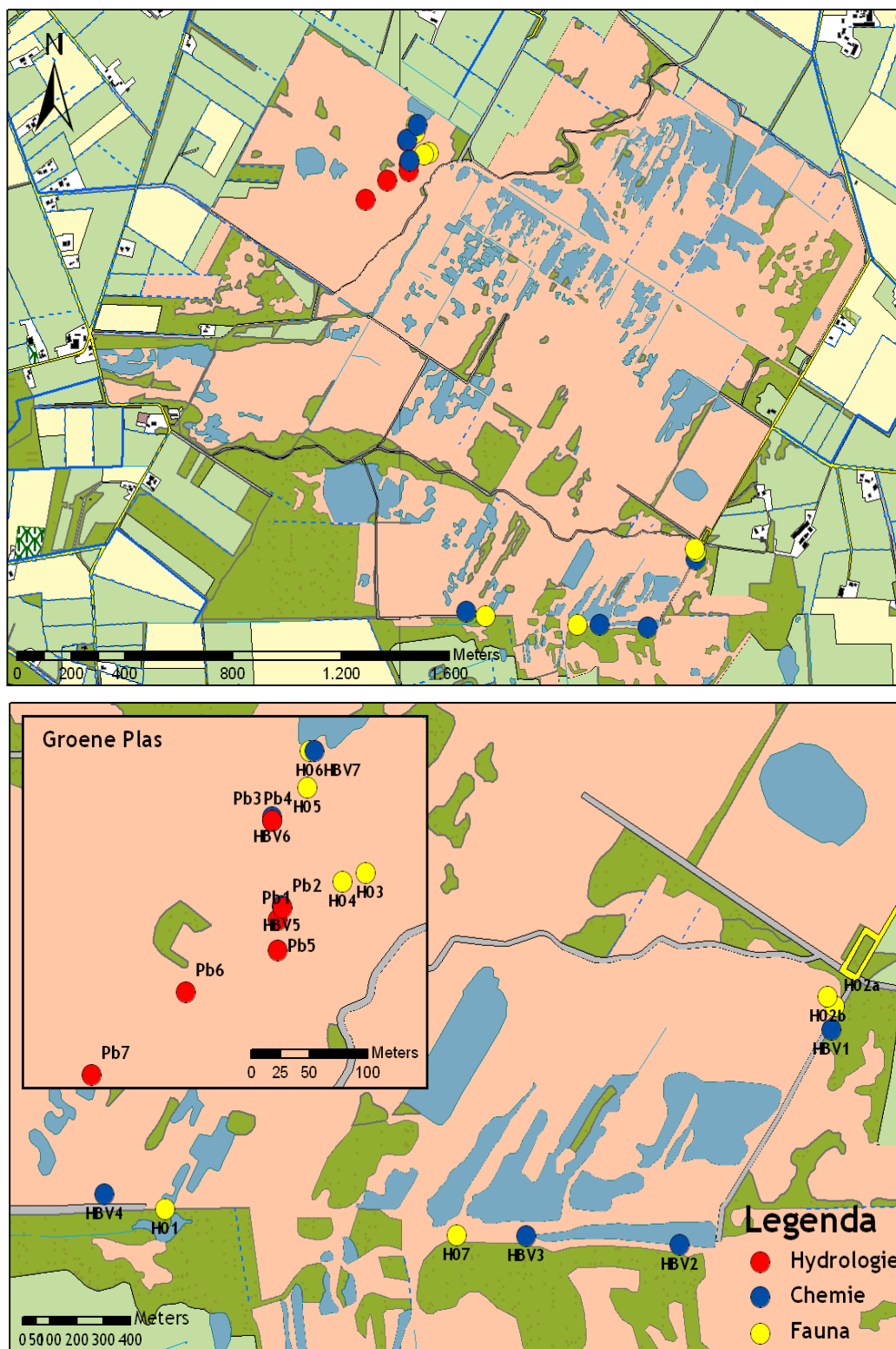
Deelvraag 5: Uit de analyse ten behoeve van deelvraag 3 komen enkele 'hotspots' van bedreigde soorten van hoogveengradiënten naar voren in het zuidoosten van Noord-Brabant, die aangemerkt kunnen worden als refugia voor deze bedreigde soorten buiten de hoogveenrestanten. Om inzicht te krijgen hoe deze gradiënten tot stand komen, is de oppervlaktewaterkwaliteit in drie van deze gradiënten onderzocht: het Greveschutven (tussen Valkenswaard en Heeze), het Ringselven (ten zuiden van Valkenswaard) en het Rijsven (bij Budel-Dorplein). Om meer inzicht te krijgen in de milieucondities die belangrijk zijn voor het voorkomen van kenmerkende soorten van hoogveengradiënten worden de milieucondities besproken aan de hand van opvallende patronen in de vindplaatsen van een aantal van deze kenmerkende soorten in Nederlandse hoogveenrestanten en veentjes, intacte hoogveenlandschappen in Estland en 5 gradiëntsituaties in het zuidoosten van Noord-Brabant en het aangrenzende deel van België (gegevens van dit onderzoek en van voorgaande onderzoeksprojecten van Stichting Bargerveen).



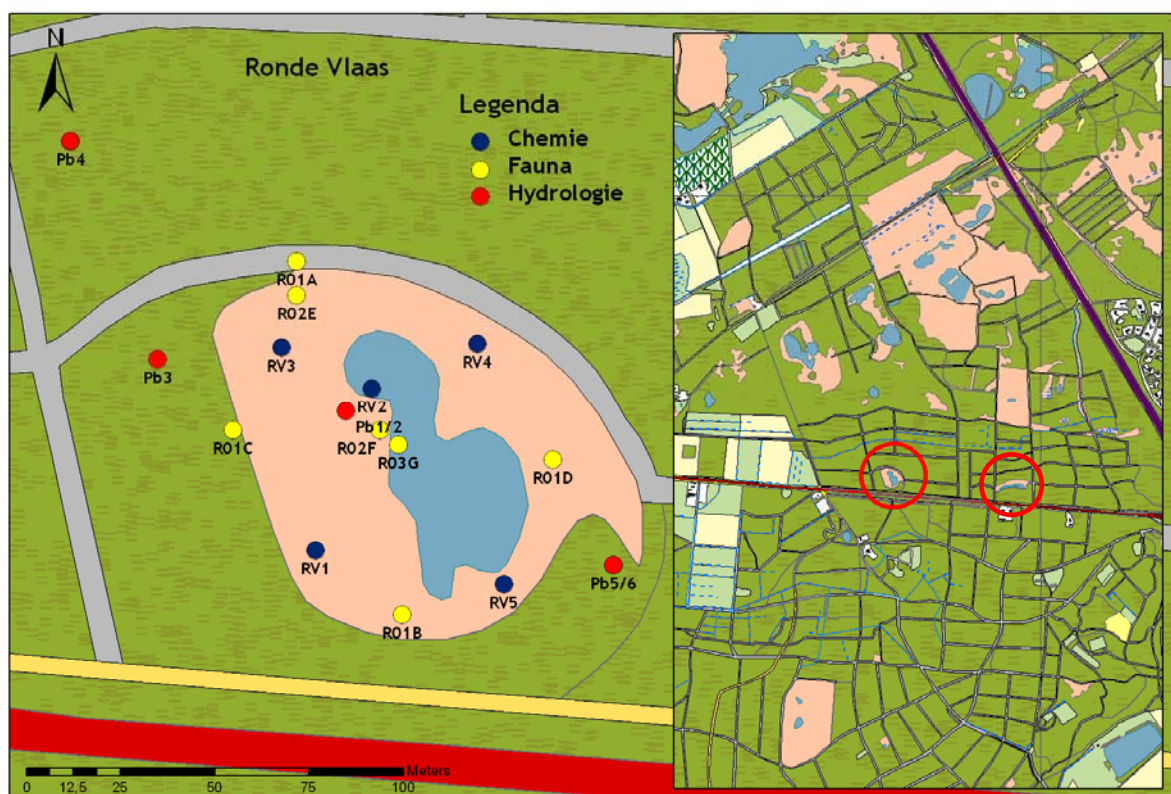
Figuur 2. Overzicht monsterpunten hydrochemische (blauw), hydrologische (rood) en fauna-onderzoek (geel) in het Dwingelerveld (Barkmanveen en Poort 2). Het met blauw aangeduide oppervlaktewater in het Barkmanveen is volledig dichtgegroeid met een drijftil.



Figuur 3. Overzicht monsterpunten hydrochemische (blauw), hydrologische (rood) en fauna-onderzoek (geel) in de Boswachterij Gieten (Gasselternveld; veen 1 en veen 3).



Figuur 4. Overzicht monsterpunten hydrologische (rood), hydrochemische (blauw) en fauna-onderzoek (geel) in het Haaksbergerveen.



Figuur 5. Overzicht monsterpunten hydrologische (rood), hydrochemische (blauw) en fauna-onderzoek (geel) in de Ronde Vlaas (Groote Heide). In het overzichtskaartje zijn de Ronde Vlaas (linker cirkel) en Lange Vlaas (rechter cirkel) aangeduid. In de Lange Vlaas liggen geen meetpunten voor het hydrologische en hydrochemische onderzoek.

3.4 Resultaten en discussie

Bedreigde karakteristieke soorten in intacte en aangetaste veenlandschappen

In de 26 monsterpunten in Estlandse venen werden totaal 33 soorten van de Nederlandse Rode Lijst aangetroffen. 21 van deze 33 soorten werden in Estlandse venen vaker in het overgangsveen en de lagg-zone gevonden dan in de hoogveenkern (Tabel 1; dataset 2001-2005). Daarentegen kwamen 12 bedreigde soorten hoofdzakelijk in de hoogveenkern voor. Dit bevestigt het belang van de verschillende onderdelen van hoogveenlandschappen voor de soortendiversiteit en het relatief grote belang van het in meer of mindere mate door gebufferd water beïnvloede deel van de gradiënt in hoogveenlandschappen voor het behoud en herstel van bedreigde soorten.

In de 212 monsterpunten in de grotere Nederlandse hoogveenrestanten en enkele kleinere veentjes (dataset 1998-2007) werden totaal 20 Rode-Lijstsoorten aangetroffen, alle met een lagere frequentie dan in de Estlandse venen. In deze monsterpunten werden 10 van de 12 bedreigde soorten gevonden die in Estland hoofdzakelijk in de hoogveenkern voorkomen. Ondanks het grote aantal monsterpunten in de Nederlandse venen, werden hier slechts 10 van de 21 soorten met preferentie voor overgangsveen en lagg-zone aangetroffen. Bovendien was elk van deze 10 soorten in een relatief

lage frequentie aanwezig. Dit bevestigt de huidige zeldzaamheid in Nederlandse hoogveenrestanten van soorten van hoogveengradiënten en dan vooral van het in meer of mindere mate door gebufferd water beïnvloede deel van deze gradiënt.

Tabel 1. Voorkomen van soorten van de Nederlandse Rode Lijst in de lagg-zone, overgangsvveen en hoogveenkern in Estlandse venen en hun voorkomen in de Nederlandse grotere hoogveenrestanten en enkele veentjes. Voorkomen is weergegeven als percentage van de monsterpunten waarin de soorten aanwezig zijn. Status NL: U: uitgestorven, EB: ernstig bedreigd, B: bedreigd, K: kwetsbaar. N = Aantal monsterpunten. Vetgedrukte getallen geven de preferentie (d.w.z. hogere frequentie) van de soorten aan.

Soorten	Status NL	Estland	Nederland	
		Lagg-zone / overgangsvveen N = 11	Hoogveenkern N = 15	Hoogveenrestanten N = 212
Vaatplanten				
<i>Carex lasiocarpa</i>	K	27%	0%	0%
<i>Carex limosa</i>	U	45%	40%	0%
<i>Hammarbya paludosa</i>	EB	18%	0%	0%
<i>Sparganium natans</i>	B	9%	0%	0%
<i>Utricularia intermedia</i>	K	18%	0%	0%
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	K	82%	100%	6%
<i>Vaccinium uliginosum</i>	B	9%	0%	4%
<i>Andromeda polifolia</i>	K	64%	100%	8%
<i>Eriophorum vaginatum</i>	K	73%	100%	20%
<i>Scheuchzeria palustris</i>	EB	27%	73%	0%
Libellen				
<i>Coenagrion hastulatum</i>	EB	27%	0%	3%
<i>Somatochlora arctica</i>	B	45%	13%	0%
<i>Somatochlora flavomaculata</i>	EB	18%	0%	0%
<i>Aeshna subarctica</i>	B	36%	67%	2%
<i>Leucorrhinia albifrons</i>	EB	9%	47%	0%
<i>Leucorrhinia dubia</i>	K	18%	67%	7%
Kokerjuffers				
<i>Anabolia brevipennis</i>	K	9%	0%	0%
<i>Hagenella clathrata</i>	K	27%	7%	5%
<i>Limnephilus griseus</i>	EB	9%	0%	0%
<i>Limnephilus stigma</i>	B	27%	0%	2%
<i>Trichostegia minor</i>	K	45%	7%	10%
<i>Agrypnia obsoleta</i>	K	9%	40%	4%
Waterkevers				
<i>Agabus affinis</i>	B	27%	7%	8%
<i>Agabus striolatus</i>	B	18%	0%	1%
<i>Agabus unguicularis</i>	B	9%	0%	1%
<i>Graptodytes granularis</i>	B	9%	0%	1%
<i>Helophorus laticollis</i>	U	9%	0%	0%
<i>Hydroporus glabriusculus</i>	EB	18%	0%	0%
<i>Rhantus grapii</i>	B	36%	0%	3%
<i>Colymbetes paykulli</i>	EB	18%	40%	1%
<i>Dytiscus dimidiatus</i>	B	27%	33%	0%
<i>Dytiscus lapponicus</i>	EB	18%	53%	1%
<i>Laccophilus poecilus</i>	EB	9%	53%	0%

Voorkomen van bedreigde karakteristieke soorten in andere habitats

De landelijke databases van vaatplanten, libellen en kokerjuffers (de 7 waterkeversoorten niet meegenomen) bevatten van de 14 bedreigde soorten die karakteristiek zijn voor overgangsvennen en lagg-zones 711 recente (1991-

2006) waarnemingen in 574 kilometerhokken in Nederland. Van deze 21 soorten waren Draadzegge (*Carex lasiocarpa*: 418 records) en Hoogveen-glanslibel (*Somatochlora flavomaculata*: 49 records) de meest voorkomende soorten. De kokerjuffer *Limnephilus griseus* (5 records) en Slijkzegge (*Carex limosa*: 1 record) zijn in deze periode het minst vaak waargenomen (Tabel 2).

Tabel 2. Gemiddelde getallen voor de mede-aanwezigheid van paren van bedreigde soorten in een kilometerhok of de aangrenzende kilometerhokken in de periode 1991-2006 in Nederland gebaseerd op landelijke gegevensbestanden van vaatplanten, kokerjuffers en libellen.

	<i>Hagenella clathrata</i>	<i>Trichostegia minor</i>	<i>Limnephilus stigma</i>	<i>Somatochlora arctica</i>	<i>Limnephilus griseus</i>	<i>Coenagrion hastulatum</i>	<i>Carex limosa</i>	<i>Anabolia brevipennis</i>	<i>Utricularia intermedia</i>	<i>Sparganium natans</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Somatochlora flavomaculata</i>	<i>Carex lasiocarpa</i>	<i>Hammarbya paludosa</i>	Gemiddelde	Aantal records
<i>Hagenella clathrata</i>	X	32	21	50	66	15	0	0	11	7	45	18	5	0	21	13
<i>Trichostegia minor</i>	32	X	24	15	55	6	31	0	1	7	14	4	3	0	15	31
<i>Limnephilus stigma</i>	21	24	X	17	7	4	0	49	16	4	14	2	4	0	12	26
<i>Somatochlora arctica</i>	50	15	17	X	17	7	0	0	0	0	41	13	1	0	12	11
<i>Limnephilus griseus</i>	66	55	7	17	X	0	0	0	0	0	0	0	3	0	11	5
<i>Coenagrion hastulatum</i>	15	6	4	7	0	X	65	0	9	9	7	8	3	10	11	44
<i>Carex limosa</i>	0	31	0	0	0	65	X	0	0	36	0	0	10	0	11	1
<i>Anabolia brevipennis</i>	0	0	49	0	0	0	0	X	42	12	0	21	6	0	10	6
<i>Utricularia intermedia</i>	11	1	16	0	0	9	0	42	X	21	0	15	5	10	10	30
<i>Sparganium natans</i>	7	7	4	0	0	9	36	12	21	X	0	10	6	14	10	40
<i>Vaccinium uliginosum</i>	45	14	14	41	0	7	0	0	0	0	X	0	1	0	9	17
<i>Somatochlora flavomaculata</i>	18	4	2	13	0	8	0	21	15	10	0	X	3	1	7	49
<i>Carex lasiocarpa</i>	5	3	4	1	3	3	10	6	5	6	1	3	X	2	4	418
<i>Hammarbya paludosa</i>	0	0	0	0	0	10	0	0	10	14	0	1	2	X	3	20

In Tabel 2 zijn de berekende getallen voor de mede-aanwezigheid van de 14 soorten vermeld en zijn de soorten gesorteerd naar de mate waarin zij samen voorkomen met de andere 13 soorten (uitgedrukt in gemiddelde mede-aanwezigheid). De kokerjuffersoorten *Hagenella clathrata* en *Trichostegia minor* kwamen vaak samen voor met andere bedreigde soorten, wat weerspiegeld wordt in hoge gemiddelde getallen voor mede-aanwezigheid: 21, respectievelijk 15. Deze twee soorten zijn daarom de meest geschikte soorten om gebieden te identificeren die nu nog soortengemeenschappen van hoogveen gradiënten herbergen. Zowel Draadzegge (*Carex lasiocarpa*) als Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*) hadden een lage mede-aanwezigheid met andere soorten, wat wijst op een geringe affiniteit met de gradiëntgemeenschap. Om die reden zijn deze twee soorten niet gebruikt om aggregaties van bedreigde karakteristieke soorten in Nederland op te sporen. De overige soorten hadden een hoge mede-aanwezigheid met slechts een deel van de soorten; zij zijn dus indicatief voor een deel van de gradiënt. Aggregaties van bedreigde soorten (alle soorten met uitzondering van

Draadzegge en Veenmosorchis, die een lage mede-aanwezigheid hadden met de andere soorten en dus geen goede indicatoren zijn voor het voorkomen van gemeenschappen van hoogveen gradiënten) waren schaars en geconcentreerd in drie gebieden (Figuur 7). Aggregaties van vier of meer van de geselecteerde soorten werden in de periode 1991-2006 in slechts zeven natuurreservaten vastgesteld (Tabel 3): vier vennen, twee laagvenen en het (hoog)veenrestant Korenburgerveen. De natuurwaarde van deze reservaten is hoog aangezien alle 14 geselecteerde bedreigde soorten in een of meer van deze reservaten werden waargenomen, met uitzondering van de kokerjuffer *Limnephilus griseus*. Veel van deze soorten (*Carex limosa*, *Sparganium natans*, *Utricularia intermedia*, *Somatochlora arctica*, *Somatochlora flavomaculata* en *Anabolia brevipennis*) werden niet vastgesteld gedurende het onderzoek in Nederlandse hoogveenrestanten in de periode 1998-2007 (Tabel 1). Het hoogste aantal bedreigde soorten werd vastgesteld in het (hoog)veenrestant Korenburgerveen (Tabel 3). Het belang van het Korenburgerveen voor bedreigde soorten bleek ook uit het eerdere onderzoek in Nederlandse hoogveenrestanten, daar alle hier waargenomen bedreigde soorten of alleen in dit gebied werden waargenomen (*Vaccinium uliginosum*, *Coenagrion hastulatum*, *Graptodytus granularis*), of hier het meest abundant waren (*Hagenella clathrata*, *Limnephilus stigma*, *Trichostegia minor*, *Agabus affinis*, *Agabus striolatus*, *Agabus unguicularis* en *Rhantus grapii*).

Tabel 3. Per natuurstype het aantal reservaten met vier of meer waargenomen bedreigde soorten waarin de bedreigde soorten (met in intacte Estlandse hoogveenlandschappen voorkeur voor overgangsvennen en lagg-zones) in de periode 1991-2006 zijn waargenomen. Gegevens op basis van Nederlandse databases voor vaatplanten, kokerjuffers en libellen.

	Hoogveenrestant	Vennen	Laagvenen
<i>Sparganium natans</i>		3	1
<i>Coenagrion hastulatum</i>	1	3	
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1		
<i>Carex limosa</i>		1	
<i>Somatochlora arctica</i>	1		
<i>Somatochlora flavomaculata</i>		3	2
<i>Trichostegia minor</i>	1	3	
<i>Hagenella clathrata</i>	1	2	
<i>Limnephilus stigma</i>	1		2
<i>Utricularia intermedia</i>		2	2
<i>Anabolia brevipennis</i>			2
<i>Limnephilus griseus</i> *	-	-	-
Aantal reservaten	1	4	2
Totaal aantal soorten	6	7	5
Gem. aantal soorten/reservaat	6,0	4,3	4,5

* Soort niet waargenomen in deze 7 reservaten.

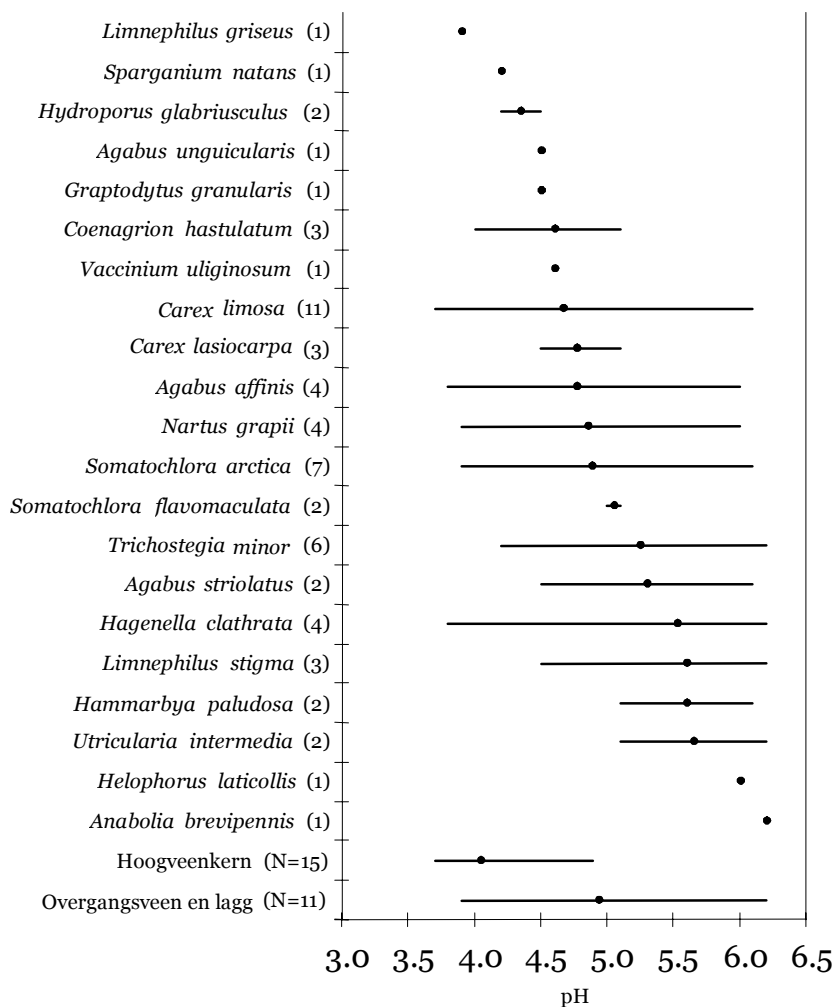
Tabel 4. Oppervlaktewaterkwaliteit (gemiddelde $\pm$ standaard fout) in verschillende delen van intacte Estlandse hoogvenen. Verschillende letters (a, b) geven significante verschillen aan (Mann-Whitney-U tests; $P < 0,05$).

	Overgangsveen en lagg N=11		Hoogveenkern N=15	
Ionenratio	0.27 $\pm$ 0.05	a	0.09 $\pm$ 0.01	b
pH	4.9 $\pm$ 0.3	a	4.1 $\pm$ 0.1	b
Alkaliniteit (meq.l ⁻¹)	0.15 $\pm$ 0.05	a	0.01 $\pm$ 0.00	b
Ca (μ mol.l ⁻¹)	78.5 $\pm$ 19.1	a	17.1 $\pm$ 1.3	b
Cl (μ mol.l ⁻¹)	93.5 $\pm$ 8.4		85.7 $\pm$ 5.6	
Fe (μ mol.l ⁻¹)	13.0 $\pm$ 3.9	a	2.9 $\pm$ 0.2	b
NO ₃ ⁻ (μ mol.l ⁻¹)	1.95 $\pm$ 0.18		1.63 $\pm$ 0.16	
NH ₄ ⁺ (μ mol.l ⁻¹)	4.37 $\pm$ 0.82		4.64 $\pm$ 1.28	
Ortho-PO ₄ (μ mol.l ⁻¹)	0.22 $\pm$ 0.07		0.13 $\pm$ 0.03	
S (μ mol.l ⁻¹)	16.6 $\pm$ 1.7		17.6 $\pm$ 1.0	

Milieuecondities in intacte hoogveengradiënten

Grondwaterinvloed is aanwezig in de monsterpunten in de overgangsvenen en de lagg-zones van intacte hoogvenen in Estland, maar de mate van invloed varieert sterk. De pH van het oppervlaktewater varieerde van 3,9 in monsterpunten die gevoed worden door afstromend water vanuit de hoogveenkern tot 6,3 in monsterpunten die onder invloed staan van grondwater of de gebufferde minerale bodem. De pH was positief gecorreleerd met de ionenratio, alkaliniteit en de concentraties van Ca en Fe (Spearman rank correlaties; $P < 0,05$; $N = 11$), wat aangeeft dat deze variabelen binnen de gradiënt in hoogveenlandschappen worden beïnvloed door grondwater. Concentraties van Cl⁻, ortho-PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ en S varieerden niet met de mate van grondwaterinvloed. Omdat het oppervlaktewater in de hoogveenkern niet onder invloed van grondwater staat, waren de ionenratio, pH, alkaliniteit en concentraties van Ca en Fe hier lager en vertoonden een veel geringere ruimtelijke variatie dan in de overgangsvenen en lagg-zones (Tabel 4).

De geselecteerde soorten waren niet alle gelijk verdeeld over de grondwater-gradiënt in het intacte hoogveenlandschap (Figuur 6). *Carex limosa*, *Somatochlora arctica*, *Hagenella clathrata* en *Trichostegia minor* werden over bijna de gehele gradiënt aangetroffen. Voor de laatste twee soorten komt dit overeen met hun hoge gemiddelde getal voor mede-aanwezigheid in Nederland (Tabel 2). Andere soorten werden echter in slechts een deel van de gradiënt gevonden. Zo werden *Limnephilus griseus*, *Coenagrion hastulatum* en *Vaccinium uliginosum* aangetroffen op plekken met een lage pH, terwijl *Anabolia brevipennis*, *Limnephilus stigma* en *Utricularia intermedia* op plekken met een hoge pH voorkwamen (Figuur 6).



Figuur 6. Minimum, gemiddelde en maximum pH in Estlandse hoogveenlandschappen op monsterpunten met bedreigde soorten. Tussen haakjes achter de soortnamen het aantal monsterpunten waarin de betreffende soort is waargenomen.

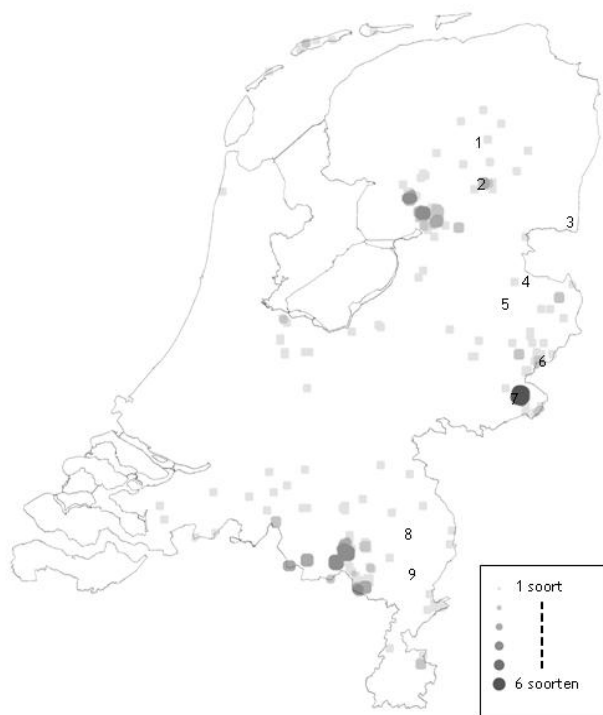
Tabel 5. Oppervlaktewaterkwaliteit in gradiënten in drie Nederlandse vennen vanaf de venoever naar het open water en de beken van waaruit water in deze vennen stroomt.

	Monsterpunt	Ionenratio	pH	Alkaliniteit meq/l	Ca µmol/l	Cl µmol/l	Fe µmol/l	NO ₃ µmol/l	NH ₄ µmol/l	Ortho-PO ₄ µmol/l	S µmol/l
Ringselven											
Oever	RV1	0,09	3,9	0,00	51	261	6,2	3,2	6,6	0,03	73
	RV2	0,05	4,1	0,00	21	221	9,4	1,6	4,5	0,00	44
	RV3	0,05	4,3	0,01	24	221	4,0	4,7	3,6	0,63	41
	RV4	0,09	5,8	0,18	117	618	15,0	0,8	4,6	0,04	63
	RV5	0,09	5,7	0,22	124	649	25,1	1,2	6,8	0,00	57
	RV6	0,08	5,7	0,20	119	643	15,8	0,9	5,1	0,00	53
	RV7	0,07	5,5	0,16	102	660	14,6	0,7	4,6	0,07	60
	RV8	0,01	5,4	0,17	106	3506	21,8	4,4	12,0	0,99	51
Open water	RV9	0,36	7,7	2,07	1010	887	1,7	10,8	9,5	0,25	303
Beek	RV10	0,36	7,5	2,65	1258	1133	1,1	249,4	5,8	4,56	1488
Greveschutven											
Oever	GSV1	0,08	4,6	0,03	44	257	5,9	2,9	4,9	1,71	59
	GSV2	0,10	5,3	0,06	46	216	12,8	1,2	5,5	2,25	58
	GSV3	0,10	5,6	0,18	112	523	10,0	8,7	35,6	2,44	104
	GSV4	0,30	6,7	0,92	700	822	2,9	1,4	3,6	0,56	453
Open water	GSV5	0,24	7,1	1,44	765	1225	1,0	0,4	7,4	0,77	376
Beek	GSV6	0,38	7,4	1,41	1280	1044	1,8	40,3	8,3	0,42	573
Rijsven											
Oever	RIJ1	0,14	3,8	0,00	130	407	5,7	32,5	10,7	2,60	504
	RIJ2	0,12	5,2	0,11	177	623	12,0	10,9	9,2	0,74	346
Open water	RIJ3	0,10	6,1	0,29	218	971	2,7	9,9	8,6	0,29	359
Beek	RIJ4	0,20	6,7	1,12	1264	2457	1,9	365,0	0,4	3,52	1716

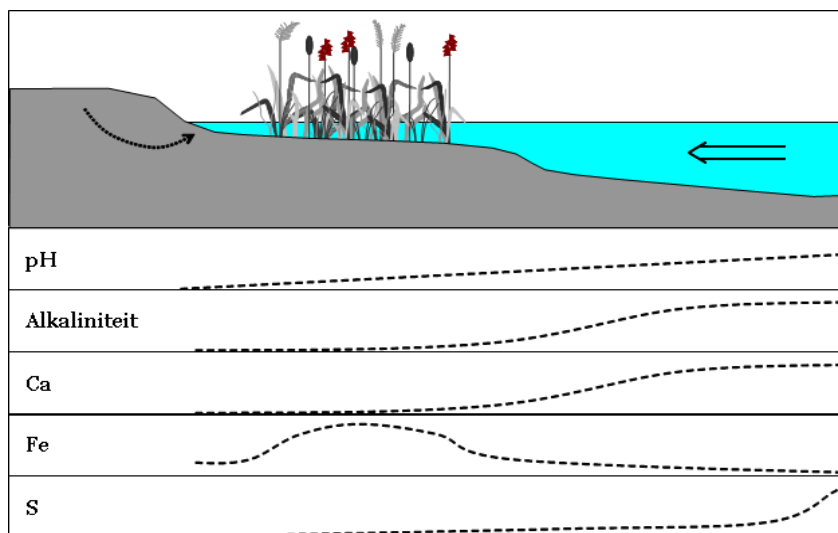
Milieucondities in refugia: vennen in Noord-Brabant met gradiënten in oppervlaktewaterkwaliteit

In drie natuurreservaten in de omgeving van Valkenswaard en Leende met een aggregatie van de geselecteerde bedreigde soorten werd de oppervlaktewaterkwaliteit onderzocht: Greveschutven, Rijsven en Ringselven. In elk van deze drie vennen is tussen de venoever en het open water een gradiënt aanwezig in pH, alkaliniteit en Ca-concentratie (Tabel 5). Met de pH tussen 3,8 en 7,7, de alkaliniteit tussen 0,0 en 2,1 meq·l⁻¹ en de Ca-concentratie tussen 44 en 1010 µmol·l⁻¹ was in deze vennen een gradiënt in milieucondities aanwezig die ook in intacte Estlandse hoogveenlandschappen aanwezig is. Evenals in de intacte hoogveenlandschappen variëren de concentraties van ortho-PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ en S niet in een duidelijke gradiënt. De concentraties van NH₄⁺ en S waren in de drie Nederlandse gradiënten wel hoger dan in de Estlandse hoogveengradiënt (Mann-Whitney U test). Deze Nederlandse reservaten met een aggregatie van bedreigde karakteristieke soorten worden dus gekenmerkt door een gradiënt in waterkwaliteit die ook in intacte hoogveenlandschappen aanwezig is.

De ionenratio en Fe-concentratie in deze drie vennen vertoonde in tegenstelling tot de Estlandse hoogveenlandschappen geen gradiënt (Tabel 5; geen correlatie tussen pH, alkaliniteit en Ca enerzijds en Fe en ionenratio anderzijds). Hieruit kan geconcludeerd worden dat grondwaterinvloed in deze vennen niet de dominante sturende factor is voor de hele gradiënt in waterkwaliteit. Elk van deze vennen ontvangt oppervlaktewater vanuit nabijgelegen beken via een reeks van plassen (Ringselven en Greveschutven) of periodieke overstroming (Rijsven). Het oppervlaktewater in deze beken is gebufferd (pH tussen 6,7 en 7,5 en alkaliniteit tussen 1,12 en 2,65 meq·l⁻¹), rijk aan Ca (concentraties boven 1200 µmol·l⁻¹) en bepalend voor de aanwezigheid van de gradiënt in waterkwaliteit. De beken zijn ook rijk aan ortho-PO₄³⁻, NO₃⁻, S en Cl⁻ (als gevolg van agrarische activiteiten in het stroomgebied). De verhoogde Fe-concentraties halverwege de gradiënt tussen venoever en open water (RV4-8, GSV2-3 en RIJ2, Tabel 5) zijn waarschijnlijk een gevolg van redoxprocessen tussen de dichte macrofytenvegetatie. De lagere pH en Fe-concentraties direct aan de venoever (RV1-3, GSV1 en RIJ1) indiceren een grotere invloed van regenwater of kwel van jong grondwater. Snelle menging van de verschillende watertypen wordt in de onderzochte gradiënten voorkomen door een uitgebreide macrofytenvegetatie (Figuur 8), waardoor een gradiënt met een lengte van 65 tot 270 m aanwezig was. De gradiënten in deze drie vennen worden dus gecreëerd door toevoer van zowel beekwater als grond- en regenwater en verschilt daarin van de onderzochte intacte hoogveenlandschappen in Estland.



Figuur 7. Aantal bedreigde soorten per km² die in intacte Estlandse hoogvenen voorkeur hebben voor overgangsvennen en lagg-zones, op basis van gegevens uit de periode 1991-2006 uit Nederlandse databases voor vaatplanten, kokerjuffers en libellen. Het aantal soorten is het totaal aantal in dat km-hok en de direct aangrenzende km-hokken. Grotere stippen corresponderen met een hoger aantal soorten. De nummers in de figuur duiden de in de periode 1998-2007 onderzochte hoogveenrestanten en veentjes aan: (1) Fochteloërveen, (2) Dwingelerveld, (3) Bargerveen, (4) Engbertsdijkerven, (5) Wierdense Veld, (6) Haaksbergerveen, (7) Korenburgerveen, (8) Mariapeel & Deurnese Peel en (9) Tuspeel.



Figuur 8. Schematische weergave van de hydrologie en variatie in oppervlaktewaterkwaliteit van een ven met een gradiënt in waterkwaliteit. Pijlen: gestippeld = (jong) grondwater, dubbel = beekwater.

Tabel 6. Aantallen individuen van bedreigde en/of (zeer) zeldzame soorten in de verschillende onderzoeksgebieden. In de meeste gebieden zijn monsters in zowel voor- als najaar genomen. "vj" achter de aantallen monsterpunten geeft aan dat in dit gebied alleen in het voorjaar watermacrofauna is bemonsterd.

	Dwingelerveld		Gieten	Haaks- berger- veen	Groote Heide (Leende)				België	
	Poort 2	Barkman	Veentje 1		Lange Vlaas	Ronde Vlaas	Greve- schutven	Rijsven	Buiten- goor	Zwarte Beek
Aantal monsterpunten	7	3	5	7	2	7	5	3 vj	14	9 vj
Libellen										
<i>Coenagrion hastulatum</i>				8	1	15	13			
<i>Leucorrhinia dubia</i>	1		48		9	5	8			
<i>Somatochlora arctica</i>									1	2
Wantsen										
<i>Gerris gibbifer</i>			8							
<i>Hydrometra gracilenta</i>						2		1	1	
<i>Microvelia pygmaea</i>									20	
Kokerjuffers										
<i>Hagenella clathrata</i>				1				1	7	
<i>Limnephilus elegans</i>				1						
<i>Limnephilus luridus</i>	34	2	11							
<i>Limnephilus subcentralis</i>							1			
<i>Oligostomis reticulata</i>									2	
<i>Rhadicoleptus alpestris</i>				2						
<i>Trichostegia minor</i>	2		2			1				
Dans- en Pluimmuggen										
<i>Acamptocladius</i> sp.	1									
<i>Chaetocladius</i> sp.										
<i>Herkenbosch</i>				16						20
<i>Chironomus longipes</i>							28			
<i>Chironomus sororius</i>				1						
<i>Heterotanytarsus apicalis</i>										1
<i>Lauterborniella agrayloides</i>									2	
<i>Paratendipes nudisquama</i>	13			1					204	
<i>Schineriella schineri</i>							4			
<i>Xenopelopia falcigera</i>							6			
<i>Chaoborus pallidus</i>				5	2	2	1			
<i>Mochlonyx fuliginosus</i>	40	14	31	53						
<i>Mochlonyx triangularis</i>					60					
Waterkevers										
<i>Agabus affinis</i>	4	9		3		11		2	3	17
<i>Agabus congener</i>	1	1		26		1		2		1
<i>Bidessus grossepunctatus</i>									2	
<i>Gyrinus paykulli</i>							3			
<i>Helophorus flavipes</i>	7	10								
<i>Ilybius guttiger</i>	13	4	4	1					12	
<i>Laccophilus poecilus</i>							1			
<i>Rhantus grapii</i>									18	
<i>Rhantus suturellus</i>	2	4	4							

Het voorkomen van soorten indiceert aanwezigheid van delen van hoogveengradiënten

Drie van de vier terreinen waar de landschapsecologische systeemanalyse is uitgevoerd (zie ook de deelrapporten 1, 2 en 3) kwamen niet duidelijk naar voren bij het opsporen van aggregaties van bedreigde karakteristieke soorten in Nederland op basis van landelijke verspreidingsgegevens. Alleen de omgeving van Leende en Valkenswaard (met o.a. de gradiënt in het Greveschutven) herbergt een duidelijke aggregatie van de geselecteerde bedreigde planten- en diersoorten (Figuur 7). In alle vier de onderzoeksgebieden zijn tijdens dit onderzoek echter wel verschillende bedreigde en/of zeldzame karakteristieke watermacrofaunasoorten aangetroffen (Tabel 6). De onderzochte terreinen verschillen in soortensamenstelling en in het voorkomen van de geselecteerde bedreigde soorten die in intacte hoogveenlandschappen vooral in de overgangsvenen of lagg-zones voorkomen. Elk terrein heeft dus een eigen set aan milieucondities die overeenkomt met condities die aanwezig zijn in delen van de gradiënten in intacte hoogveenlandschappen.

Om meer inzicht te krijgen in welke milieucondities belangrijk zijn voor het voorkomen van kenmerkende soorten van hoogveengradiënten worden hierna milieucondities besproken aan de hand van opvallende patronen in de vindplaatsen van een aantal van deze kenmerkende soorten in Nederlandse hoogveenrestanten en veentjes, intacte hoogveenlandschappen in Estland en 5 gradiëntsituaties in het zuidoosten van Noord-Brabant en het aangrenzende deel van België (gegevens van dit onderzoek en van voorgaande onderzoeksprojecten van Stichting Bargerveen). De gradiënten van zure hoogveenkernen naar overgangsvenen en lagg-zones worden duidelijk weerspiegeld in gradiënten in pH (Figuur 6). Het spreekt voor zich dat naast pH ook andere – al dan niet aan zuurgraad gerelateerde – milieucondities, zoals basenverzadiging, beschikbaarheid van nutriënten, vegetatiestructuur, voedselaanbod en -kwaliteit een rol spelen in het voorkomen van soorten. De relatief lage basenverzadiging in Poort 2 en het Barkmanveen (zie deelrapport 3) ging in beide terreinen samen met de afwezigheid van diepere open wateren. Dit sluit het voorkomen van een aantal soorten uit, onafhankelijk van de basenverzadiging. Tegelijk bieden de condities in Poort 2 en het Barkmanveen juist leefruimte aan andere soorten, zoals de waterkever *Helophorus flavipes*; deze werd in dit onderzoek alleen in deze twee terreinen aangetroffen. Larven van de bedreigde Speerwaterjuffer (*Coenagrion hastulatum*) zijn met meerdere exemplaren aangetroffen in de waterlichamen die zowel rijk zijn aan plantengroei, als opener water hebben: in het Haaksbergerveen in de compartimenten met open water, Duizendknoop-fonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), Pitrus (*Juncus effusus*), Snavelzegge (*Carex rostrata*) en veenmos en in vergelijkbare situaties in de Ronde Vlaas. In de Lange Vlaas, waar de onderwatervegetatie eenvormig is, werd de Speerwaterjuffer ook gevonden, maar slechts met 1 larve (Tabel 6). Door combinatie van de beschikbare gegevens uit dit en voorgaand onderzoek zijn ook patronen in het voorkomen van soorten herkenbaar die wel mede gerelateerd kunnen worden aan variatie in zuurbuffering of basenverzadiging.

Witsnuitlibellen, nutriënten en mineralen

De Noordse Witsnuitlibel (*Leucorrhinia rubicunda*) is in Estland beperkt tot de overgangsvenen met een hogere pH en mineralen- en nutriëntenbeschikbaarheid, terwijl de Venwitsnuitlibel (*Leucorrhinia dubia*) in zowel de voedselarme hoogveenkern als het overgangsveen voorkomt. In Nederland zien we echter nauwelijks Venwitsnuitlibellen in de hoogveenrestanten, maar wel relatief veel Noordse Witsnuitlibellen. In de Mariapeel en Deurnese Peel is dit ook het geval, waarbij het opvallend is dat de locaties waar larven en

larvehuidjes (exuviën) van de Venwitsnuitlibel zijn aangetroffen vermoedelijk enige aanrijking hebben door toestroming van grondwater of door contact met de minerale bodem. De pH van het bodemwater was er tenminste in het najaar iets hoger dan in de meeste andere wateren in dit hoogveenrestant (Van Duinen 2008). Vergelijkbaar hiermee is dat tijdens dit onderzoek larven van de Venwitsnuitlibel in hoge dichtheid werden gevonden in zowel een veenput in het midden van veentje 1 in de boswachterij Gieten, als in een plas aan de rand van dit veentje. In deze veenput werd de Noordse witsnuitlibel met slechts enkele larven gevonden. In de plas aan de rand van veentje 1 werd de Noordse witsnuitlibel echter in vergelijkbare dichtheid als de Venwitsnuitlibel aangetroffen. In de veenput was de concentratie van Mg, Ca, Fe, Na en Cl wat hoger dan in de plas aan de rand, terwijl de concentratie van totaal P en orthofosfaat in de veenput lager was. Uit de andere onderzoeksonderdelen binnen dit OBN-project blijkt dat dit veentje door dieper grondwater wordt beïnvloed en vroeger in sterkere mate beïnvloed is geweest. De basenverzadiging van het veen is hier met 80-100% relatief hoog (zie deelrapport 3).

In de Lange en Ronde Vlaas was de Venwitsnuitlibel eveneens de enige of meest talrijke van de twee witsnuitlibellen. De basenverzadiging was op meerdere punten in de Ronde Vlaas hoger dan 80% (zie deelrapport 3). In het Greveschutven werden beide soorten gevonden, maar werd de Venwitsnuitlibel alleen gevonden in het gedeelte van de gradiënt waar de invloed van gebufferd grond- en oppervlaktewater kleiner was. Opmerkelijk is dat in de monsterpunten in het Haaksbergerveen alleen larven van de Noordse witsnuitlibel werden aangetroffen, hoewel hier in een deel van de monsterlocaties duidelijk gebufferde condities aanwezig zijn en de basenverzadiging op veel monsterpunten hoger dan 80% was (deelrapport 3). Gecombineerd met het gegeven dat de Venwitsnuitlibel in intacte hoogvenen in Estland hoofdzakelijk in de poelen in de hoogveenkern aanwezig is, kan verondersteld worden dat de Venwitsnuitlibel optimaal voorkomt in zure en zwakgebufferde situaties met een voldoende hoge basenverzadiging, of beschikbaarheid van mineralen, terwijl de Noordse witsnuitlibel voorkomt in zowel sterker gebufferde als zure, maar vooral minder voedselarme wateren, die niet noodzakelijk een hoge mineralenbeschikbaarheid hebben. Zoals voor het voorkomen van veenvlinders in dit onderzoeksproject verder onderzocht is (hoofdstuk 4), is het voorkomen van deze libellensoorten en andere watermacrofaunasoorten mogelijk afhankelijk van verhoudingen tussen nutriënten en mineralen. Welke randvoorwaarden en mechanismen (of biologische eigenschappen van soorten) hierbij een rol spelen, verdient aandacht in vervolgonderzoek, zodat handvatten gegeven kunnen worden voor een adequaat herstelbeheer.

Dansmuggen en toestroming van water

De zeer zeldzame dansmug *Chaetocladius spec. Herkenbosch* is tijdens dit onderzoek in het Haaksbergerveen gevonden in de Groene Plas in de zone met Beenbreek en de aangrenzende stroomafwaarts gelegen zone. Rondom de Zwarte Beek in België werden larven van deze soort aangetroffen op verschillende plekken, die op een vergelijkbare wijze als in de Groene Plas worden gevoed met licht aangerijkt water. *Chaetocladius spec. Herkenbosch* is in de Mariapeel en Deurnese Peel aangetroffen op locaties met invloed van gebufferd water (Van Duinen 2008). In Estland is deze soort in hoge aantallen aangetroffen in een veenbeekje dat vanuit diepere veenlagen (en wellicht ook door grondwater) wordt gevoed. De soort is in lagere aantallen gevonden in veenpoelen die met dit veenbeekje in contact staan of onder invloed staan van diffuse toestroming van water vanuit hoger gelegen delen van de hoogveenkern (ongepubliceerde gegevens Stichting Bargerveen).

Een andere zeldzame dansmugsoort, *Paratendipes nudisquama*, is in Zweden vooral in lagg-zones van hoogvenen gevonden, maar in Nederland op het eerste gezicht in zeer verschillende habitats. Op de Nederlandse vindplaatsen blijkt het meestal te gaan om een combinatie van veen en grondwater, soms met duidelijke stroming van water (Moller Pillot 2009). In het Estlandse hoogveen Nigula behoort deze soort tot de frequente dansmugsoorten en is het meest talrijk in het hierboven al genoemde veenbeekje en andere wateren waar water oppervlakkig en diffuus toestroomt vanuit iets hoger gelegen delen van de hoogveenkern. Overigens is deze veenbeek het enige monsterpunt in Nigula waar *Paratendipes nudisquama* en *Chaetocladius spec. Herkenbosch* samen zijn gevonden. *Paratendipes nudisquama* is in eerder onderzoek in Nederlandse hoogveenrestanten met hogere aantallen gevonden in het Korenburgerveen en Haaksbergerveen en zelden in andere hoogveenrestanten (ongepubliceerde gegevens Stichting Bargerveen). In dit onderzoek is de soort gevonden in Poort 2 en het Buitengoor (Tabel 6). Op de vindplaatsen in de Nederlandse hoogveenrestanten en veentjes is geen sprake van waterstroming, maar vermoedelijk wel van contact met de minerale ondergrond.

Kokerjuffers, droogval en grondwater

De zeer zeldzame en kwetsbare kokerjuffer *Hagenella clathrata* is aangetroffen in een veenput in het Haaksbergerveen bij de Duitse grens en in het Buitengoor in België. In de in 2006 onderzochte delen van het Bargerveen (Van Duinen et al. 2008b) was *Hagenella clathrata* talrijk en werd ook de zeer zeldzame kokerjuffer *Limnephilus luridus* regelmatig gevangen. Deze soorten worden vooral gevonden in semi-permanente of temporaire wateren. Bij de zeldzaamheid moet opgemerkt worden dat het niet geheel duidelijk is of deze soorten echt zeer zeldzaam zijn, of dat ze vooral voorkomen onder omstandigheden die zelden worden onderzocht, wat voor droogvallende wateren in veensystemen geldt. *Hagenella clathrata* lijkt overal zeldzaam te zijn en is vooral bekend van temporaire wateren met kwel en veenmoerassen (Higler 2005). In het Bargerveen is voor zover bekend op de vindplaatsen van deze soort geen kwel, maar wel droogval. Kennelijk leiden kwel en droogval (met versterkte mineralisatie van veen?) tot dezelfde condities.

De kwetsbare en vrij zeldzame kokerjuffer *Trichostegia minor* is aangetroffen in poelen aan de randen van de veentjes Poort 2, Ronde Vlaas en veentje 1 in Gieten. De zeer zeldzame kokerjuffer *Limnephilus luridus* is gevonden in ondiepe poelen aan de randen van de veentjes Poort 2, Barkmanveen en veentje 1 in Gieten. In de Mariapeel werden *Trichostegia minor* en *Limnephilus luridus* samen en het meest talrijk gevonden in een geheel van kleinere temporaire waterlichamen, die mogelijk voorheen door kwel of inundatie of ook recent af en toe in geringe mate worden beïnvloed door kanaalwater (mogelijk kanaalkwel of een gevolg van tijdelijke inundatie met kanaalwater in een eerdere fase van vernatting). Beide kokerjuffersoorten zijn verder met meerdere individuen aangetroffen op locaties die waarschijnlijk contact hebben gehad met of nog wel eens beïnvloed worden door gebufferd water/kanaalwater. En op en rond deze vindplaatsen in de Mariapeel treedt ook decompositie en mineralisatie van het veenpakket op. Ook de in het voorgaande besproken gegevens uit Estlandse hoogvenen en gradiënten in veensystemen laten zien dat relatief veel bijzondere soorten voorkomen in situaties met invloed van gebufferd grond- of oppervlaktewater op de gradiënt naar zure, door regenwater gedomineerde condities. Voorafgaand aan de uitvoering van herstelmaatregelen in een terrein is het van belang meer inzicht te krijgen of en hoe mineralisatie en grond-/kanaalwater, al dan niet in combinatie met droogval leiden tot specifieke en zeldzame condities, waarvan bedreigde soorten gebruik maken, en in hoeverre deze bijzondere condities

door herstelmaatregelen worden beïnvloed of zelfs gecreëerd kunnen worden. Het kan zijn dat in de Peelrestanten de vernatting lokaal geleid heeft tot sterkere grondwaterinvloed en daardoor een positief effect heeft gehad doordat de vereiste milieucondities voor deze zeldzame soorten zijn gecreëerd. Het beter vasthouden van regenwater in hoogveenrestanten en vennen of veentjes kan echter ook juist zorgen voor afname van grondwaterinvloed. Uit het OBN-onderzoek in het Korenburgerveen is gebleken dat de vernattingsmaatregelen binnen het terrein tot zowel toe- als afname van grondwaterinvloed hebben geleid en dat dit gevolgen had voor de watermacrofauna (Verberk & Esselink 2006, Verberk et al. 2010).

Conclusie en aanbeveling

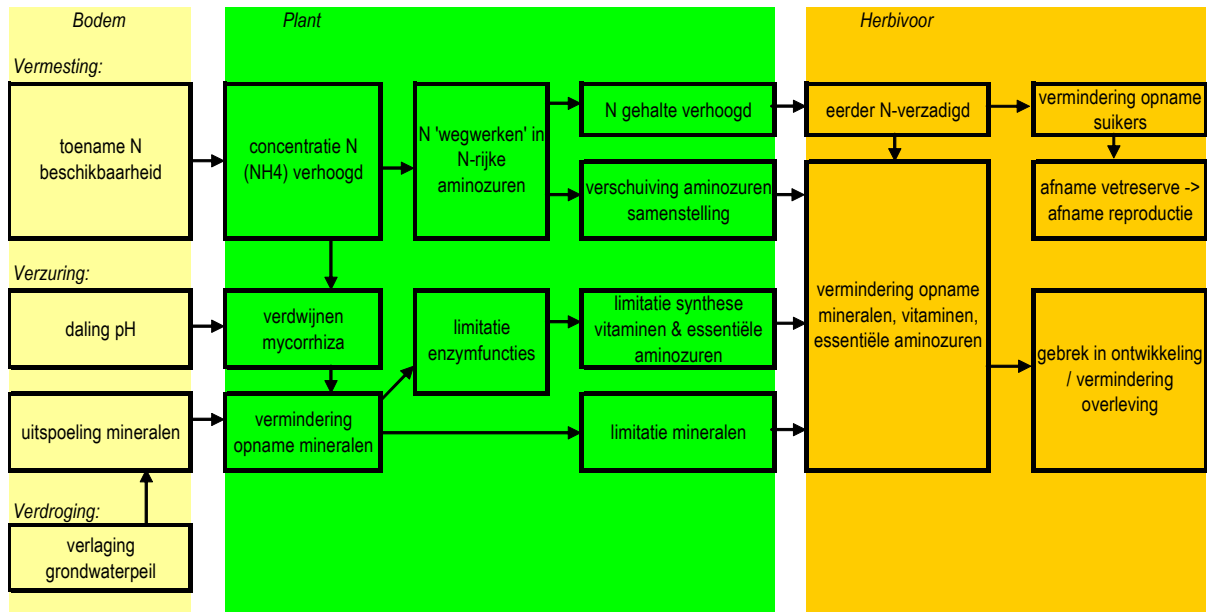
Uit de hierboven gegeven beschrijvingen van vindplaatsen voor een aantal soorten en de analyse van de gegevens uit intacte Estlandse hoogvenen komt duidelijk naar voren dat de variatie in water- en bodemkwaliteit, vegetatiesamenstelling en waterregime binnen de geselecteerde onderzoeksgebieden bepalend zijn in de soortensamenstelling van de fauna. Het vaststellen van welke milieucondities bepalend zijn voor het voorkomen van specifieke soorten vergt nog veel onderzoek. Duidelijk is echter wel dat de gradiënten in invloed van gebufferd en mineraalrijk grond- of oppervlaktewater enerzijds en zuur en mineraalarm grond- of oppervlaktewater anderzijds condities bieden die vereist zijn voor het voorkomen van een groot aantal bedreigde dier- en plantensoorten in het natte zandlandschap (of hoogveenlandschap in ruime zin). Deze condities kunnen in zowel natuurlijke als antropogene (o.a. inlaat van beekwater in vennen) gradiënten voorkomen, maar ook in een onnatuurlijke mozaïek in hoogveenrestanten, die door veenwinning, verdroging en vernatting is gevormd. Voor het herstelbeheer is het belangrijk bestaande én potentiële, natuurlijke én antropogene gradiënten te herkennen en het landschapecologisch functioneren van deze systemen te begrijpen, zodat adequaat instandhoudings- en herstelbeheer kan plaatsvinden en populaties van bedreigde kenmerkende soorten duurzaam behouden kunnen worden.

4 Veenvlinders en waardplantenkwaliteit

4.1 Inleiding

De voor hoogveenlandschappen karakteristieke herbivoren Veenhooibeestje (*Coenonympha tullia*), Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) en Veenbesblauwtje (*Plebejus optilete*) zijn in Nederland sterk achteruitgegaan en komen nog op slechts enkele locaties voor (Van Swaay & Wallis de Vries 2001). De waardplanten van deze dagvlindersoorten komen nog wel veel voor. De aanwezigheid van de waardplant is op zichzelf dus niet voldoende voor het kunnen voorkomen van deze vlinders. Patronen in de vegetatie op verschillende schaalniveaus spelen een rol bij het verkennen van het landschap door de vlinder en de selectie van de plekken door de vrouwelijke vlinders voor het afzetten van de eitjes. Verder is in de relatie tussen de ontwikkeling van herbivore insecten en hun waardplanten de mate waarin de groeicyclus van de plant samenvalt met de groeicyclus van de herbivore van doorslaggevende betekenis (Bink 1992). De waardplanten van de drie soorten veenvlinders hebben een duidelijke jaarcyclus en de kwaliteit van het voedsel verschilt tussen de seizoenen (zie Box 'Relatie tussen groeicycli van waardplanten en rupsen').

In buitenlandse hoogveenrestanten en intacte hoogveenlandschappen komen de drie soorten veenvlinders voor in randen van hoogveenkernen en overgangsvenen en niet in de ombrotrofe (=alleen door neerslag gevoede) kernen van de hoogvenen. De waardplanten komen echter zowel in de hoogveenkernen, als in de randen van hoogveenkernen en overgangsvenen voor (Van Duinen et al. 2006a). Zowel de patronen in de vegetatie, als de invloed van gebufferd grondwater verschillen tussen deze onderdelen van het hoogveenlandschap. In relatie tot vermesting, verzuring en verdroging geeft het voorkomen van de veenvlinders in de terreindelen waar de invloed van grondwater sterker is -en daardoor de beschikbaarheid van mineralen hoger is- een aanwijzing dat de afname van de beschikbaarheid van mineralen door verzuring en verdroging (afname basenverzadiging, afname invloed grondwater) een sleutelfactor kan zijn in de achteruitgang van deze vlindersoorten. Op basis van dierfysiologisch onderzoek aan micronutriëntgebreken in zure bossen (Van den Burg 2000, 2002 en 2006, Siepel et al. 2009) is de hypothese opgesteld dat de veranderde verhouding tussen mineralen en nutriënten doorwerkt in de hele voedselketen en leidt tot de achteruitgang van karakteristieke diersoorten (zie Schema 1).



Schema 1. Conceptueel schema over de effecten van vermisting, verzuring en verdroging op de stikstof- en mineralenhuishouding en het functioneren van planten en dieren.

Relatie tussen groeicycli van waardplanten en rupsen

In de relatie tussen de ontwikkeling van herbivoren en hun waardplanten is de mate waarin de groeicyclus van de plant samenvalt met de groeicyclus van de herbivoor van doorslaggevende betekenis.



Veenbesparelmoervlinder



Veenbesblauwtje



Veenhooibeestje

Veenbesparelmoervlinder, Veenbesblauwtje en heideachtigen

De meeste planten uit de familie van de Heideachtigen (Ericaceae), waartoe Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*, waardplant van Veenbesparelmoervlinder en Veenbesblauwtje) en Lavendelhei (*Andromeda polifolia*, alternatieve waardplant Veenbesblauwtje) behoren, vertonen als voorbereiding op de winterperiode een opslag van nutriënten in het oude blad. In het voorjaar bij het ontluiken van de knoppen worden voedingsstoffen uit het blad gemobiliseerd en geïnvesteerd in de nieuwe groeispruit. Bij het analyseren van de gehalten aan aminozuren en mineralen in het blad van Kleine veenbes en Lavendelhei moet de dynamiek binnen de plant gedurende de opeenvolgende seizoenen in ogenschouw worden genomen. Pas daarna kunnen de gemeten gehalten gerelateerd worden aan de standplaatscondities.

De groeicyclus van de Veenbesparelmoervlinder is typisch voor de subfamilie van de Parelmoervlinders (Argynninae). Na overwintering als ei of nuchtere eerste stadium rups start de groeifase pas op het moment van het ontluiken van de knoppen van de waardplant. De totale ontwikkelingsduur van de rups

bedraagt ongeveer 50 tot 60 dagen, eveneens typerend voor soorten uit deze onderfamilie. Gedurende de eerste twee stadia van de rups voedt deze zich met de prille spruiten van de waardplant. In de daarop volgende drie stadia voedt de rups zich met voedsel van een iets lagere kwaliteit, veelal bestaand uit de stengels van de plant. Gedurende het vierde en vijfde stadium bewoont de rups een vaste schuilplek van waaruit hij eettochten onderneemt naar omringende voedselplanten.

Het Veenbesblauwtje heeft een tweedelige voedingscyclus. De eitjes worden in de zomer afgezet op volgroeid blad en de prille rups boort zich in het blad en graast van het bladmoes. In het derde stadium gaat de rups in diapauze en zoekt een schuilplek in de moslaag. In het voorjaar hervat de rups zijn voeding op het tijdstip van het ontluiken van de knoppen. Vanaf dat tijdstip voedt de rups zich vooral met de groeipunten van de plant.

Veenhooibeestje en grassen

Het Veenhooibeestje heeft eveneens een voedingscyclus die twee perioden beslaat. De eitjes worden vrij willekeurig afgezet maar de prille rups is goed in staat om een geschikte voedselbron in de directe omgeving op te sporen. De voedingsperiode in de zomer neemt ongeveer twee maanden in beslag waarna de overwintering in het derde of vierde stadium volgt. In het voorjaar wordt de voeding hervat zodra jong blad aanwezig is, waarna de rups na een maand volgroeid is.

De twee waardplanten die in dit onderzoek bij deze soort in beschouwing worden genomen, verschillen heel sterk in groeicyclus. Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) komt vroeg in het voorjaar in bloei en heeft een vrijwel ononderbroken groei gedurende het gehele jaar. Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) daarentegen heeft een korte groeiperiode later in het voorjaar en komt pas in de nazomer in bloei en sterft in de herfst bovengronds geheel af. Het gehalte aan aminozuren is in het begin hoog (de periode dat het een aantrekkelijke voedingsbron is voor grote herbivoren) en daalt in de loop van het seizoen geleidelijk. Het stikstofgehalte van het blad verloopt in die periode van 4% naar 1%.

Bron: Bink (1992) en schriftelijke mededeling F. Bink.

Onder andere in het onderzoek in de eerste fase van OBN-hoogvenen (Tomassen et al. 2003) is aangetoond dat planten extra opgenomen stikstof die niet gebruikt wordt voor groei omzetten in stikstofrijke vrije aminozuren. Verder wordt het voor planten overbodig symbiotische relaties aan te gaan met mycorrhizaschimmels om de opname van stikstof en fosfor te waarborgen, wanneer N en P in overmaat beschikbaar zijn. Verzuring zorgt voor een daling van de pH en voor uitspoeling van mineralen, die vaak in lage concentraties voor planten beschikbaar moeten zijn voor onder andere het functioneren van enzymen. Zowel verzuring, als toename van de stikstofbeschikbaarheid leiden tot het afsterven van mycorrhizaschimmels. Hierdoor kunnen planten onvoldoende mineralen opnemen. Als gevolg van deze veranderingen kunnen bepaalde enzymfuncties niet of beperkt plaatsvinden en kan de synthese van vitaminen en essentiële aminozuren worden beperkt. Omdat stikstofverzadiging een belangrijke factor is voor de hoeveelheid plantenmateriaal die herbivoren eten, kan het overschot aan stikstofrijke 'ballaststof' in plantenmateriaal leiden tot een te lage opname van suikers, mineralen, vitaminen en essentiële aminozuren door herbivoren. De hypothese is dat dit negatieve consequenties heeft voor de ontwikkeling en reproductie van herbivoren.



*Figuur 9. In dit door gebufferd grondwater gevoede veen bij Libin (België) komen rupsen van de bedreigde Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) in zeer hoge aantallen voor op bulten van Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*), waarop de waardplant Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*) vitaal groeit. In de natte slenken groeien onder andere Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), Gewone dotterbloem (*Caltha palustris*) en Waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*).*

Indien de veranderde kwaliteit van waardplanten inderdaad van doorslaggevende betekenis is voor de populatieontwikkeling van karakteristieke vlindersoorten en ook andere diersoorten, is het voor het herstelbeheer noodzakelijk te weten hoe de onderliggende processen functioneren en welke herstelmaatregelen nodig en effectief zijn om de kwaliteit van waardplanten te herstellen. Mogelijk zal herstel van het hydrologisch systeem op landschapsschaal noodzakelijk zijn om via versterking van de aanvoer van minerotroof grondwater de beschikbaarheid van mineralen in het systeem te verhogen. Nu de zure depositie fors is gedaald en ook het niveau van de stikstofdepositie op veel plaatsen is gedaald, kunnen de effecten van herstelmaatregelen gericht op herstel van buffering en mineralenbeschikbaarheid duurzaam zijn. Om meer aanwijzingen te krijgen of de veranderde kwaliteit van waardplanten inderdaad een belangrijke sleutelfactor is in de achteruitgang van karakteristieke diersoorten, is een pilot-study uitgevoerd, waarin de kwaliteit van waardplanten is vergeleken tussen Nederlandse locaties met en zonder populaties van de drie vlindersoorten en buitenlandse referentiegebieden. Hierbij staat de vraag centraal of de kwaliteit van de waardplanten van de drie vlindersoorten in Nederland zodanig is veranderd dat de ontwikkeling van de rupsen beperkt wordt door de voedselkwaliteit. Dit is onderzocht door zowel een bioassay uit te voeren waarin rupsen van de Veenbesparelmoervlinder gevoerd werden met scheuten van Kleine veenbes uit Nederland of uit België, als door analyse van de concentraties van een groot aantal stoffen in plantenmateriaal van verschillende locaties.

Over de rol van voedselkwaliteit bij insecten is nog weinig bekend. In het algemeen wordt extra stikstof als positief beschouwd voor groei, overleving en reproductie (Throop & Lerdau 2004). Toch zijn er wel degelijk indicaties dat onvoldoende voedselkwaliteit los van eiwittekort belangrijk kan zijn (Mattson & Scriber 1987). Lindroth et al. (1991) vonden bijvoorbeeld een vertraagde ontwikkeling en lagere popgewichten bij de Plakker (*Lymantria dispar*) bij een mineralen-deficiënt dieet. Uit de veehouderij is al veel langer bekend dat bemesting kan leiden tot mineralentekorten (Thomas et al. 1945, Little 1982, Underwood & Suttle 2001). Ook bij vlinders zijn negatieve effecten van een overmaat aan stikstof gevonden. Zo vonden Fischer & Fiedler (2000) bij de Bruine vuurvliinder (*Lycaena tityrus*) bij verhoogde stikstofniveaus weliswaar een snellere ontwikkeling van de rupsen, maar die leidde tot lichtere poppen, een hogere popsterfte en lichtere vlinders met kortere vleugels. Soontjens & Bink (1997) vonden bij het Hooibeestje (*Coenonympha pamphilus*) bij een verhoogd stikstofaanbod eveneens een snellere ontwikkeling van de rupsen, maar het popgewicht vertoonde een optimum bij intermediaire stikstofconcentraties. Bovendien bleef in dit experiment de verhouding tussen stikstof en andere elementen constant. In deze onderzoeken werd echter niet ingegaan op de mechanismen achter deze effecten. De hypothese van tekorten aan micronutriënten van Van den Burg (2000, 2002 en 2006) past dus in een breder verband en biedt een kader om de invloed van stikstofovermaat op organismen verder te onderzoeken en beter te verklaren.

4.2 Deelvragen

1. Nemen de groei en overleving van rupsen af bij voeding met waardplanten, die groeien bij een hogere beschikbaarheid van stikstof (hoger stikstofdepositieniveau) en/of een lagere beschikbaarheid van mineralen (geen/minder invloed van grondwater)?
2. Verandert de balans tussen stikstof en mineralen en aminozuren bij toename van de beschikbaarheid van stikstof en/of afname van de beschikbaarheid van mineralen?

4.3 Werkwijze

Analyse van waardplantenkwaliteit

Waardplanten van de drie vlindersoorten werden voor analyse verzameld in terreinen waar deze vlindersoorten talrijk, afgenomen en verdwenen zijn in Estland, Letland, Duitsland, Denemarken, Ardennen (België), veentjes in de Drentse boswachterijen, Engbertsdijkswenen en het Fochteloërveen. De bemonsterde waardplanten zijn Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*, waardplant van Veenbesparelmoervlieder en Veenbesblauwtje), Lavendelhei (*Andromeda polifolia*, alternatieve waardplant Veenbesblauwtje) en Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) en Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) (waardplanten van Veenhooibeestje). De bemonstering in Nederlandse en Belgische gebieden vond plaats in 2007 en 2008, hoofdzakelijk in de maand mei, de periode waarin de rupsen van de drie vlindersoorten onder de Nederlandse omstandigheden de sterkste groei doormaken. Het materiaal in Duitsland, Denemarken en Estland werd in juli 2007 en juli 2008 verzameld.

De concentraties van de volgende elementen en aminozuren zijn gemeten: N, P, C, K, S, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Al, Cu, Si, Mn, Se, Ni, Li, Sr, Co, Mo, Ag, As, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb, alanine, arginine, aspartaan, cystine, glutamine, glycine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, serine, threonine, valine en tryptofaan. De aminozuren zijn geanalyseerd door TNO. De elementen zijn geanalyseerd in het gemeenschappelijk laboratorium van de Radboud Universiteit Nijmegen. Monsters van jong en ouder blad van Kleine veenbes en Lavendelhei zijn afzonderlijk geanalyseerd, omdat de rupsen van Veenbesparelmoervlinder en Veenbesblauwtje in het voorjaar alleen jong blad eten. In totaal zijn 151 monsters van waardplanten verzameld en geanalyseerd. Voor spore-elementen en aminozuren is een kleiner aantal monsters geanalyseerd (respectievelijk 126 en 88).



Figuur 10. Kweekopstelling in een klimaatkamer in Nijmegen waarin de veenvlinders eieren hebben afgezet op de waardplanten.

Kweek van vlinders

Gedurende deze pilot is in 2008 geprobeerd een kweek te starten van de drie vlindersoorten, zodat in een vervolgonderzoek onder verschillende gecontroleerde omstandigheden de ontwikkeling van ei tot vlinder onderzocht zou kunnen worden.

Waardplanten voor de vlinderkweek (Kleine veenbes en Eenarig wollegras) zijn in juli 2008 verzameld in Tofte Mose en Portland Mosen (Denemarken). Dit betreft referentiegebieden in het NW-Europese laagland met grote populaties van de drie vlindersoorten. Exemplaren van de drie soorten veenvlinders zijn eveneens in juli 2008 in dezelfde terreinen in Denemarken verzameld om eitjes voor de kweek te bemachtigen. De bronpopulaties van de soorten zijn daar groot genoeg om zonder risico per soort een tiental vrouwtjes voor ei-afzet te verzamelen. Deze vlinders zijn in Nijmegen in kooien in een klimaatkamer geplaatst, samen met in Denemarken verzamelde waardplanten (Figuur 10). Verschillende vrouwtjes van het Veenhooibeestje en de Veenbesparelmoervlinder hebben samen tientallen eitjes afgezet, maar van de Veenbesblauwtjes legde slechts één vrouwtje vier eieren. Van de drie soorten zijn in de tweede helft van juli 2008 jonge rupsen waargenomen. De potten met waardplanten en rupsen zijn voor de overwintering in een klimaatkamer gezet bij een temperatuur van 4°C en in een waterbad met water van een samenstelling die is gebaseerd op metingen van het bodemwater op de groeiplaats in Tofte Mose, Denemarken. Na de winter werden slechts enkele rupsen waargenomen en in juni 2009 kwamen slechts vijf vlinders uit de pop. Deze vlinders waren niet tegelijkertijd in leven, zodat voortplanting bij voorbaat was uitgesloten. Deze kweekpoging leverde dus geen rupsen voor verdere kweek of experimenten op.



Figuur 11. Ei van Veenbesparelmoervlinder op Kleine veenbes en jonge rups van Veenhooibeestje op Eenarig wollegras.



Figuur 12. In het voorjaar eten rupsen van de Veenbesparelmoervlinder (rechts) en het Veenbesblauwtje van knoppen en jong blad van hun waardplant, hier het rood gekleurde jonge blad van Kleine veenbes.

Bioassay met rupsen van Veenbesparelmoervlinder

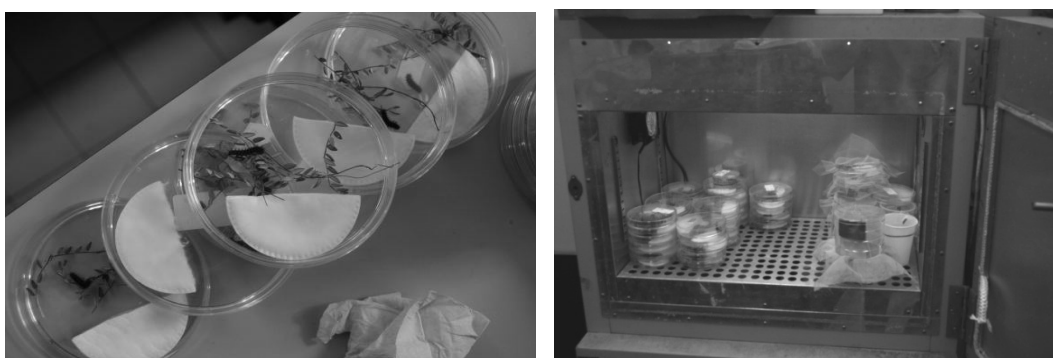
Om vast te stellen of verschillen in de kwaliteit van waardplanten de ontwikkeling van rupsen van veenvlinders beïnvloedt, is een bioassay uitgevoerd, waarin rupsen van de Veenbesparelmoervlinder gevoerd werden met veenbesmateriaal afkomstig uit Nederland (veentje in Vak 115, Boswachterij Grolloo) of België (La Grande Fange, Plateau des Tailles). In het veentje in Vak 115 bij Grolloo komt de Veenbesparelmoervlinder nog voor met een kleine populatie (die het in 2010 opmerkelijk goed deed met 119 waargenomen vlinders), terwijl nog een grote populatie aanwezig is in Fange de Crépale en La Grande Fange. 18 rupsen werden verzameld in Vak 115F in de boswachterij Grolloo en 76 rupsen in La Grande Fange. Pas in de laatste week van mei 2010 werden in La Grande Fange rupsen in voldoende aantallen gevonden om de bioassay te starten. Van de Nederlandse rupsen waren er bij de start van de bioassay vijf in het tweede rupsenstadium en 13 in het derde stadium. Van de Belgische rupsen waren er vier in het eerste stadium, 47 in het tweede stadium en 25 in het derde stadium. In de Belgische Ardennen komt door het verschil in klimaat met Nederland de ontwikkeling van de rupsen enkele weken later op gang (Figuur 20), waardoor een groter aandeel van de Belgische rupsen op 1 juni nog in het tweede rupsenstadium was.

De bioassay werd van 1 juni tot 20 juli 2010 uitgevoerd in een klimaatkamer op de Universiteit van Louvain-la-Neuve (België). Uit eerdere experimenten van Dr. Camille Turlure met rupsen van de Veenbesparelmoervlinder is gebleken dat het individueel houden van rupsen in petrischaaltjes in een klimaatkast (Figuur 13), waarin een temperatuurregime heerst dat overeenkomt met de natuurlijke temperatuurvariatie die gemeten is in een veen in de Belgische Ardennen, goed werkt. In het petrischaaltje werd naast veenbesstengels een vochtige, gehalveerde wattenschijf aangebracht voor de vochtvoorziening (of luchtbevochtiging). Gedurende het experiment werden de petrischaaltjes met de rupsen bewaard in een klimaatkast, die geplaatst was in een klimaatkamer waar de constante temperatuur 4°C bedroeg. De klimaatkast werd ingesteld op een dagnachtritme van zowel temperatuur als

licht. Tussen 08:00 en 20:00 bedroeg de luchttemperatuur 18°C. Om 20:00 werd de thermostaat en het licht in de klimaatkast uitgeschakeld en zakte de temperatuur geleidelijk naar 10°C.

Jonge scheuten van Kleine veenbes als voedsel voor de rupsen werden een maal per week verzameld op de locaties in Nederland en België. Het voedsel werd naar het laboratorium vervoerd in een koelbox en vanaf het moment van verzamelen maximaal vier dagen bewaard onder een constante temperatuur van 4°C, voordat het aan de rupsen werd gegeven. De rupsen werd twee of drie maal per week nieuw voedsel in overmaat aangeboden. Daarnaast werd gelijktijdig de wattenschijf vervangen en werd het petrischaaltje gereinigd met ethanol. Dit laatste om (schimmel)infecties te voorkomen. De rupsen werden voorzichtig gehanteerd met een penseel. De penseel werd na gebruik gereinigd met ethanol om de kans op verspreiding van virussen of infecties onder de rupsen te minimaliseren. Na reiniging van het petrischaaltje werd de deksel pas na ± 5 minuten weer aangebracht om er zeker van te zijn dat alle ethanoldamp verdwenen was. Op dezelfde dagen werden de rupsen gewogen op een analytische balans (resolutie: 0,01 mg) om de groei vast te leggen.

In tegenstelling tot succesvolle ontwikkeling van rupsen van de Veenbesparelmoervlinder tot vlinder onder deze kweekomstandigheden in voorgaande jaren stagneerde vanaf 10 dagen na de start van de bioassay de groei van veel rupsen en verloor een groot aantal rupsen gewicht. Het stoppen van de groei is normaal wanneer rupsen gaan verpoppen, wat 23 rupsen inderdaad deden. De overige rupsen verpopten echter niet en bleven ongeveer constant in gewicht of vertoonden een gewichtsafname, terwijl zij nog wel aten van het aangeboden materiaal van Kleine veenbes. Deze rupsen scheidden bruine vloeistof uit en stierven na een aantal dagen of bleven in het rupsenstadium tot in de derde week van juli, wanneer normaal gesproken verpopping heeft plaatsgevonden en de vlinders vliegen. Gedurende deze bioassay kwam slechts een vlinder uit voor de einddatum 20 juli. Na 20 juli kwamen nog twee vlinders uit hun pop. De overige 20 poppen stierven of bleven in het popstadium. Rupsen of poppen die tot ver in juli in het rupsen- of popstadium blijven, sterven na verloop van tijd als rups of pop.

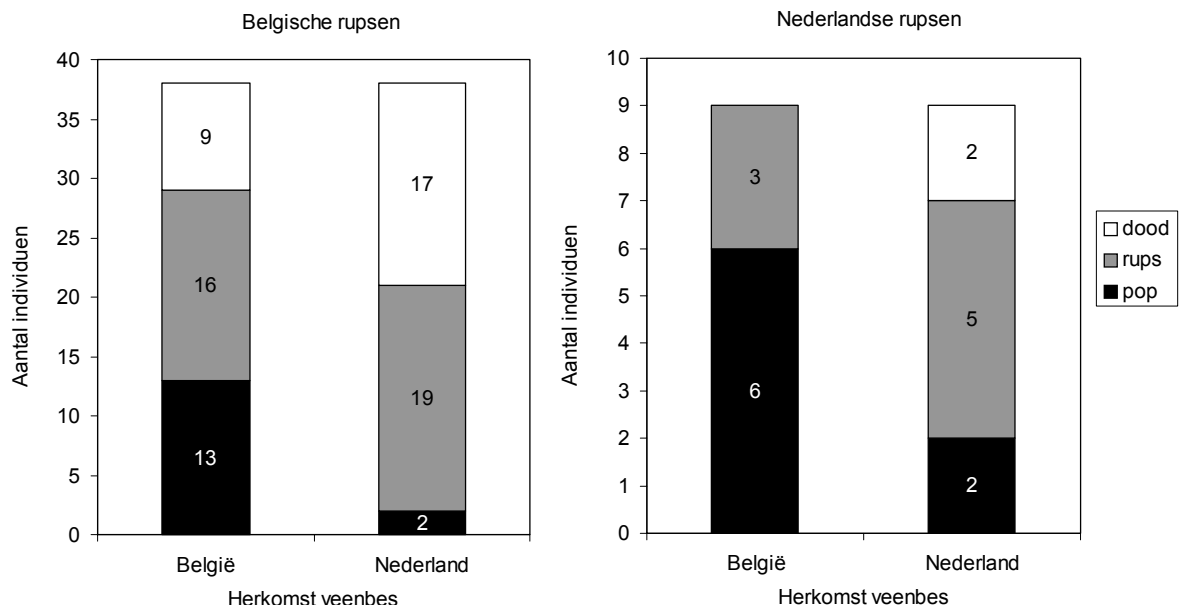


Figuur 13. Petrischaaltjes met daarin rupsen van Veenbesparelmoervlinder, vochtige wattenschijfjes en jonge scheuten van Kleine veenbes. Rechts de klimaatkast waarin de bioassay werd uitgevoerd.

4.4 Resultaten en discussie

Bioassay met rupsen van Veenbesparelmoervlinder

Door onbekende oorzaak was de sterfte van rupsen en poppen gedurende de bioassay veel hoger dan bij de kweek van rupsen die in 2009 in Louvain-la-Neuve werd uitgevoerd en kwamen nu nauwelijks vlinders uit de poppen. Desondanks zien we wel dat bij de Nederlandse en Belgische rupsen het sterftepercentage van rupsen die Nederlands veenbesmateriaal te eten kregen hoger was dan van rupsen die Belgisch veenbesmateriaal kregen (Figuur 14). Het percentage dat verpopte was beduidend hoger wanneer de rupsen Belgisch veenbesmateriaal kregen. Slechts twee van de Belgische rupsen die Nederlands veenbesmateriaal hebben gegeten, verpopten. Deze beide poppen stierven binnen enkele dagen na verpopping, terwijl alle dertien poppen die ontwikkelden uit de Belgische rupsen die Belgisch veenbesmateriaal te eten kregen nog in leven waren aan het einde van de bioassay. Van de negen Nederlandse rupsen die Belgisch veenbesmateriaal kregen, verpopten er zes; twee hiervan stierven binnen enkele dagen na verpopping. De twee Nederlandse rupsen die Nederlands veenbesmateriaal hebben gegeten en verpopten, stierven eveneens binnen enkele dagen na verpopping.



Figuur 14. Aantallen rupsen, poppen en dode individuen aan het einde van de bioassay met rupsen uit België die gevoerd werden met Kleine veenbes uit België of Nederland.

De bioassay werd uitgevoerd met zowel Belgische rupsen, als een beperkt aantal Nederlandse rupsen van de Veenbesparelmoervlinder om na te gaan of Nederlandse rupsen anders reageren op Belgisch en Nederlands veenbesmateriaal dan Belgische rupsen. Een verschillende respons zou kunnen duiden op adaptatie van de Veenbesparelmoervlinder aan de lokale situatie (waardplantkwaliteit). Aangezien de Nederlandse rupsen dezelfde respons vertoonden als de Belgische rupsen (Figuur 14) lijkt van lokale adaptatie geen sprake te zijn.

Om de groei van de rupsen te kunnen vergelijken tussen de rupsen die Belgisch resp. Nederlands veenbesmateriaal te eten kregen, is in Figuur 16 het verloop van het gemiddelde gewicht en de relatieve groei ten opzichte van

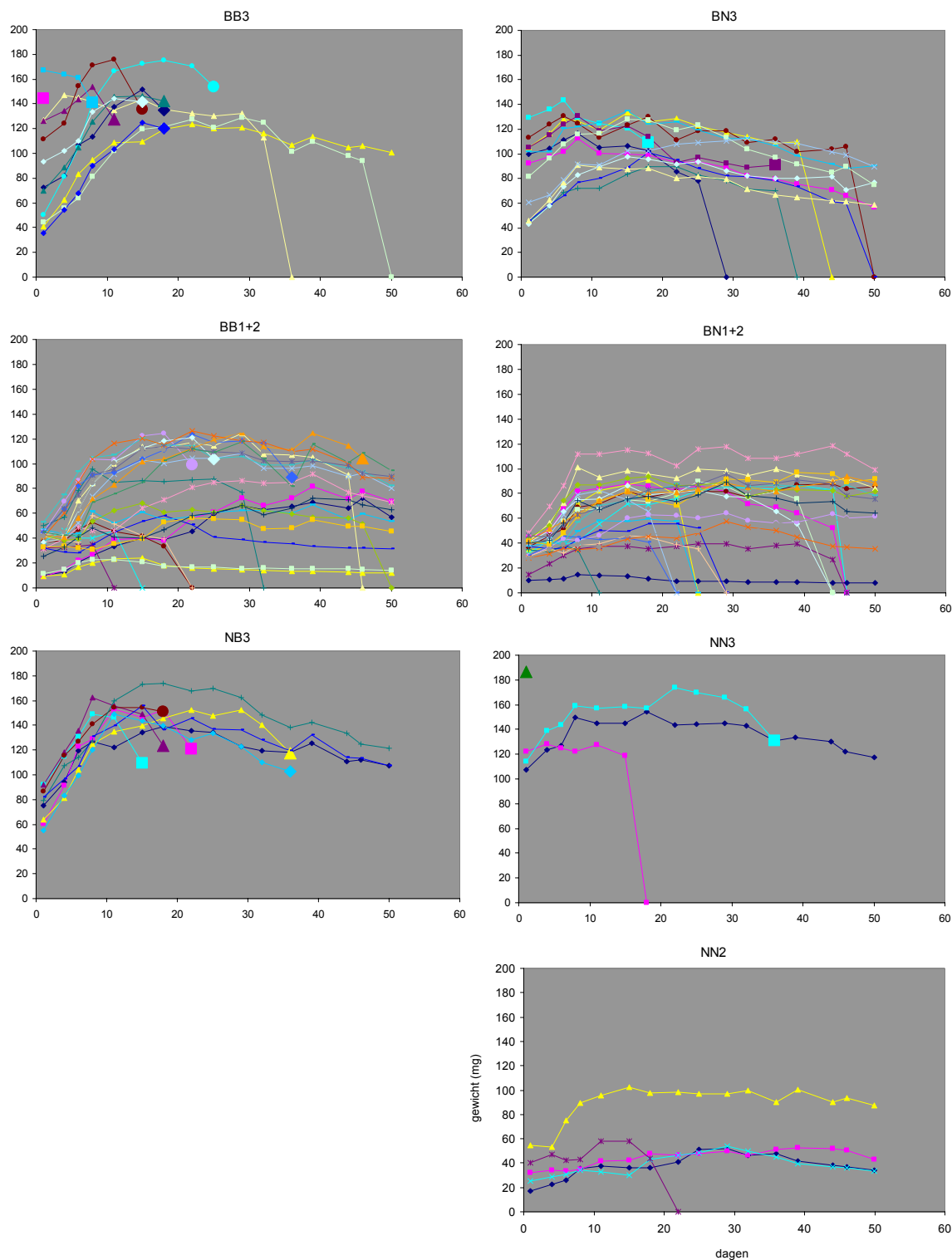
het startgewicht uitgezet. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de rupsen die in het eerste of tweede stadium waren bij de start van de bioassay en rupsen die bij de start in het derde stadium waren. Alle curves vlakken af of dalen in de tweede helft van de bioassayperiode. De daling van de curven duidt op een gemiddelde gewichtsafname van de rupsen. Gewichtsafname trad op voorafgaand aan verpoping of sterfte van de rupsen, zoals de gewichtsontwikkelingen van de individuele rupsen (Figuur 15) laten zien. Vanwege verpoping, de relatief hoge sterfte van rupsen en het feit dat veel rupsen niet verpopten gedurende de bioassay, worden de resultaten vanaf de tiende dag minder betrouwbaar. Desondanks blijft duidelijk dat de relatieve groei van de rupsen hoger was als zij Belgisch veenbesmateriaal kregen.

Vanwege de onverwacht hoge sterfte van de rupsen en het geringe percentage rupsen dat verpopte, is het nuttig de gewichtsontwikkeling van de rupsen in meer detail te bezien (Figuur 15). Rupsen bleken alleen te verpoppen als zij een gewicht van tenminste 120 mg hadden bereikt. Overigens verpopten niet alle rupsen die 120 mg of meer wogen. Kijken we naar de rupsen die bij de start van de bioassay in het derde stadium waren, dan zien we dat van de twaalf Belgische rupsen die Belgisch veenbesmateriaal kregen (BB3) er negen verpopten. Van de dertien Belgische derde-stadiumrupsen die Nederlands veenbesmateriaal kregen (BN3), verpopten alleen twee van drie rupsen die bij de start van de bioassay het zwaarste waren. Van de elf rupsen die niet verpopten, stierven er vijf en waren er zes na vijftig dagen nog in leven. Het startgewicht van de rupsen in groep BN3 lag gemiddeld 9% lager dan van groep BB3 (Figuur 16). Het feit dat de kleinste van de BB3-rupsen lichter was dan alle BN3-rupsen en wel kon verpoppen, geeft aan dat dit verschil in gemiddeld gewicht niet doorslaggevend is in het verschil in verpoping en overleving.

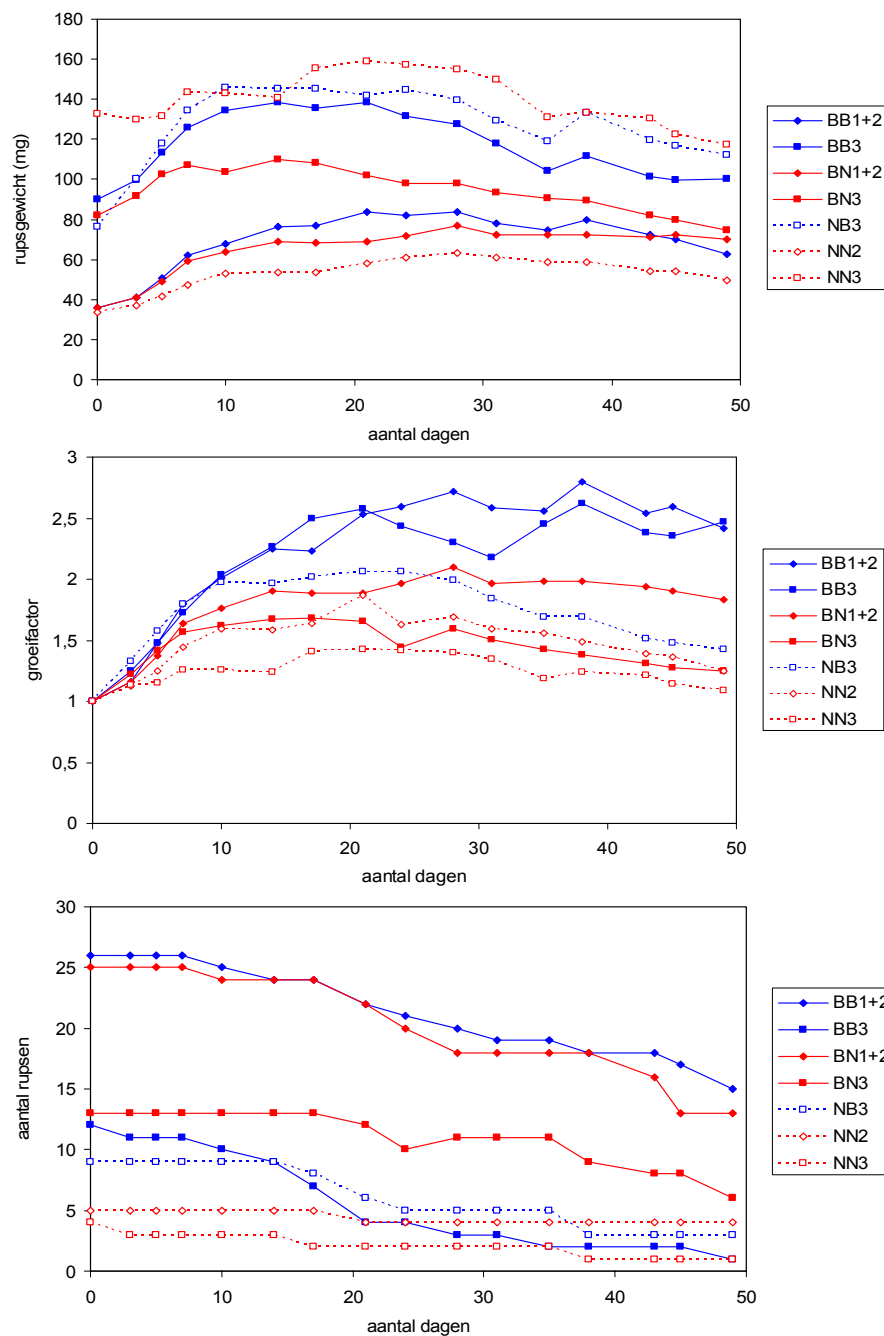
Van de Nederlandse derde-stadiumrupsen verpopten zes van de negen rupsen die Belgisch veenbesmateriaal (NB3) kregen en waren de drie overige rupsen nog in leven na 50 dagen, terwijl twee van de vier rupsen die Nederlands veenbesmateriaal kregen (NN3) verpopten, een rups stierf en een rups nog leefde na 50 dagen. Alle rupsen in groep NB3 wogen bij de start van de bioassay minder dan lichtste van de vier rupsen in groep NN3 (Figuur 15), maar zij maakten een relatief sterke groei door gedurende de eerste tien dagen van de bioassay, zodat het gemiddelde gewicht van groep NB3 vanaf dag 10 overeen kwam met het gemiddelde gewicht van de drie rupsen uit groep NN3 (een van de vier rupsen uit de groep NN3 verpopte binnen drie dagen na de start van de bioassay) (Figuur 16).

Van de rupsen die bij de start van de bioassay in het eerste of tweede stadium waren, verpopten er slechts vier (Figuur 15). Dit waren allemaal Belgische rupsen die Belgisch veenbesmateriaal kregen (BB1+2). Onder de Belgische eerste- en tweede-stadiumrupsen was de sterfte hoger als zij Nederlands veenbesmateriaal kregen (BN1+2). Geen enkele van de 25 rupsen uit de groep BN1+2 bereikte een gewicht boven de 120 mg. Van de 26 rupsen uit de groep BB1+2 bereikten er acht een gewicht van iets boven de 120 mg, waarvan er dus vier verpopten. Het gemiddelde gewicht bij de start van de bioassay was gelijk voor deze twee groepen (Figuur 16). De Nederlandse rupsen die in het tweede stadium waren, kregen alle Nederlands veenbesmateriaal (NN2), zodat voor dit rupsenstadium geen vergelijking mogelijk is van percentage verpoping en sterfte tussen voeding met Belgisch en Nederlands veenbesmateriaal.

Het verschil in respons van de Belgische rupsen op de Nederlandse resp. Belgische waardplanten was in het derde stadium groter dan in het eerste en



Figuur 15. Het gewicht (mg) gedurende de 50 dagen van de bioassay van individuele rupsen uit België (B...; bovenste 4 grafieken) en uit Nederland (N...; onderste 3 grafieken) die bij de start van de bioassay in het eerste of tweede stadium (...1+2) en in het derde stadium (...3) waren en Kleine veenbes uit België (...B; grafieken links) of Nederland (...N; grafieken rechts) te eten kregen. De lijn per rups eindigt met een vergrote punt in het geval de rups bij de eerstvolgende meting verpopt was. Wanneer de rups gedurende de bioassay stierf, is dit in de grafieken weergegeven door een daling van de lijn naar 0.



Figuur 16. Gemiddeld rupsgegewicht, gemiddelde relatieve groei en aantal rupsen gedurende de 50 dagen van de bioassay met rupsen uit België (B...) (gesloten symbolen en doorgetrokken lijnen) en uit Nederland (N...) (open symbolen en stippellijnen) die gevoerd werden met Kleine veenbes uit België (...B) (blauwe lijnen) of Nederland (...N) (rode lijnen). De relatieve groei is uitgedrukt als de factor waarmee het gewicht van de rups toeneemt ten opzichte van het gewicht op de dag dat de bioassay werd ingezet (dag 0). De ontwikkeling is gemiddeld over de rupsen die bij de start van de bioassay in het eerste en tweede stadium waren (◇) en rupsen die in het derde stadium waren (□).

tweede stadium, maar voor beide groepen gold dat ze een betere groei doormaakten en een lager sterftepercentage en een hoger verpoppingspercentage hadden bij voeding met Belgisch veenbesmateriaal. Ondanks de onverwacht hoge sterfte van de rupsen en het geringe percentage rupsen dat verpopte gedurende de bioassay kan geconcludeerd worden dat voor de Belgische en Nederlandse rupsen het Nederlandse veenbesmateriaal van lagere kwaliteit was dan het Belgische materiaal.

Analyse van waardplantenkwaliteit

Uit de bioassay met rupsen van de Veenbesparelmoervlinder blijkt dat de ontwikkeling en overleving van de rupsen verschilt tussen Nederlands en Belgisch veenbesmateriaal. Dit duidt erop dat de kwaliteit van de waardplanten verschilt tussen de beide groeiplaatsen. De resultaten van de analyse van de kwaliteit van grassen en Ericaceae (Kleine veenbes en Lavendelhei) worden hierna afzonderlijk besproken, omdat het waardplanten voor verschillende vlindersoorten zijn en omdat de twee plantengroepen qua groei en chemische samenstelling sterk verschillen. Kleine veenbes en Lavendelhei zijn in de verwerking en bespreking van de gegevens samen genomen, omdat de concentraties van elementen en aminozuren sterk overeenkomen en door het grotere aantal monsters patronen duidelijker naar voren komen.

Kleine veenbes en Lavendelhei

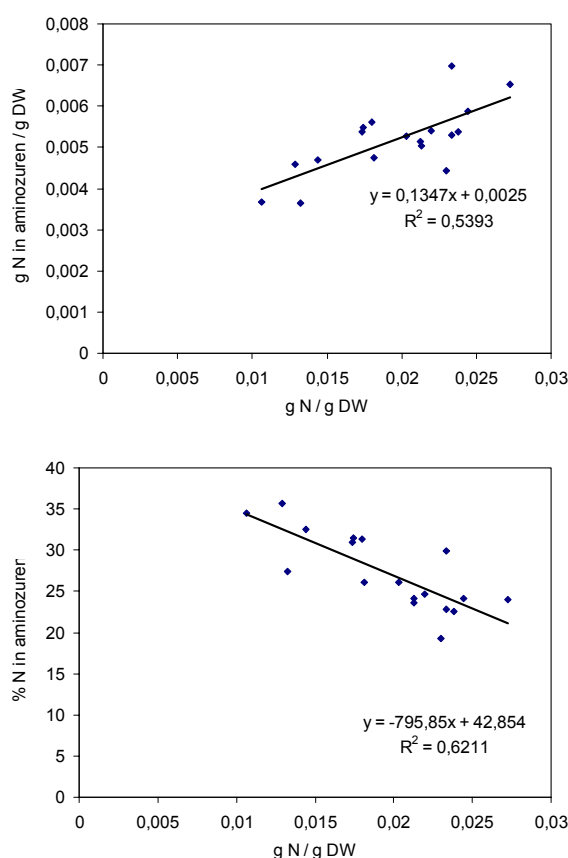
De concentratie van veel elementen en enkele aminozuren verschilde significant tussen jong en oud blad (Tabel 7). C, N, P en K kwamen in hogere concentraties in jong blad voor. De concentratie van Ca, Mg, Mn, Sr en Ba was daarentegen hoger in ouder blad. De concentratie van N (en C/N-ratio), P en de metalen Fe, Zn en Cr waren in het Nederlandse en Belgische materiaal hoger dan in materiaal uit Denemarken en Estland (Tabel 7). Voor de gehalten aan aminozuren lagen de Nederlandse concentraties samen met de Deense tussen de hogere waarden uit België en de lagere waarden uit Estland in. Relatief hoge concentraties werden gevonden voor Mg, Ba en de zware metalen Cu en Hg in de waardplanten uit Estland. De Nederlandse waardplanten sprongen er alleen uit voor de lage waarden van Mn en de hoge waarden van S en Se. De hoge zwavelconcentraties kunnen een gevolg zijn van zwaveldepositie in het verleden, maar ook van de ligging van Nederland dichtbij de zee. De afwijkende waarden voor Mn en Se houden mogelijk verband met de geologische positie van Nederland als deltagebied: beide mineralen worden veel gevonden in ertshoudende gesteenten, maar selenium spoelt in tegenstelling tot mangaan makkelijk uit en kan via rivieren naar een deltagebied worden afgevoerd.

Tabel 7. Gemiddelde samenstelling van Kleine veenbes en Lavendelhei met toetsing van verschillen tussen jong en oud blad (Fractie) en land van herkomst. Concentraties zijn in g/100g droge stof voor stikstof en koolstof en aminozuren en micromol/g droge stof voor de mineralen.

	Fractie	Land	Gemiddelde concentratie				
	P	P	NL	B	DK	EST	Landeffect
Macro-elementen							
N	<0,0001	<0,0001	1,61	1,85	1,25	1,22	NL,B > DK,EST
C	<0,0001	NS	50,2	50,0	50,8	50,2	-
C/N	<0,0001	<0,0001	32,6	29,3	41,8	43,0	NL,B < DK,EST
Na	NS	NS	19,3	3,4	7,6	3,7	-

	Fractie	Land	Gemiddelde concentratie				
	<i>P</i>	<i>P</i>	NL	B	DK	EST	Landeffect
K	<0,0001	NS	164	165	153	135	-
Ca	<0,0001	NS	175	178	210	210	-
Mg	0,0007	0,0091	66,8	58,6	66,8	74,5	EST > NL,DK,B
P	<0,0001	0,0006	49,9	54,4	35,0	37,1	B > NL > DK,EST
S	0,0024	0,0007	43,8	39,4	34,0	39,1	NL > B,EST > DK
Micro-elementen							
Mn	<0,0001	0,001	10,9	20,9	20,8	16,8	NL < EST < B,DK
Fe	NS	0,0011	2,0	5,5	1,3	1,2	B > NL > DK, EST
Si	<0,0001	0,0236	5,2	4,6	4,9	4,5	NL,DK > B,EST
Zn	<0,0001	<0,0001	0,62	0,86	0,48	0,51	B > NL > DK,EST
Al	<0,0001	0,0046	1,62	2,15	1,90	1,04	B,DK > NL > EST
Li	0,0041	NS	0,00216	0,00315	0,00332	0,00114	-
Cr	NS	0,0297	0,397	0,449	0,164	0,237	B,NL > EST,DK
Co	NS	NS	0,0036	0,0147	0,0028	0,0040	-
Ni	NS	NS	0,0677	0,0768	0,0298	0,0385	-
Cu	NS	<0,0001	0,265	0,153	0,104	0,515	EST > NL > B,DK
As	NS	NS	0,00277	0,00269	0,00129	0,00220	-
Se	NS	<0,0001	0,00416	0,00098	0,00063	0,00167	NL > EST > B,DK
Sr	<0,0001	<0,0001	0,188	0,117	0,254	0,077	NL,DK > B,EST
Mo	NS	0,0116	0,00683	0,0069	0,0029	0,0049	B,NL,EST > DK
Ag	NS	<0,0001	0,00026	0,00114	0,00026	0,00011	B > NL,DK,EST
Cd	<0,0001	0,0257	0,00103	0,00361	0,00256	0,00375	NL,DK < B,EST
Sn	NS	NS	0,0179	0,0352	0	0,0219	-
Ba	<0,0001	0,0102	0,90	1,19	0,88	1,47	EST > B,NL,DK
Hg	NS	0,0186	0,000329	0,000406	0,000242	0,000794	EST > B,NL,DK
Pb	NS	0,0009	0,00244	0,00401	0,00052	0,00268	B > EST,NL > DK
Amino-zuren							
Totaal	NS	<0,0001	3,25	3,55	3,12	2,49	B > NL,DK > EST
Alanine	NS	<0,0001	0,23	0,25	0,23	0,18	B,NL,DK > EST
Arginine	NS	0,0113	0,31	0,30	0,24	0,20	NL,B > DK,EST
Aspartaan	NS	<0,0001	0,39	0,44	0,38	0,30	B > NL,DK > EST
Cystine	<0,0001	<0,0001	0,04	0,05	0,04	0,03	B > NL,DK > EST
Glutamine	NS	<0,0001	0,45	0,51	0,43	0,35	B > NL,DK > EST
Glycine	NS	<0,0001	0,22	0,24	0,22	0,17	B,NL,DK > EST
Isoleucine	NS	<0,0001	0,20	0,23	0,20	0,16	B > NL,DK > EST
Leucine	NS	<0,0001	0,36	0,40	0,36	0,28	B > NL,DK > EST
Lysine	0,003	0,0002	0,27	0,29	0,25	0,22	B > NL,DK > EST
Methionine	NS	<0,0001	0,09	0,09	0,08	0,06	B,NL,DK > EST
Serine	0,0107	<0,0001	0,19	0,21	0,18	0,15	B > NL,DK > EST
Threonine	NS	<0,0001	0,19	0,21	0,18	0,14	B > NL,DK > EST
Valine	NS	<0,0001	0,24	0,27	0,24	0,19	B > NL,DK > EST
Tryptofaan	NS	0,0006	0,08	0,08	0,08	0,06	B,NL,DK > EST

In de buitenlandse gebieden zijn alleen waardplanten geanalyseerd van plekken met veenvlinders (in België alleen Veenbesparelmoervlinder). Binnen Nederland zijn plekken vergeleken waar de soorten nog wel voorkomen en waar ze sinds 1990 zijn verdwenen. Er werden echter nauwelijks verschillen gevonden tussen plekken met en zonder veenvlinders. Dit gold ook voor eerdere monsters van Kleine veenbes die eind juni 2006 zijn verzameld (Wallis de Vries & Bobbink, ongepubliceerde gegevens). Voor stikstof gaven de in 2007 en 2008 in mei verzamelde monsters een zwakke indicatie ($P=0,075$) van hogere concentraties bij aanwezigheid van veenvlinders dan bij afwezigheid. Dit verschil was afwezig voor de monsters die eind juni 2006 waren verzameld ($P=0,16$). Voor mangaan waren de gehalten in het in 2007 en 2008 verzamelde materiaal significant hoger op verlaten plekken dan op plekken met veenvlinders ($12,6 \pm 0,6$ vs. $8,8 \pm 1,0$; $P=0,0028$), maar ook deze verschillen waren niet significant in de monsters uit 2006 ($P=0,31$).



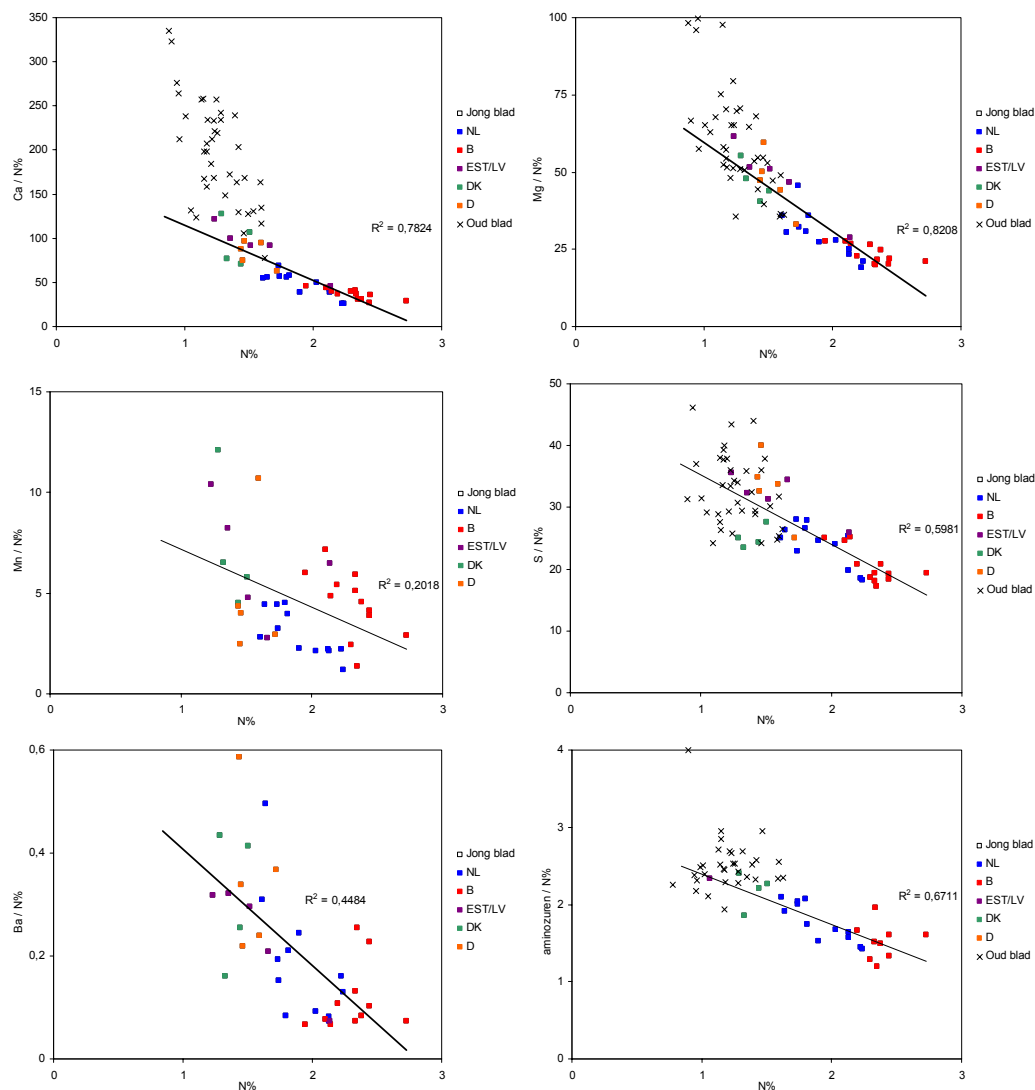
Figuur 17. Stikstofgehalte (links) en percentage van het totale stikstofgehalte dat ingebouwd is in de gemeten aminozuren uitgezet tegen het totale stikstofgehalte in jong blad van Kleine veenbes.

De concentraties van afzonderlijke aminozuren waren sterk gecorreleerd met het totale gehalte van gemeten aminozuren ($r > 0,9$ behalve voor cystine $r=0,62$, arginine $r=0,72$ en tryptofaan $r=0,78$). De correlatie met stikstofconcentraties in de plant was veel lager: gemiddeld $r=0,46$ ($r=-0,05$ voor cystine tot $r=0,68$ voor serine) en $r=0,56$ voor het totale aminozuurgehalte. In Figuur 17 is te zien dat in jong blad van Kleine veenbes het gehalte aan stikstof dat ingebouwd is in de in dit onderzoek geanalyseerde aminozuren toeneemt bij toename van het totale gehalte aan stikstof in het blad. Uit de rechter grafiek in deze figuur blijkt dat bij hogere N-gehalten in het blad de extra stikstof in andere stoffen dan de gemeten

aminozuren wordt gebonden. Uit het OBN-onderzoek in heiden (Vogels et al. in voorb.) en stuifzanden (Nijssen & Siepel 2010) komt naar voren dat hogere concentraties van stikstof in andere verbindingen dan aminozuren (of eiwitten) leiden tot een verminderde groei en een verhoogde sterfte bij insecten (onderzocht bij vlinderrupsen en sprinkhanen).

Om na te gaan of een hoger stikstofgehalte in het blad van waardplanten kan leiden tot een lagere opname van mineralen en aminozuren door herbivoren, is de verhouding van gehalten tussen elementen en stikstof uitgezet tegen het stikstofgehalte van het blad (Figuur 18). Voor verschillende elementen is inderdaad een dalende trend te zien in de concentratieverhouding tussen element en stikstof (N) bij toename van het stikstofgehalte in het blad. Deze dalende trends zijn vooral aanwezig in het jonge blad, waarin een grotere variatie in de N-concentratie (N%) aanwezig is. Ouder blad heeft een lager stikstofgehalte dan jong blad en dit gehalte verschilt in oud blad veel minder tussen verschillende locaties of landen dan in jong blad (Figuur 18). Het resultaat dat jong blad een hoger N-gehalte heeft dan oud blad komt overeen met resultaten van eerder onderzoek aan Struikhei (*Calluna vulgaris*) (Bink 1992). Een hoog N-gehalte is dus niet -of in elk geval niet alléén- een resultaat van hogere N-depositie, maar is gerelateerd aan de ouderdom van het blad. Wat verder opvalt, is dat het N-gehalte in het jonge blad dat in Belgische terreinen is verzameld, gemiddeld hoger was dan in het Nederlandse jonge blad, terwijl het N-gehalte in jong blad uit Duitsland, Denemarken, Letland en Estland lager was dan in jong blad uit Nederland en België. Het Belgische materiaal omvat Kleine veenbes van enkele locaties waar Veenbesparelmoervlinders in hoge dichtheden voorkomen (inclusief materiaal uit La Grande Fange waar ook het Veenbesmateriaal voor de bioassay is verzameld). De concentratieverhouding tussen aminozuren en N liet een zelfde dalende trend zien bij toename van het N-gehalte (Figuur 18).

Uit deze resultaten zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het veenbesblad, waarvan de rupsen in de Belgische terreinen eten, in vergelijking met Nederlands materiaal een hoger N-gehalte en een lagere verhouding tussen veel elementen en aminozuren en N hebben. Dat geldt dus ook voor de Belgische locaties waar de vegetatie in de slenken duidelijk aangeeft dat het veen door gebufferd water wordt gevoed. Bij de interpretatie van de gegevens is het echter belangrijk te bedenken dat de kwaliteit van het blad verandert gedurende het ouder worden van het blad. De gegevens laten zien dat bij het ouder worden van het blad de N-concentratie daalt en de concentratieverhouding tussen elementen en aminozuren en N stijgt (van rechts naar links in Figuur 18). Het materiaal uit Duitsland, Denemarken, Letland en Estland is in juli verzameld en voor deze landen verschilt het jonge blad in gehalten en concentratie-verhoudingen weinig of niet van ouder blad. Het verschil in N-concentratie en concentratieverhoudingen tussen jong en oud blad is in het in mei verzamelde Nederlandse en Belgische materiaal veel groter dan in het materiaal uit de andere vier landen dat in juli werd verzameld. Figuur 19 laat dit zien voor de Ca/N-verhouding; voor verschillende andere elementen is het patroon hetzelfde.

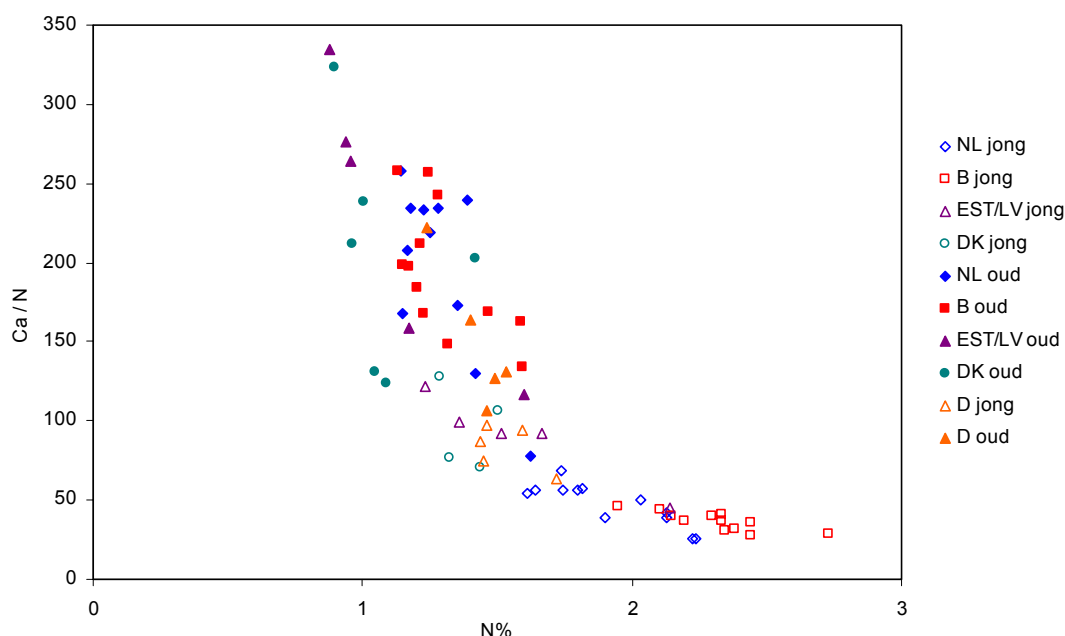


Figuur 18. Verhouding tussen de concentraties van enkele elementen ($\mu\text{mol/g}$ droge stof) en het totaal aan aminozuren ($\text{g}/100\text{g}$ droge stof) en het percentage stikstof (g/g droge stof) uitgezet tegen het percentage stikstof in het blad van Kleine veenbes en Lavendelhei. Jong blad is aangeduid met $\square$, waarbij voor de verschillende landen van herkomst verschillende kleuren zijn gebruikt. Oud blad is aangeduid met $\times$. De weergegeven trendlijnen en R^2 hebben alleen betrekking op jong blad.

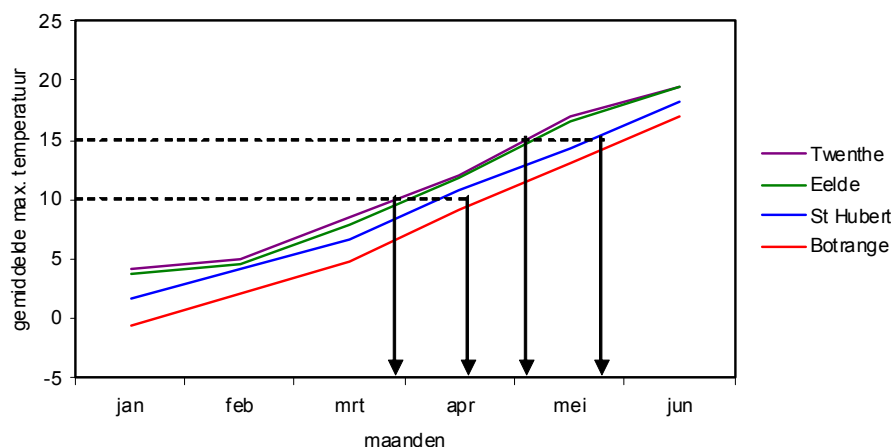
Het meeste Nederlandse jonge blad is in mei 2008 negen dagen eerder dan het Belgische materiaal verzameld. Uit het verloop van de gemiddelde maximale maandtemperatuur (Figuur 20) kan afgeleid worden dat het voorjaar op de hoger gelegen Belgische onderzoekslocaties ongeveer 2 tot 3 weken later op gang komt dan op de Nederlandse onderzoekslocaties. Dat het aandeel van rupsen die nog in het eerste en tweede stadium waren op 1 juni 2010 in België veel hoger was dan in Nederland hangt hiermee samen. Uit de ligging van de datapunten van concentraties en verhoudingen langs de trendlijnen in Figuur 18 en Figuur 19 kan ook de conclusie getrokken worden dat het Belgische jonge blad op moment van verzamelen nog jonger is – dus in kwaliteit meer verschilt van oud blad- dan het Nederlandse materiaal. Dit verschil in ouderdom en kwaliteit geldt dan uiteraard ook voor het Veenbesmateriaal dat in 2010 tegelijkertijd werd verzameld in Nederland en België en gevoerd werd aan de rupsen in de bioassay. Hoe snel deze verandering in kwaliteit (afname N-concentratie en toename van verhouding

tussen diverse mineralen en N) bij het ouder worden optreedt, is onbekend. In het verlengde van deze conclusie zou de hypothese geformuleerd kunnen worden dat het Nederlandse blad over het algemeen sneller veroudert (dus: in voedselkwaliteit afneemt) dan het blad van de Belgische locaties.

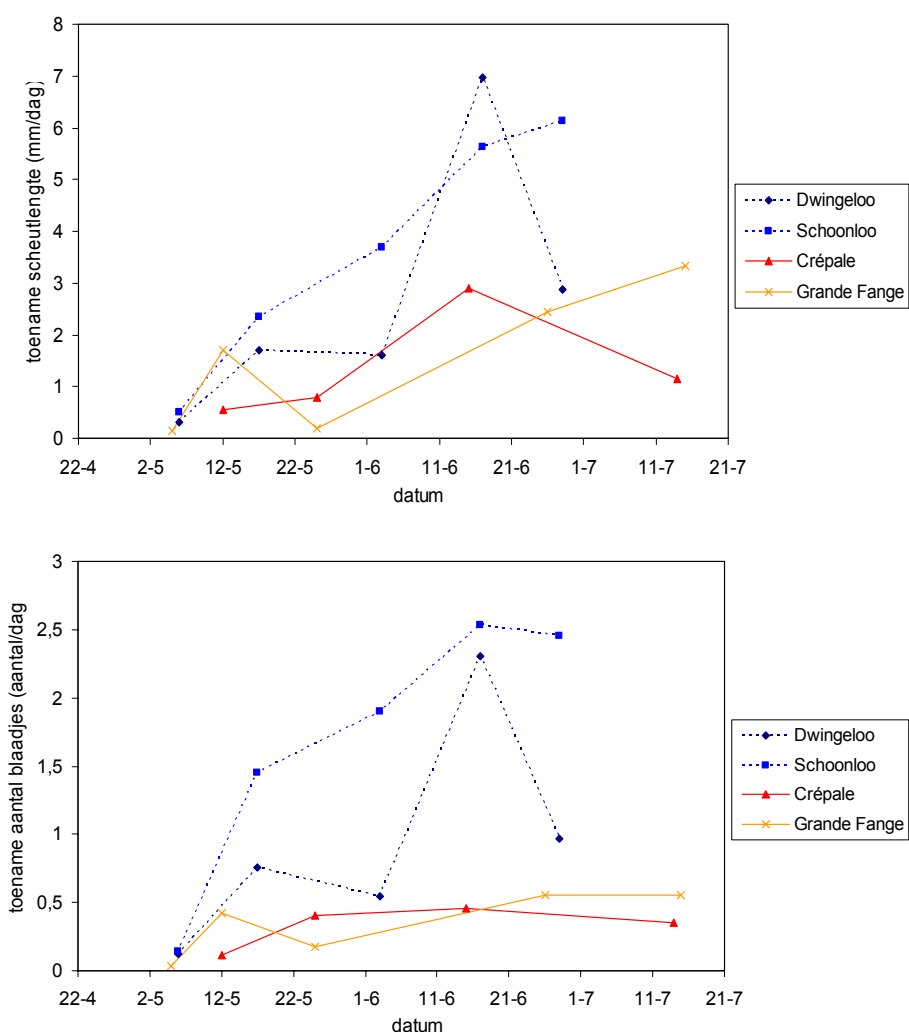
Deze gegevens leidden gedurende het onderzoek ook tot de hypothese dat in plaats van, of naast, snellere veroudering van blad, het zo kan zijn dat in de Nederlandse terreinen waar minder voeding met gebufferd grondwater optreedt, de productie van jong bladmateriaal lager is of al relatief snel in het groeiseizoen van de rupsen afneemt. Hierdoor zou voor de groeiende rupsen in de loop van het voorjaar steeds minder materiaal van goede (=jonge) kwaliteit beschikbaar zijn. In het licht van deze interpretatie kan de in het voorgaande vermelde zwakke indicatie dat stikstof hogere concentraties heeft in het blad bij aanwezigheid dan bij afwezigheid van veenvlinders worden gezien. Dit was het geval voor de in 2007 en 2008 in mei verzamelde monsters, terwijl dit verschil afwezig was voor de eind juni 2006 verzamelde monsters, die dus ouder blad betroffen. In het voorjaar van 2010 is de ontwikkeling in de productie van Kleine veenbes vastgelegd gedurende de groei van rupsen op twee Nederlandse en twee Belgische locaties: Vak 115 bij Schoonloo (Veenbesparelmoervlinder aanwezig), Lange Veen bij Dwingeloo (Veenvlinders verdwenen), La Grande Fange (grote populatie Veenbesparelmoervlinder) en Fange de Crépale (kleine populatie Veenbesparelmoervlinder). Daaruit bleek dat Kleine veenbes productiever was op de twee Nederlandse locaties dan op de twee Belgische locaties gedurende de hele rupsenperiode en dat jong blad dus voorhanden is in de hele rupsenperiode. Ook de in het voorgaande besproken uitkomsten van de bioassay, die tegelijk met de metingen van de groei van Kleine veenbes werd uitgevoerd, gaven al aan dat een kwaliteitsverschil in het veenbesblad bepalend is voor de groei en ontwikkeling van rupsen.



Figuur 19. Ratio van Ca-gehalte en N-percentage uitgezet tegen het N-percentage in jong en oud blad van Kleine veenbes en Lavendelheide.



Figuur 20. Langjarig gemiddelde van de maximale temperatuur per maand op weerstations nabij de Nederlandse (Twenthe en Eelde) en Belgische (St. Hubert en Botrange) monsterpunten (Bron: www.KNMI.nl). Met de pijlen is aangegeven wanneer een gemiddelde maximum temperatuur van 10 en 15 graden Celcius bereikt wordt op de Nederlandse en Belgische weerstations.



Figuur 21. Toename van de lengte van scheuten en het aantal blaadjes van Veenbes op twee Nederlandse en twee Belgische locaties.

Eenarig wollegras

Eenarig wollegras is in Engeland en Nederland de voornaamste waardplant van het Veenhooibeestje. De nutriëntenconcentraties van Eenarig wollegras verschilden duidelijk van die van Kleine veenbes en Lavendelhei. In Eenarig wollegras waren de gehalten van N, K, Si en aminozuren relatief hoog en de gehalten van Ca, Mg, Mn, Al, Sr en Ba relatief laag. Dit mocht worden verwacht van een grasachtige, die veel minder investeert in duurzame structuren dan heideachtigen, maar Si voor de stevigheid van de celwanden incorporeert.

Bij vergelijking tussen de landen moet worden opgemerkt dat het Veenhooibeestje uit de Ardennen vrijwel verdwenen is en de waardplanten-monsters daarvan dus een slechte habitatkwaliteit zouden kunnen indiceren. De gehalten aan macronutriënten verschilden voor Eenarig wollegras weinig tussen de verschillende landen. Stikstofconcentraties waren het hoogst in België en het laagst in Estland en andersom voor de C/N-ratio. Na-concentraties waren relatief hoog in Nederland en Denemarken, wat veroorzaakt kan worden door de sterkere invloed van zee in beide landen. Ook de S-concentraties waren relatief hoog in Nederland en Denemarken. De gehalten van de micro-elementen vertoonden wel enige variatie tussen landen, maar daarbij gaven de monsters uit Nederland geen afwijkende waarden te zien. Net als voor Kleine veenbes en Lavendelhei waren de gehalten voor Mn in Nederland wel het laagst, maar het verschil was bij Eenarig wollegras niet significant ($P > 0,5$).

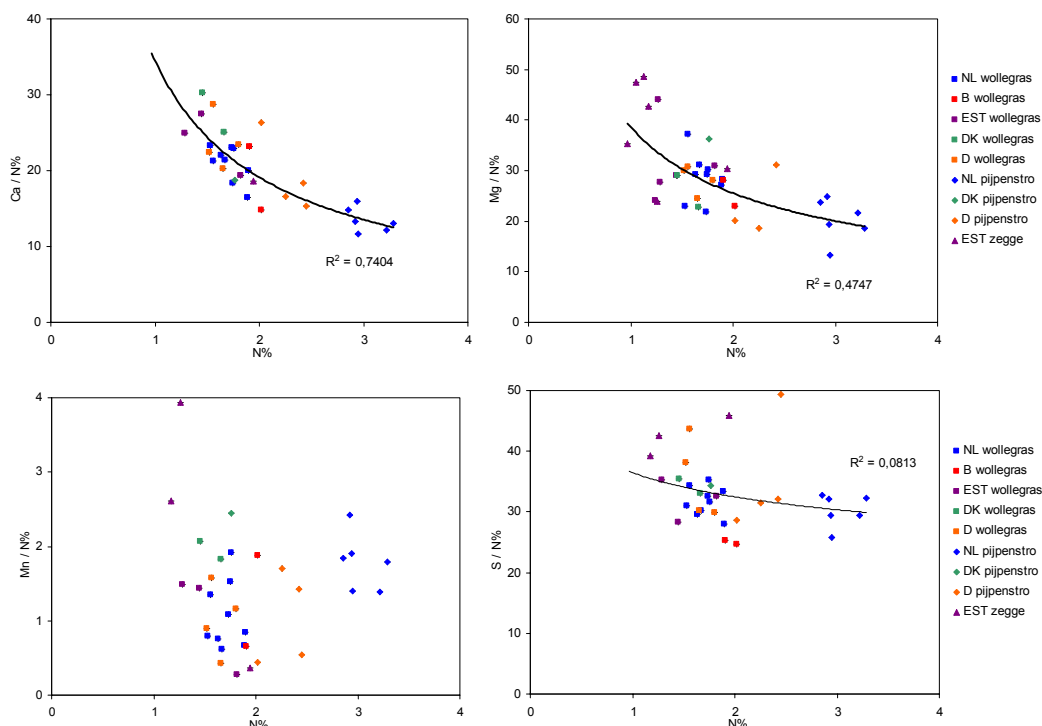
De concentraties van afzonderlijke aminozuren waren ook voor Eenarig wollegras sterk gecorreleerd met het totale gehalte aan aminozuren ($r > 0,9$ met uitzondering van tryptofaan, $r = 0,78$). In tegenstelling tot Kleine veenbes en Lavendelhei was bij Eenarig wollegras echter ook de correlatie tussen gehalten van aminozuren en stikstof hoog: $r = 0,81$ voor het totale gehalte en $0,78-0,84$ voor afzonderlijke aminozuren met uitzondering van, wederom, tryptofaan met $r = 0,48$. Tussen de landen varieerde het gehalte aan aminozuren wel significant, maar alleen vanwege de lage gehalten in Estland (Tabel 8); de gehalten in Nederland, België en Denemarken waren vergelijkbaar.

Om na te gaan of een hoger stikstofgehalte in het blad van waardplanten kan leiden tot een lagere opname van mineralen en aminozuren door herbivoren, is de verhouding van gehalten tussen elementen en stikstof uitgezet tegen het stikstofgehalte van het blad (Figuur 22). Voor Ca en Mg is inderdaad een dalende trend te zien in de concentratieverhouding tussen element en stikstof (N) bij toename van het stikstofgehalte in het blad. Deze dalende trend is voor een groot deel het gevolg van de lage Ca- en Mg-concentraties in Pijpenstro. Het N-gehalte en de verhoudingsgetallen tussen elementen en N% in Eenarig wollegras verschilden niet duidelijk tussen Nederlandse en buitenlandse locaties. Voor Eenarig wollegras waren er in tegenstelling tot Kleine veenbes en Lavendelhei geen duidelijk lagere Mn-gehalten in de Nederlandse monsters.

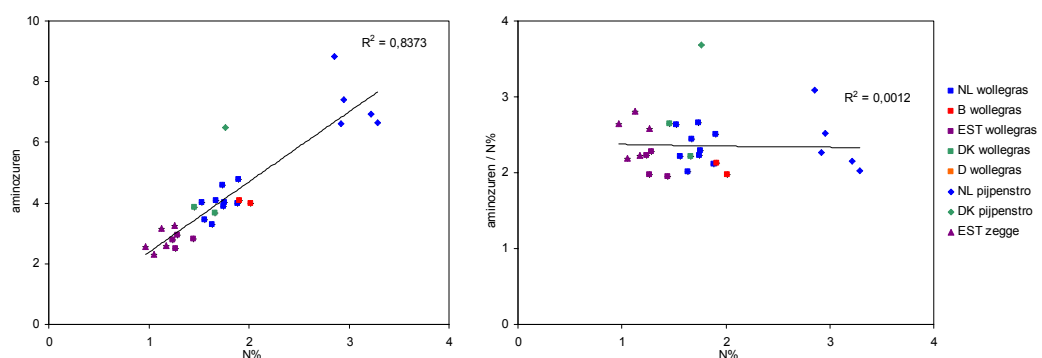
De concentraties aan aminozuren namen bij Eenarig wollegras ($r = 0,85$; $P = 0,0001$) en ook bij alle grasachtigen samen lineair toe met de stikstofconcentratie (Figuur 23). Voor Nederland en België waren de aminozuurgehalten relatief hoog, maar de verhouding tussen aminozuren en stikstof is gelijk aan die in buitenlandse terreinen.

Tabel 8. Gemiddelde samenstelling van groen blad van Eenarig wollegras met toetsing van verschillen tussen landen van herkomst. Concentraties zijn in g/100g droge stof voor stikstof, koolstof en aminozuren en micromol/g droge stof voor de mineralen.

	<i>P</i>	NL	B	DK	EST	Landeffect
Macro-elementen						
N	0,0001	1,71	1,96	1,56	1,31	B > NL > DK > EST
C	0,001	46,4	46,0	47,8	46,2	DK > NL,EST,B
C/N	0,0002	27,2	23,5	30,8	35,2	EST > DK > NL > B
Na	0,0362	8,2	5,1	7,2	4,5	NL,DK > B,EST
K	NS	212	275	273	184	-
Ca	NS	35,7	37,1	42,9	35,6	-
Mg	NS	48,8	50,0	40,1	40,8	-
P	NS	49,1	60,9	39,5	39,7	-
S	0,0016	54,4	49,0	53,4	36,5	NL,DK > B > EST
Micro-elementen						
Mn	NS	1,8	2,5	3,0	2,7	-
Fe	0,0144	1,9	4,0	1,4	1,2	-
Si	NS	12,3	12,6	10,8	8,7	-
Zn	NS	1,21	1,29	0,99	1,02	-
Al	NS	0,50	0,70	0,63	0,42	-
Li	<0,0001	0,00080	0	0,00540	0,00053	DK > NL,EST > B
Cr	NS	0,331	0,590	0,095	0,185	-
Co	NS	0,00377	0,00424	0,00793	0,00223	-
Ni	NS	0,0538	0,0783	0,0550	0,0330	-
Cu	0,0085	0,305	0,180	0,077	0,403	DK < B < NL < EST
As	NS	0,00481	0,00298	-	0,00226	-
Se	NS	0,00239	0	0,00264	0,00166	-
Sr	0,0244	0,094	0,071	0,084	0,043	NL,B,DK > EST
Mo	0,0075	0,0080	0,0235	0,0025	0,0054	B > NL,EST, DK
Ag	NS	0,00026	0,00019	0,00002	0,00057	-
Cd	0,0381	0,00128	0,00462	0,00021	0,00046	B > NL > EST,DK
Sn	<0,0001	0,0216	0,0014	0,0019	0,0203	B,DK < NL,EST
Ba	0,0374	0,27	0,30	0,08	0,21	B,NL,EST > DK
Hg	NS	0,000234	0,000274	0,000431	0,000221	-
Pb	<0,0001	0,00185	0,00266	0	0,00270	B,NL,EST > DK
Aminozuren						
Totaal	0,0008	4,01	4,03	3,77	2,73	B,NL,DK > EST
Alanine	0,0021	0,30	0,30	0,28	0,20	B,NL,DK > EST
Arginine	0,0005	0,30	0,32	0,28	0,21	B,NL,DK > EST
Aspartaan	0,0007	0,49	0,49	0,46	0,33	B,NL,DK > EST
Cystine	0,0003	0,06	0,06	0,06	0,04	B,NL,DK > EST
Glutamine	0,0005	0,54	0,55	0,51	0,37	B,NL,DK > EST
Glycine	0,0004	0,28	0,28	0,26	0,19	B,NL,DK > EST
Isoleucine	0,001	0,25	0,26	0,24	0,18	B,NL,DK > EST
Leucine	0,0005	0,46	0,47	0,44	0,32	B,NL,DK > EST
Lysine	0,0013	0,32	0,33	0,31	0,22	B,NL,DK > EST
Methionine	0,0016	0,11	0,12	0,11	0,08	B,NL,DK > EST
Serine	0,0011	0,24	0,24	0,23	0,17	B,NL,DK > EST
Threonine	0,0001	0,24	0,24	0,23	0,17	B,NL,DK > EST
Valine	0,0007	0,30	0,30	0,28	0,21	B,NL,DK > EST
Tryptofaan	NS	0,12	0,10	0,10	0,07	-



Figuur 22. Verhouding tussen de concentraties van enkele elementen ($\mu\text{mol/g}$ droge stof) en het percentage stikstof (g/g droge stof) uitgezet tegen het percentage stikstof in diverse soorten grasachtigen.



Figuur 23. De concentraties van het totaal aan aminozuren (g/100g droge stof) en de verhouding tussen de concentraties van het totaal aan aminozuren (g/100g droge stof) en het percentage stikstof (g/g droge stof) uitgezet tegen het percentage stikstof in diverse soorten grasachtigen.

Vergelijking tussen Eenarig wollegras en Pijpenstrootje

Uit kweekexperimenten is bekend dat het Veenhooibeestje zich ook kan ontwikkelen op andere soorten grassen en zeggen dan Eenarig wollegras, zoals Pijpenstrootje (Bink 2006 en pers. med.) en in sommige delen van het areaal van het Veenhooibeestje komt Eenarig wollegras niet eens voor. Daarom is voor de Nederlandse monsters ook een vergelijking gemaakt tussen de samenstelling van Eenarig wollegras en Pijpenstrootje (Tabel 9). Pijpenstrootje bevestigt zijn status als groeikrachtige grassoort door relatief hoge gehalten van N, aminozuren, K, P, S en een lagere C/N-ratio. Maar ook de gehalten van Ca, Mg, Mn, Se, Cd en Pb waren hoger in Pijpenstrootje. Alleen voor Sr en Ba waren de gehalten hoger in Eenarig wollegras.

Er waren geen belangrijke elementen waarvoor de verhouding met stikstof aanmerkelijk hoger was in Eenarig wollegras dan in Pijpenstrootje, behalve Ca (Figuur 22). De ratio tussen aminozuren en stikstof was in beide plantensoorten vergelijkbaar (Figuur 23). De keuze van Veenhooibeestje voor Eenarig wollegras boven Pijpenstrootje lijkt al met al niet door de verhouding tussen elementen of aminozuren en stikstof te worden bepaald. Wel is de absolute concentratie van andere N-houdende verbindingen in Pijpenstrootje hoger dan in Eenarig wollegras, maar onduidelijk is of dit een probleem is voor de ontwikkeling van de rupsen en poppen van het Veenhooibeestje. Recente ontwikkelingen van de populaties Veenhooibeestje in het Fochtelooërveen en het Hingstevveen laten een duidelijk herstel van de aantallen zien (Van Swaay et al. 2009). De vraag is dus, gelet op de uitkomsten van de chemische analyses, of de voedselkwaliteit wel de beperkende factor is voor het Veenhooibeestje. Mogelijk is vooral herstel van de vegetatiestructuur en het microklimaat een voorwaarde voor herstel van deze veenvlinder. Het vermoeden bestaat dat Eenarig wollegras vooral verkozen wordt vanwege een gunstiger polstructuur ten aanzien van microklimaat of beschutting bij hoge waterpeilen (Joy & Pullin 1997 en 1999, Van Duinen et al. 2006a).

Tabel 9. Vergelijking van de chemische samenstelling van Eenarig wollegras en Pijpenstrootje in Nederlandse terreinen; alleen de elementen met significante verschillen zijn weergegeven. Voor aminozuren is alleen het totale gehalte gegeven: de verschillen waren voor alle afzonderlijke aminozuren vergelijkbaar en eveneens sterk significant.

	Eenarig wollegras	Pijpenstrootje	P
Macro-elementen			
N	1,71	3,03	<0,0001
C/N	27,2	15,3	<0,0001
K	212	288	0,0012
Ca	35,7	40,7	0,0244
Mg	48,8	61,2	0,0292
P	49,1	57,8	0,0318
S	54,4	91,8	<0,0001
Micro-elementen			
Mn	1,8	5,4	<0,0001
Se	0,0024	0,0048	0,0188
Sr	0,0937	0,0252	<0,0001
Cd	0,0013	0,0041	0,0148
Ba	0,27	0,04	<0,0001
Pb	0,0018	0,0040	0,001
Aminozuren			
Totaal	4,01	7,29	<0,0001

Normen voor tekorten

Er zijn weinig gegevens om voor insecten betrouwbare normen voor voedselkwaliteit vast te kunnen stellen. Een poging daartoe (Tabel 10) laat wel zien dat volgens die normen de veenvlinders tekorten aan P, K, Fe en voor Veenhooibeestje Ca zouden moeten leiden. Tekorten aan P, K en Fe lijken echter niet waarschijnlijk, omdat deze lage waarden zich ook voordoen in de landen waar de soorten floreren. Waarschijnlijk gelden voor de veenvlinders, als specialisten van extreem voedselarme milieus, andere normen en zijn zeker normen voor gewervelde veehouderijdieren niet zomaar van toepassing op vlinders. Bovendien is voor sommige bestanddelen zoals calcium en mangaan de vraag hoe goed elementen uit de plant bij vertering beschikbaar zijn voor opname door de rups (zie Little 1982). Vergelijking van de resultaten met bestaande normen biedt dus weinig houvast.

Tabel 10. Normen voor voedselkwaliteit voor optimale ontwikkeling van Lepidoptera (naar Mattscon & Scriber, 1987; en voor Ca en Mn naar normen uit de veehouderij uit Little, 1982; Underwood & Suttle, 2001) met gemiddelde waarden voor Kleine veenbes / Lavendelhei en Eenarig wollegras uit de Nederlandse terreinen.

	Minimumwaarde	Veenbes / Lavendelhei	Eenarig wollegras
P	80-210	50	49
K	265-299	164	212
Ca	55	175	36
Mg	40	67	49
Na	0,5	19	8
Mn	0,4	11	2
Fe	2,6	2	2
Cu	0,3	0,3	0,3
Zn	0,3-0,9	0,6	1,2

5 Conclusies, aanbevelingen en samenvatting

Gradiënten die tot stand komen door invloed van gebufferd en mineraalrijk grond- of oppervlaktewater enerzijds en zuur en mineraalarm grond- of oppervlaktewater anderzijds bieden condities die nodig zijn voor het voorkomen van een groot aantal bedreigde dier- en plantensoorten (Rode-Lijstsoorten). Dergelijke gradiënten zijn in de Nederlandse restanten van het hoogveenlandschap thans zeldzaam. De in Nederland bedreigde soorten treft men in intacte hoogveenlandschappen aan in overgangsvenen of in lagg-zones. In Nederland komen aggregaties van deze soorten momenteel voor in systemen die worden beïnvloed door een combinatie van water van verschillende kwaliteit en herkomst. Steeds is een duidelijke gradiënt in waterkwaliteit aanwezig.

Een klein aantal van de bedreigde soorten die in intacte hoogveenlandschappen sterk gebonden zijn aan overgangsvenen of lagg-zones, komt in Nederland voor in hoog- en laagveenrestanten, vennen en veentjes. In deze situaties zijn gradiënten in de regel zwak aanwezig. Meestal is er sprake van een door kleinschalig menselijk gebruik (ontwatering, turfwinning, inlaat van beekwater) gecreëerd mozaïek van condities die overeenkomen met condities die aanwezig zijn in onderdelen van natuurlijke overgangsvenen of lagg-zones.

Voor het herstelbeheer is het belangrijk bestaande natuurlijke én antropogene gradiënten en de patronen waarin ze voorkomen te herkennen en het landschapsecologisch functioneren van deze systemen te begrijpen. Dit is een eerste vereiste voor een doelmatig instandhoudings- en herstelbeheer. Maatregelen die leiden tot beter vasthouden van regenwater kunnen lokaal leiden tot zowel toe-, als afname van de invloed van gebufferd grondwater en daarmee tot het meer of minder geschikt raken van terreincondities voor (nog) aanwezige bedreigde soorten. Verder is het belangrijk de potenties voor het herstel van gradiënten te herkennen, waar kansen liggen voor herstel van terreincondities die nodig zijn voor deze soorten.

De uitgevoerde bioassay toont aan dat de groei en ontwikkeling van rupsen van de Veenbesparelmoervlinder sterk bepaald worden door de kwaliteit van het waardplantenmateriaal. De uitgevoerde analyse van waardplantenkwaliteit voor de veenvlinders ondersteunt de hypothese van tekorten aan micro-nutriënten onder invloed van stikstofdepositie vooral bij Kleine veenbes en Lavendelhei, de waardplanten van Veenbesparelmoervlinder en Veenbesblauwtje. Er werd vastgesteld dat met toenemende stikstofconcentraties de concentratieverhoudingen tussen Ca, Mn en aminozuren en N afnemen. Het probleem zou ook kunnen zijn dat accumulatie optreedt van N-rijke verbindingen die niet zijn gemeten, maar die wel plaatsvindt bij het ouder worden van het blad. Mogelijk treedt veroudering van het blad sneller op bij een hogere N-beschikbaarheid, waardoor de voedselkwaliteit voor de rupsen sneller afneemt. Verdere analyse van de

waardplantkwaliteit gedurende het groeiseizoen van de rupsen is nodig om de oorzaken achter de relatief slechte groei en hoge sterfte van rupsen die gevoed werden met Nederlands materiaal van Kleine veenbes op te helderen. Bij het ontrafelen van de opgetreden veranderingen in waardplantkwaliteit door verzuring, vermesting en verdroging (en eventueel ook door vernatting door vasthouden van regenwater in verdroogde veentjes) dienen uiteraard de in lopend OBN-onderzoek ontwikkelde kennis over waardplantenkwaliteit bij andere insectensoorten in andere ecosystemen te worden benut.

De analyse van Eenarig wollegras, waardplant van het Veenhooibeestje, bood minder steun aan de hypothese over tekorten aan micro-nutriënten onder invloed van stikstofdepositie. Grassen en zeggen vertonen dan ook een geheel andere samenstelling dan planten uit de familie van de heideachtigen. Mogelijk speelt voor het Veenhooibeestje de polstructuur van de grassen en het microklimaat een belangrijkere rol in de overlevingskans van de rupsen.

Wanneer de invloed van nutriëntentekorten of overmaat aan schadelijke metabolieten in planten op herbivoren als gevolg van N-depositie, verdroging en/of verzuring kan worden aangetoond, vormt dit een sterke, extra aanleiding om het aspect van waterkwaliteit en grondwaterinvloed te betrekken bij het herstelbeheer van hoogveenrestanten, heidehoogveentjes en vennen in relatie tot behoud en herstel van de voor deze ecosystemen karakteristieke en bedreigde planten- en diersoorten.

6 Literatuur

- Bink, F.A. (1992) Ecologische atlas van de dagvlinders van Noordwest-Europa. Schuyt & Co, Haarlem.
- Bink, F. (2006) Rupsen op grassen. Franje, 9. Mededelingen uit de secties Snellen en Ter Haar van de Nederlandse Entomologische Vereniging.
- Bobbink, R., Brouwer, E., Ten Hoopen, J. & Dorland, E. (2004) Herstelbeheer in het heidelandschap: effectiviteit, knelpunten en duurzaamheid. In: G.A. van Duinen et al. (red.). Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit; 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur. Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2004/305, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Drost, M.B.P., Cuppen, H.P.J.J., Van Nieukerken, E.J., Schreijer, M. (Eds.) (1992) De waterkevers van Nederland. Uitgeverij KNNV, Utrecht.
- Fischer, K. & Fiedler, K. (2000) Response of the copper butterfly *Lycaena tityrus* to increased leaf nitrogen in natural food plants : evidence against the nitrogen limitation hypothesis. *Oecologia* 124 (2), 235-241.
- Higler, L.W.G. (2005) De Nederlandse kokerjufferlarven. Uitgeverij K.N.N.V. Utrecht.
- Joy, J. & Pullin, A.S. (1997) The effects of flooding on the survival and behaviour of overwintering large heath butterfly *Coenonympha tullia* larvae. *Biological Conservation* 82 (1), 61-66.
- Joy, J. & Pullin, A.S. (1999) Field studies on flooding and survival of overwintering Large Heath butterfly *Coenonympha tullia* larvae on Fenn's and Whixall Mosses in Shropshire and Wrexham, U.K. *Ecological Entomology* 24 (4), 426-431.
- Lindroth, R.L.; Barman, M.A. & Weisbrod, A.V. (1991) Nutrient deficiencies and the gypsy moth, *Lymantria dispar*: Effects on larval performance and detoxication enzyme activities. *Journal of Insect Physiology* 37 (1), 45-52.
- Little, D.A. (1982) Utilization of Minerals. In: Nutritional limits to animal production from pastures. (Ed. Hacker, J.B.), pp. 259-283. CAB, Farnham Royal, Slough, UK.
- Mattson, W.J. & Scriber, J.M. (1987) Nutritional ecology of insect folivores of woody plants: nitrogen, water, fiber, and mineral considerations. In: Slansky, F. & Rodriguez, J.G. (Eds.). *Nutritional Ecology of Insects, Mites and Spiders*. Wiley, New York. Pp. 105-146.
- Moller Pillot, H.K.M. (2009) Chironomidae larvae – Biology and ecology of the Chironomini. KNNV Publishing, Zeist.
- Nijssen, M. & Siepel, H. (2010) The characteristic fauna of inland drift sands. In: Fanta, J & H. Siepel 2010. *Inland drift sand landscapes*. KNNV Publishing, Zeist, Netherlands.
- Siepel, H., Siebel, H., Verstrael, T., Burg, van den, A. & Vogels, J. (2009) Herstel van lange termijn effecten van verzuring en vermessing in het droog zandlandschap. *De Levende Natuur* 110 (3), 124-129.

- Smolders A.J.P., H.B.M. Tomassen, J. Limpens, G.A. van Duinen, S. van der Schaaf & J.G.M. Roelofs (2004) Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. In: G.A. van Duinen et al. (red.). Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit; 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur. Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2004/305, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Soontjens, J. & Bink, F.A. (1997) Developmental response of *Coenonympha pamphilus* (Lepidoptera: Satyrinae) to differences in nitrogen and water content of grasses - Proceedings of the Section Experimental and Applied Entomology of The Netherlands Entomological Society (N.E.V.) 8, 29-36.
- Thomas, B.R., Escritt, J.R. & Trinder, N. (1945) The minor elements of common heather (*Calluna vulgaris*). Empire Journal of Experimental Agriculture 13, 93-99.
- Throop, H.L. & Lerdau, M.T. (2004) Effects of nitrogen deposition on insect herbivory: implications for community and ecosystem processes. Ecosystems 7 (2), 109-217.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, G.A. van Duinen, S. van der Schaaf, J.G.M. Roelofs, F. Berendse, H. Esselink & G. van Wirdum (2003) Onderzoek herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001. Expertisecentrum LNV, Wageningen. 186 pp. (Rapport EC-LNV nr. 2003/139).
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, S. van der Schaaf, G.A. van Duinen, G. van Wirdum, H. Esselink & J.G.M. Roelofs (2006) Onderzoek herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 2e fase OBN-Hoogvenen 2004-2006. B-WARE Research Centre, Wageningen Universiteit, Stichting Bargerveen, NITG-TNO & Radboud Universiteit Nijmegen.
- Underwood, E.J. & Suttle, N.F. (2001) The Mineral Nutrition of Livestock, 3rd Edition, CABI Publishing Series, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Van den Burg, A.B. (2000) The causes of egg hatching failures in wild birds, studied in the Barn Owl *Tyto alba* and the Sparrowhawk *Accipiter nisus*. PhD thesis, University of Nottingham.
- Van den Burg, A.B. (2002) De achteruitgang van de Sperwer *Accipiter nisus* op de ZWVeluwe; veroorzaakt door predatie of voedseltekort? Limosa 75, 159-168.
- Van den Burg, A.B. (2006) The abundance of essential vitamins in food chains and its impact on avian reproduction. Acta Zoologica Sinica 52 (suppl.), 276-279.
- Van der Meijden, R., Odé, B., Groen, C.L.G., Witte, J.P.M. & Bal, D. (2000) Bedreigde en kwetsbare vaatplanten in Nederland. Basisrapport met voorstel voor de Rode Lijst. Gorteria 26, 85-208.
- Van Duinen, G.A., Brock, A.M.T., Kuper, J.T., Leuven, R.S.E.W., Peeters, T.M.J., Roelofs, J.G.M., Van der Velde, G., Verberk, W.C.E.P. & Esselink, H. (2003) Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. Wetlands Ecology and Management 11, 447-459.
- Van Duinen, G.A., H.H. van Kleef, M. Nijssen, C.A.M. van Turnhout, W.C.E.P. Verberk, J. Holtland & H. Esselink (2004) Schaal en intensiteit van herstelmaatregelen: Hoe reageert de fauna? In: G.A. van Duinen et al. (Eds.) Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit – 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur. Rapport EC-LNV nr. 2004/305, Ede. Pp.189-240.
- Van Duinen, G.A., F. Bink, H. Esselink, B. Roelevink & M. Wallis de Vries (2006a) Verslag Veenvlinderexcursie Denemarken en Duitsland,

- 4-8 juli 2005. Rapport Staatsbosbeheer, De Vlinderstichting, Stichting Bargerveen & Radboud Universiteit Nijmegen.
- Van Duinen, G.A., T. Timm, A.J.P. Smolders, A.M.T. Brock, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2006b) Differential response of aquatic oligochaete species to increased nutrient availability - a comparative study between Estonian and Dutch raised bogs. *Hydrobiologia* 564, 143-155.
 - Van Duinen, G.A. (2008) Evaluatie van hoogveenherstel in Mariapeel & Deurnese Peel. Watermacrofauna. Report Stichting Bargerveen, Nijmegen.
 - Van Duinen, G.A., A.J. Dees & H. Esselink (2008a) Engbertsdijkswenen: Effecten van hervernatting hoogveenkern op ongewervelde fauna, 2006-2008. Eindrapportage. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen.
 - Van Duinen, G.A., A.J. Dees & H. Esselink (2008b) Hoogveen-karakteristieke en zeldzame watermacrofaunasoorten in het Bargerveen, 2006-2007, Eindrapportage. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen.
 - Van Kleef, H.H. (2010) Managing moorland pool macroinvertebrates. Proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen.
 - Van Swaay, C.A.M. & Wallis de Vries, M.F. (2001) Beschermingsplan veenvlinders 2001-2005. (Rapport Directie Natuurbeheer nr. 52) - Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen.
 - Van Swaay, C.A.M., Groenendijk, D. & Plate, C.L. (2009) Vlinders en libellen geteld: jaarverslag 2008. Rapport VS2009.07 - De Vlinderstichting, Wageningen.
 - Verberk, W.C.E.P. (2008) Matching species to a changing landscape - Aquatic macroinvertebrates in a heterogeneous landscape. Thesis, Radboud University Nijmegen, Nijmegen, The Netherlands.
 - Verberk, W.C.E.P., Van Duinen, G.A., Brock, A.M.T., Leuven, R.S.E.W., Siepel, H., Verdonschot, P.F.M., Van der Velde, G. & Esselink, H. (2006) Importance of landscape heterogeneity for the conservation of aquatic macroinvertebrate diversity in bog landscapes. *Journal for Nature Conservation* 14, 78-90.
 - Verberk, W.C.E.P. & H. Esselink (2006) Invloed van aantasting en maatregelen op de faunadiversiteit in een complex landschap. Case study: Korenburgerveen (eindrapportage 2^e fase), Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede. Rapport DK nr. 2006/dk135-O.
 - Verberk, W.C.E.P., R.S.E.W. Leuven, G.A. van Duinen & H. Esselink (2010) Loss of environmental heterogeneity and aquatic macroinvertebrate diversity following large-scale restoration management. *Basic and Applied Ecology* 11, 440-449.
 - Verdonschot, P.F.M., Higler, L.W.G., Nijboer, R.C. & Van den Hoek, T.H. (2003) Naar een doelsoortenlijst van aquatische macrofauna in Nederland: Tricladida, Plecoptera, Ephemeroptera en Trichoptera. Alterra rapport 858. Wageningen.
 - Verschoor, A.J., G.J. Baaijens, F.H. Everts, A.P. Grootjans, W. Rooke, S. van der Schaaf & N.P.J. de Vries (2003) Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen op het Dwingelerveld; een landschapsbenadering. Deel 2: landschapsontwikkeling en hydrologie. Rapport EC-LNV nr. 2003/227 O, Ede.
 - Vogels, J., A.B. van den Burg, E.S. Remke & H. Siepel (in voorbereiding) Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen. Rapport O+BN.
 - Wasscher, M., Keijl, G.O. & Van Ommering, G. (1998) Bedreigde en kwetsbare libellen in Nederland. Rapport IKC Natuurbeheer nr. 30. Wageningen.