



Invloed grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatie

BTO 2010.043(s)
September 2010

Invloed grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatie

BTO 2010.043(s)
September 2010

© 2008 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Invloed laagste grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatie

Projectnummer

B111503

Projectmanager

H. van Oene

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger

J.P.M. Witte

Auteur(s)

J. Runhaar,
met medewerking van R P. Bartholomeus en D.G. Cirkel

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Omslag: Borstelbies op natte kwelplek. Foto: Han Runhaar

Voorwoord

In het onderzoek is nagegaan op welke wijze grondwaterstanden van invloed zijn op standplaatscondities en vegetatiesamenstelling, en hoe met deze relaties het beste rekening kan worden gehouden in normstelling en effectvoorspelling. Aanleiding vormde een eerdere studie naar de ecologische vereisten van habitattypen, die in samenwerking met andere partners werd uitgevoerd in opdracht van LNV. Daaruit kwam een aantal vragen naar voren over de invloed van grondwaterstanden op de vegetatie. Eén van die vragen was of in de bepaling van de ecologische vereisten wel voldoende rekening is gehouden met de invloed van de laagste grondwaterstand. Nu ligt in de formulering van de ecologische vereisten van vegetatietypen de nadruk op de voorjaarsgrondwaterstand, terwijl de ervaring van de terreinbeheerders is dat niet de hoogste, maar juist de laagste grondwaterstand in de praktijk het grootste knelpunt vormt.

In dit onderzoek is daarom nog eens kritisch nagegaan hoe de grondwaterstanden van invloed zijn op standplaatscondities en vegetatie, wat daarbij de rol is van de laagste grondwaterstand, en of het wenselijk en mogelijk is om meer dan nu het geval is rekening te houden met de laagste grondwaterstanden. Voor de beantwoording van die vragen is gebruik gemaakt van gegevens over hydrologie en vegetatie afkomstig uit terreinen van Staatsbosbeheer. Door Peter van Bodegom (VU) zijn gegevens aangeleverd over de wortelporositeit van plantensoorten. Medewerkers van Staatsbosbeheer (Streefkerk, Holtland en Beets), Alterra (Hommel en De Waal) en KWR (Jalink en Aggenbach) hebben gefunctioneerd als een informele begeleidingsgroep door mee te denken over de formulering van de onderzoeksvragen en de interpretatie van resultaten uit het onderzoek, en ik wil hen bij deze hartelijk bedanken voor hun medewerking. Vanuit de bedrijfstaking is het onderzoek begeleid door een begeleidingsgroep bestaand uit Marten Annema, Karin Rood, Cristijn de Vin, Hubert Kivit, Harrie van de Hagen en Leo van Breukelen, en ook hen wil ik bij deze bedanken voor hun inbreng.

In het onderzoek is geprobeerd een brug te slaan tussen aan de ene kant theoretische proceskennis en aan de andere kant empirische veldkennis. Dat is niet altijd gemakkelijk, omdat het gaat om verschillende manieren van kijken en om verschillende belevingswerelden, wat de onderlinge communicatie bemoeilijkt. Het is echter de moeite waard, omdat beide benaderingen hun sterke en zwakke punten hebben, en een combinatie van beide typen kennis nodig is om goed te kunnen begrijpen hoe grondwater van invloed is op de vegetatie. Het is aan de lezers om te beoordelen in hoeverre deze poging om beide werelden te verenigen is geslaagd.

Han Runhaar
Nieuwegein, september 2010

Samenvatting

In het onderzoek is nagegaan op welke wijze de grondwaterstand van invloed is op standplaatscondities en vegetatiesamenstelling. De aanleiding voor het onderzoek vormde de opmerking van terreinbeheerders dat bij de opstelling van de ecologische vereisten voor habitattypen naar hun gevoel te weinig rekening is gehouden met de invloed van laagste grondwaterstand. Dat was reden om nog een kritisch te kijken naar de relatie tussen grondwaterstand en vegetatiesamenstelling. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen en laagste grondwaterstanden.

De hoogste grondwaterstanden zijn vooral via de zuurstofbeschikbaarheid van invloed op de plantengroei. Op plekken met hoogste grondwaterstanden aan of boven maaiveld komen vooral *hygrofyten* voor, soorten die zijn aangepast aan zuurstofloze omstandigheden. Binnen de gebruikte dataset is het aandeel hygrofyten sterk gecorreleerd aan zowel de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) als aan de berekende zuurstofstress. De eerste maat is makkelijker toepasbaar, en wordt nu veel gebruikt in normstelling en effectvoorspelling. De relatie met de voorjaarsgrondwaterstand is echter alleen geldig voor binnendijkse gebieden met een seizoensmatig grondwaterstandverloop: hoogste grondwaterstanden aan einde van de winter, laagste grondwaterstanden in de nazomer. Bovendien geldt de relatie alleen voor het huidige klimaat. De relatie met de zuurstofstress is naar verwachting ook geldig onder gewijzigde klimaatomstandigheden. De zuurstofstress is daarom een meer geschikte maat voor toepassing in studies naar de invloed van klimaatsverandering op grondwaterafhankelijke ecosystemen.

De laagste grondwaterstand is van invloed op de vochtbeschikbaarheid, de zuurgraad en de voedselrijkdom. De invloed op deze standplaatsfactoren is echter indirect en sterk afhankelijk van andere factoren. Op basis van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de bodemtextuur is een schatting te maken van de potentiële droogtestress. Die blijkt een goede voorspeller te zijn voor het voorkomen van aan vochtige dan wel droge standplaatsen aangepaste soorten (*mesofyten* en *xerofyten*). De zuurgraad en de voedselrijkdom van de standplaats zijn veel moeilijker te relateren aan de grondwaterstand. Hier spelen veel meer factoren een rol dan alleen de grondwaterstand en de bodemtextuur. Bovendien zijn er nog veel hiaten in de kennis over de onderliggende processen.

Bij een aantal vegetatietypen, aangeduid als 'potentieel veenvormende natte vegetaties', worden nu directe eisen gesteld aan de GLG. Dat is gebaseerd op de observatie dat de betreffende vegetaties vooral voorkomen op standplaatsen met een ondiepe laagste grondwaterstand. Het is echter niet duidelijk of hier sprake is van een causale relatie, en zo ja, wat het achterliggende mechanisme is. In de betreffende vegetaties komen relatief veel soorten met luchtweefsel en veel mossen voor. Een mogelijke verklaring is dat deze soorten op permanent natte standplaatsen een concurrentievoordeel hebben ten opzichte van wortelende soorten zonder luchtweefsels. Dit lijkt echter slechts ten dele het geval te zijn. Op permanent natte standplaatsen is het aandeel van soorten met luchtweefsel niet groter dan op periodiek natte plekken waar de grondwaterstand in de zomer ver wegzakt. Dat laatste is wel het geval bij mossen: op permanent natte standplaatsen komen relatief veel mossen voor, met name veenmossen. Vraag is echter of dit samenhangt met de tolerantie voor anaerobe bodemcondities, of met de gevoeligheid voor uitdroging.

In standplaatsen met vegetaties die voor de zuurbuffering afhankelijk zijn van aanvoer van basenrijk grondwater, zakt de grondwaterstand over het algemeen minder ver weg dan in regenwatergevoede standplaatsen met zuurminnende vegetaties. De diepte tot waarop het grondwater wegzakt is daarom mogelijk een bruikbare voorspeller voor buffering door aangevoerd grond- of oppervlaktewater. Op basis van diverse bronnen blijkt dat er inderdaad een relatie bestaat tussen de buffering door grondwater en de diepte van de laagste grondwaterstand. Het verband is echter niet sterk genoeg om op basis hiervan eisen te stellen aan de laagste grondwaterstand in van grondwaterbuffering afhankelijke ecosystemen. De diepte tot waarop de grondwaterstand wegzakt, is niet alleen afhankelijk van de kwelintensiteit. Ook andere factoren, zoals bodemtype, oppervlaktewaterpeilen en afstand tot de ontwateringsmiddelen spelen een rol. De bepaling van kritische waarden wordt bovendien bemoeilijkt

doordat er te weinig waarnemingen zijn van standplaatsen met slecht ontwikkelde vegetaties en met diep wegzakkende grondwaterstanden.

Een mogelijke overweging om desondanks bij grondwatergebufferde systemen eisen te stellen aan de laagste grondwaterstand, is dat nu bij de bepaling van het gewenste waterbeheer te weinig rekening wordt gehouden met de aanvoer van grondwater. In de ecologische vereisten van habitattypen wordt weliswaar aangegeven welke typen onder welke condities afhankelijk zijn van aanvoer van basenrijk grondwater, maar de praktijk is dat vaak alleen wordt getoetst aan de grondwaterstand. Dat is een ernstige omissie, omdat in de praktijk verdrogingsproblemen in natuurgebieden vooral samenhangen met een gebrek aan aanvoer van grondwater. Dit vormt waarschijnlijk ook de achterliggende reden voor de opmerking van de terreinbeheerders, dat in de praktijk de laagste grondwaterstand veel kritischer is dan de hoogste grondwaterstand.

Een mogelijkheid om aan het bezwaar van de terreinbeheerders tegemoet te komen is om relatief 'strengere' indicatieve eisen te stellen aan de laagste grondwaterstanden, onder vermelding dat daarvan kan worden afgeweken als uit lokaal onderzoek blijkt dat buffering ook optreedt bij diepere grondwaterstanden. Zo kan worden gestimuleerd dat aandacht wordt besteed aan de benodigde grondwateraanvoer. Dat is echter een noodoplossing. Op langere termijn is een verbetering van de nu gebruikte hydrologische modellen nodig, zodanig dat een realistische voorspelling kan worden gedaan van de hoeveelheid grondwater die de wortelzone bereikt. In dat geval kunnen directe eisen worden gesteld aan de hoeveel basenrijk grondwater die wordt aangevoerd, en is de omweg via grondwaterstanden niet nodig.

Een aandachtspunt vormen de eisen aan de laagste grondwaterstanden in veengronden. Hier worden nu door gebrek aan proceskennis én gebrek aan empirische gegevens niet in alle gevallen eisen gesteld aan de laagste grondwaterstanden, terwijl juist hier te verwachten is dat de laagste grondwaterstanden via vochtvoorziening, zuurbuffering én voedselrijkdom van invloed zijn op de vegetatiesamenstelling. Voor peilbeheerste laagveengebieden en hoogveengebieden wijzen de gegevens er op dat goed ontwikkelde vegetaties alleen kunnen voorkomen bij grondwaterstanden die niet verder wegzakken dan circa een halve meter onder maaiveld. Deze diepte kan voorlopig als ondergrens voor alle vegetatietypen in laagveen- en hoogveengebieden worden gebruikt.

Inhoud

Voorwoord

Samenvatting **1**

Inhoud **3**

1 Inleiding **5**

- 1.1 Aanleiding en doelstelling 5
- 1.2 Uitgangspunten 5
- 1.3 Mogelijke werkingsmechanismen 6
- 1.4 Bestaande uitwerking relaties met de grondwaterstand 7
- 1.5 Opzet onderzoek en gebruikte gegevens 8
- 1.6 Leeswijzer 9

2 Relatie via de zuurstofvoorziening **11**

- 2.1 Inleiding 11
- 2.2 Relatie met GVG en GLG 11
- 2.3 Relatie met zuurstofstress 13
- 2.4 Discussie 14
- 2.5 Conclusie 15

3 Invloed via vochtvoorziening **17**

- 3.1 Inleiding 17
- 3.2 Wat is een relevante maat voor de vochtleverantie? 17
- 3.3 Relatie droogtestress met de grondwaterstand 19
- 3.4 Discussie 20
- 3.5 Conclusie 21

4 Invloed via voedselrijkdom **23**

- 4.1 Inleiding 23
- 4.2 Invloed op afbraak organisch materiaal en stikstofbeschikbaarheid 23
- 4.3 Invloed op fosfaatbeschikbaarheid 24
- 4.4 Conclusie 26

5 Relaties via grondwateraanvoer en buffering **27**

- 5.1 Inleiding 27
- 5.2 Relatie zuurbuffering en GLG op basis van gebiedsstudies 28
- 5.3 Relatie zuurbuffering en GLG in ecohydrologische voorspelling 30

5.4	Voorkomen blauwgraslanden en veenmosrietlanden in relatie tot de GLG	31
5.5	Relatie tussen zuurgraad en GLG op kalkarme standplaatsen	33
5.6	Discussie	36
5.7	Conclusies	37
6	Invloed laagste grondwaterstanden in natte, potentieel veenvormende systemen	39
6.1	Inleiding	39
6.2	Methode	39
6.3	Resultaten	40
6.4	Discussie	45
6.5	Conclusies	46
7	Discussie	47
8	Conclusies en aanbevelingen	51
8.1	Invloed grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatie	51
8.2	Toepassing relaties met grondwaterstanden in normstelling en effectvoorspeling	52
8.3	Aanvullende eisen aan de laagste grondwaterstand	52
I	Indeling plantensoorten in functionele groepen t.b.v. analyse vegetaties op permanent natte standplaatsen	59

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

Veel van onze meest waardevolle natuur is afhankelijk van grond- en oppervlaktewater. Ingrepen in de waterhuishouding hebben dan ook vaak directe gevolgen voor de mogelijkheden om bepaalde typen natuur te kunnen behouden of te ontwikkelen. Om bij het waterbeheer rekening te kunnen houden met mogelijke effecten op de natuur is een goed inzicht vereist in de eisen die bepaalde natuurtypen stellen aan de waterhuishouding en aan het grondwaterstandverloop. Wat de hydrologische voorwaarden zijn voor bepaalde typen natuur kunnen beheerders en planners nazoeken in diverse overzichtssystemen, zoals in de database en webapplicatie 'Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden' die onlangs in opdracht van LNV is vervaardigd (Runhaar et al. 2009a, 2009b). De Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden bouwt voort op eerdere indelingen naar abiotische randvoorwaarden zoals de Indicatorenboekjes van Kiwa/SBB en de daarbij behorende achtergrondrapporten (Jalink en Jansen, 1995; Jalink, 1996; Aggenbach en Jalink, 1998, 1999, 2001, 2005; Aggenbach et al., 1998, 2001, 2007), het ten behoeve van het nationale verdrogingsonderzoek vervaardigde overzicht van de abiotische voorwaarden voor de in Pleistoceen voorkomende vegetatietypen (Aggenbach et al. 1998), en de indeling naar standplaatscondities uit de database 'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' (Runhaar en Hennekens 2005) die bedoeld is voor toepassing door waterbeheerders als onderdeel van de Waternoodprocedure (Runhaar et al. 2003).

Een vraag die tijdens de opstelling van de Ecologische Vereisten van Natura 2000-gebieden nadrukkelijk aan de orde kwam, was welke grondwaterstanden nu het meest bepalend zijn voor de standplaatscondities en de soortensamenstelling van de vegetatie. In de nu opgeleverde Ecologische Vereisten ligt, waar het gaat om grondwaterstanden, de nadruk op de hoogste grondwaterstanden, en dan met name de grondwaterstanden in het voorjaar. Dit omdat uit eerder onderzoek was gebleken dat de hoogste grondwaterstanden het meest bepalend zijn voor het voorkomen van aan natte omstandigheden aangepaste soorten, de zogenaamde *hygrofyten*. Slechts in een beperkt aantal habitattypen, voornamelijk permanent natte veenvormende systemen, worden ook aanvullende eisen gesteld aan de laagste grondwaterstand. Door de terreinbeheerders en onderzoekers die betrokken waren bij de opstelling van de ecologische vereisten werden vraagtekens gesteld bij deze nadruk op de hoogste grondwaterstanden, omdat naar hun ervaring in de praktijk niet de hoogste, maar juist de laagste grondwaterstanden de grootste bottleneck vormen voor de realisatie van de geplande natuurdoelen. Vandaar hun verzoek om in de ecologische vereisten meer aandacht te besteden aan de relatie met laagste grondwaterstand. In dit verkennende onderzoek wordt nagegaan in hoeverre tegemoet kan worden gekomen aan de wens van de terreinbeheerders om meer aandacht te besteden aan de relaties met de laagste grondwaterstand. Dit leidt tot de volgende vraagstelling:

Welke grondwaterstanden zijn het meest bepalend voor standplaatscondities, en hoe kan in de normstelling en effectvoorspelling rekening worden gehouden met de invloed van de grondwaterstand?

De nadruk heeft in deze studie gelegen op de relatie met de laagste grondwaterstand. Voor de volledigheid wordt echter ook ingegaan op de relatie met de hoogste grondwaterstanden. Deze informatie is nodig om de vraagstelling beter te kunnen begrijpen en dient als achtergrondinformatie voor de discussie welke grondwaterstanden nu het meest bepalend zijn voor de vegetatie.

1.2 Uitgangspunten

Bij de opstelling van de Ecologische Vereisten voor Natura 2000-gebieden is als één van de uitgangspunten gehanteerd dat:

Zo veel als mogelijk wordt uitgegaan van factoren waarvan ten minste bij benadering bekend is via welke mechanismen ze inwerken op de vegetatie.

Dit is gebeurd om te voorkomen dat onjuiste eisen worden gesteld aan de waterhuishouding. Dat kan gebeuren wanneer lokaal vastgestelde relaties, die niet noodzakelijkerwijs berusten op oorzakelijke verbanden, worden geëxtrapoleerd naar andere situaties waar de betreffende relaties niet gelden. Dit uitgangspunt is in deze studie overgenomen: de studie heeft zich niet beperkt tot het aangeven van correlatieve relaties, maar is er juist op gericht geweest te zoeken naar achterliggende causale verbanden.

Bij de bepaling van de vereisten is rekening gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van factoren, door vereisten zoveel mogelijk te definiëren in termen van *operationele*, direct op de planten inwerkende factoren als vochttoestand, zuurgraad en beschikbaarheid van nutriënten, en vervolgens aan te geven op welke wijze deze factoren afhangen van meer *conditionerende* factoren als bodemsamenstelling of waterhuishouding. Daarbij wordt er rekening mee gehouden dat de relaties met de meer conditionerende factoren van gebied tot gebied kunnen verschillen, afhankelijk van bodemopbouw, waterhuishouding, beheer en klimaat. De relaties met de operationele factoren hebben een meer algemeen geldig karakter, en worden bij voorkeur zo geformuleerd en gekwantificeerd dat ze in heel Nederland geldig zijn.

Om een beeld te krijgen van mogelijke causale relaties wordt in deze studie gewerkt met *functionele soortengroepen*, waarbij soorten op basis van relevante functionele eigenschappen worden gegroepeerd. Op deze manier kunnen de vele complexe relaties tussen abiotische condities en de meer dan duizend in Nederland voorkomende plantensoorten, inclusief de interacties tussen deze plantensoorten onderling, worden vereenvoudigd tot een beperkt aantal mogelijke relaties die kunnen worden onderzocht op hun algemene geldigheid en geëxtrapoleerd naar andere, niet onderzochte situaties.

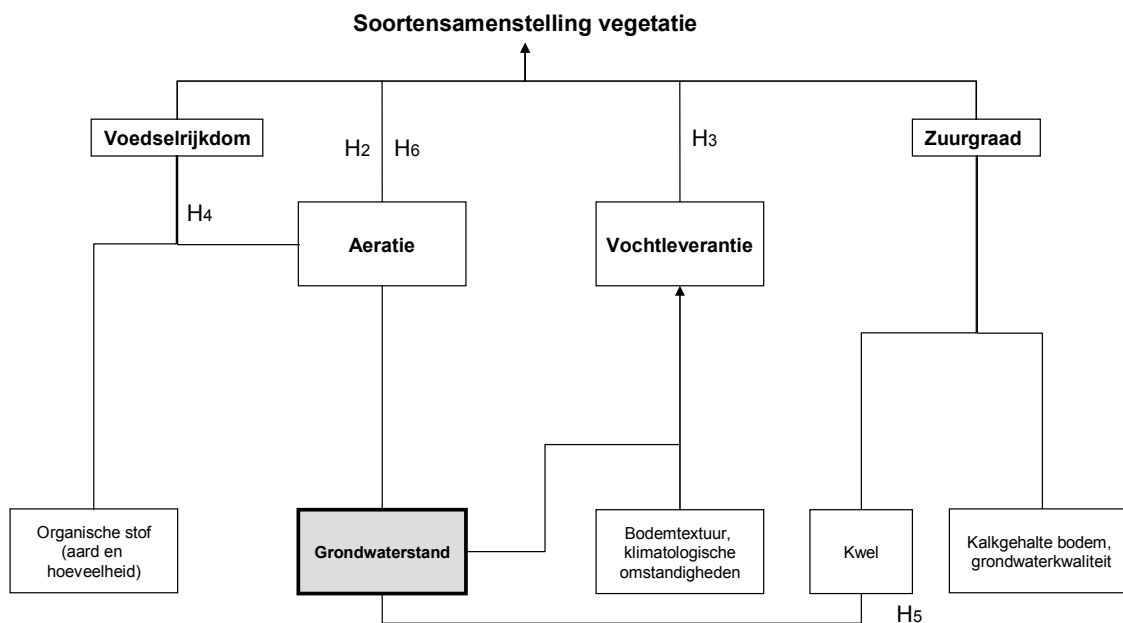
1.3 Mogelijke werkingsmechanismen

Een probleem bij de onderbouwing van de relatie tussen de vegetatie en de grondwaterstanden is dat de het grondwater via een groot aantal mechanismen de plantengroei en soortensamenstelling van de vegetatie beïnvloedt. Een goed inzicht in de onderliggende relaties vormt een noodzakelijke voorwaarde om wetenschappelijk onderbouwde hydrologische randvoorwaarden te formuleren, en is nodig om te kunnen bepalen hoe de relaties gelegd moeten worden.

In Figuur 1-1 is schematisch aangegeven via welke mechanismen de laagste grondwaterstand mogelijk van invloed is op de vegetatie. Daarin is aangegeven dat de grondwaterstand niet alleen via vochttoestand (aëratie en vochtleverantie), maar ook via de voedselrijkdom en de zuurgraad van invloed is op de vegetatie. Dit schema vormt het theoretische kader voor de studie.

De grondwaterstand is allereerst zeer bepalend voor de *zuurstofvoorziening* ofwel *aëratie*. Voor de plantengroei is de zuurstofvoorziening van belang omdat plantenwortels zuurstof nodig hebben om te kunnen functioneren en veel planten niet kunnen groeien onder natte, anaerobe condities. Nauw gekoppeld aan de zuurstofvoorziening is de redoxpotentiaal van de bodem. In waterverzadigde zuurstofloze bodems overheersen reducerende omstandigheden. Als gevolg van reductieprocessen worden allerlei stoffen gevormd die in potentie toxisch zijn voor de plantengroei (tweewaardig ijzer en mangaan, ammonium, sulfide).

Daarnaast is de grondwaterstand via capillaire opstijging ook sterk bepalend voor de *vochtleverantie*. Zo lang de grondwaterstand voldoende dicht onder maaiveld staat kunnen de plantenwortels via capillaire opstijging worden voorzien van water. Met name in zandige bodems, die snel uitdrogen, vormt de grondwaterstanddiepte een bepalende factor voor het al dan niet voorkomen van vochtminnende soorten.



Figuur 1-1 Mechanismen via welke de grondwaterstand van invloed is op de standplaatscondities en de soortensamenstelling van de vegetatie. H2 t/m H6 geeft aan in welke hoofdstukken de relaties worden besproken.

De zuurstofvoorziening is ook (mede)bepalend voor de *voedselvoorziening* van planten. Allereerst is de zuurstofvoorziening van invloed op de afbraak van organisch materiaal en daarmee op het vrijkomen van nutriënten uit het aanwezige organische materiaal. Op langdurig natte standplaatsen wordt de afbraak van organisch materiaal geremd door de afwezigheid van zuurstof en neemt bovendien de denitrificatie toe. Ook via de redoxpotentiaal en de daaraan gekoppelde oplosbaarheid van ijzerverbindingen is de laagste grondwaterstand van invloed op de voedselrijkdom. Op langdurig natte standplaatsen is het aanwezige anorganische fosfaat relatief goed opneembaar, terwijl op droogvallende periodiek geaereerde standplaatsen fosfaat vaak sterk is gebonden aan ijzerverbindingen.

Het meest complex is de relatie tussen grondwaterstand en de *zuurgraad*. Op door grondwater gebufferde standplaatsen zakt de grondwaterstand minder ver weg dan op standplaatsen met infiltratie van regenwater. En omgekeerd hebben de laagste grondwaterstanden weer invloed op de vorming van regenwaterlenzen, die verhinderen dat basenrijk grondwater doordringt tot in de wortelzone. Ook via de redoxpotentiaal heeft de grondwaterstand invloed op de zuurgraad. Onder anaerobe condities overheersen reducerende processen waarbij protonen worden geconsumeerd en dus de zuurgraad afneemt. Omdat deze invloed kwantitatief minder belangrijk is dan buffering door grondwater is deze relatie in Figuur 1-1 niet afzonderlijk aangegeven.

Bij semi-aquatische systemen speelt ook de periode van *droogval* een rol (niet aangegeven in schema). Veel waterplanten zijn zeer gevoelig voor uitdroging en kunnen dus alleen voorkomen op plekken die niet of slechts kortstondig droogvallen. Omdat het onderzoek zich beperkt tot (semi)terrestrische systemen zal op deze relatie slechts zijdelings worden ingegaan.

1.4 Bestaande uitwerking relaties met de grondwaterstand

In de database Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden is een aantal van de in Figuur 1-1 genoemde relaties in kwantitatieve vorm uitgewerkt:

- Bij vegetatietypen die voorkomen op natte standplaatsen worden kwantitatieve eisen gesteld aan de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG); dit op basis van eerdere onderzoeken die aangeven dat de hoogste grondwaterstanden het meest bepalend zijn voor het voorkomen van aan natte omstandigheden aangepaste soorten die worden aangeduid als *hygrofyten*. Het gaat daarbij onder

meer om soorten die door middel van luchtwoefsels in staat zijn om zuurstof naar de wortels te transporteren. De veronderstelling is dat de zuurstofvoorziening de bepalende factor is voor de vastgestelde relatie tussen grondwaterstand en het voorkomen van hygroyten.

- Bij vegetatietypen die voorkomen op vochtige en droge standplaatsen worden eisen gesteld aan de vochtleverantie van de standplaats; daarbij wordt uitgegaan van de relatie die is vastgesteld tussen het relatieve aandeel van *mesofyten* en *xerofyten* in de vegetatie en het aantal dagen met droogtestress. Xerofyten zijn soorten die zijn aangepast aan droge omstandigheden doordat ze hun verdamping kunnen reduceren, en/of door verdikte weefsels in staat zijn lage vochtspanningen te overleven, dan wel alleen groeien in perioden met voldoende vochtvoorziening (winterannuellen die groeien in herfst en voorjaar en overzomeren als zaad). Mesofyten zijn soorten die aanpassingen missen aan zowel natte als droge omstandigheden, en die bij vochttekorten snel verwelken en afsterven.
- Bij een aantal potentieel veenvormende systemen (hoogveen, overgangsvennen- en trilvenen, broekbossen, dotterbloemhooilanden en grote-zeggenvegetaties) zijn op basis van meetgegevens directe eisen gesteld aan de diepte tot waar de grondwaterstand mag wegzakken, er van uitgaande dat deze vegetaties afhankelijk zijn van permanent natte omstandigheden. De eisen zijn geformuleerd in termen van GLG (=de gemiddeld laagste grondwaterstand).
- Bij een zeer beperkt aantal sterk kwelafhankelijke vegetatietypen waar tenminste een deel van het jaar water uittreedt aan maaiveld (*Campyllo-Caricetum dioicae* en het door SBB onderscheiden *Crepidio-Juncetum orchietosum praetermissae*) worden eveneens eisen gesteld aan de laagste grondwaterstand, er van uitgaande dat aan maaiveld uitdendend grondwater alleen kan voorkomen in systemen met een permanent ondiepe grondwaterstand.

Tabel 1-1 Hydrologische variabelen die zijn gebruikt om ecologische vereisten te formuleren in Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden, en aantal vegetatietypen waarvoor eisen zijn geformuleerd ten aanzien van de betreffende hydrologische variabelen. GVG = gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand, GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand

Hydrologische variabele	Aantal vegetatietypen	Aard vegetaties
GVG	251	alle (grond)waterafhankelijke typen
droogtestress	369	alle typen
GLG	62	permanent natte systemen

In Tabel 1-1 staat aangegeven hoe vaak in de database Ecologische Vereisten eisen zijn geformuleerd ten aanzien van de hierboven genoemde hydrologische variabelen. Bij maar liefst 251 van de 369 in de database opgenomen vegetatietypen (op niveau van associaties, subassociaties en rompgemeenschappen) worden er eisen gesteld aan de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), terwijl er maar bij 62 eisen worden gesteld aan de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Daarbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat bij alle typen ook eisen zijn gesteld aan de vochtleverantie (in de vorm van het maximale of minimale aantal dagen met droogtestress). Zoals in hoofdstuk 3 zal worden uitgelegd worden daarmee indirect ook eisen gesteld aan de laagste grondwaterstand. Deze eisen zijn echter voorwaardelijk, omdat de vochtleverantie van een standplaats niet alleen afhankelijk is van de laagste grondwaterstand maar ook van de bodemtextuur en het neerslagoverschot. Dat in tegenstelling tot de 62 typen waar harde eisen zijn gesteld aan de GLG, ongeacht de verdere condities.

1.5 Opzet onderzoek en gebruikte gegevens

Het onderzoek heeft deels het karakter van een literatuuronderzoek, waarbij wordt aangegeven wat er op basis van bestaand onderzoek bekend is over de onderliggende mechanismen. Waar mogelijk is ook gebruik gemaakt van meetgegevens om hypothesen te toetsen en relaties te kwantificeren. Omdat door de terreinbeheerders niet werd aangegeven waarom laagste grondwaterstanden bepalend zouden zijn voor de vegetatiesamenstelling zijn zelf een aantal hypothesen opgesteld via welke processen de laagste

grondwaterstand van invloed zou kunnen zijn op standplaatscondities en vegetatiesamenstelling. Deze hypothesen zijn:

- door basenrijk grondwater gebufferde standplaatsen zijn te herkennen aan ondiep wegzakkende grondwaterstanden; via eisen aan de laagste grondwaterstand kan rekening worden gehouden met de afhankelijkheid van bepaalde vegetatietypen van aanvoer van basenrijk grondwater;
- permanent natte standplaatsen worden gedomineerd door planten die aan langdurig zuurstofloze bodemcondities zijn aangepast door het bezit van luchtwoefsels, dan wel soorten die niet wortelen (mossen).

Voor toetsing van hypothesen en de kwantificering van relaties is gebruik gemaakt van vegetatieopnamen en bijbehorende grondwaterstanden afkomstig van het referentieproject van SBB uit de jaren 1999 t/m 2003 (Hommel et al. 2007), en vergelijkbare meetreeksen van het CML die ooit in Staatsbosbeheerterreinen zijn verzameld ten behoeve van de toetsing van het ecotopensysteem (Runhaar, 1989). Met behulp van het tijdreeksmodel Menyanthes (von Asmuth et al. 2006) zijn uit de grondwatermeetreeksen gemiddelde grondwaterstanden en inundatieduren berekend voor de periode 1970 t/m 2000. Op deze manier kunnen systematische verschillen worden weggenomen die tussen de datasets bestaan als gevolg van verschillen in periode waarin de gegevens zijn opgenomen (Bartholomeus et al., 2008a). Uit beide datasets zijn alleen reeksen gebruikt met een verklaarde variantie in het tijdreeksmodel van meer dan 70% en/of met een verwachte afwijking van minder dan 15 cm. Bovendien zijn opnamen die betrekking hebben op zilte vegetaties, bossen en struwelen niet in de analyse gebruikt. In totaal omvat de gebruikte meetset 296 opnamen (156 SBB en 140 CML), uit een groot aantal natuurterreinen van Staatsbosbeheer verspreid over geheel Nederland.

Bij de analyse worden planten ingedeeld in functionele groepen, d.w.z. groepen van soorten die een aantal voor de betreffende factor relevante eigenschappen delen en op een vergelijkbare manier reageren op de betreffende factor. Binnen deze studie wordt gebruik gemaakt van de volgende functionele groepen:

<i>hydrofyten</i>	waterplanten
<i>amfifyten</i>	soorten die zowel in water als op land kunnen leven
<i>hygrofyten</i>	soorten aangepast aan het leven onder natte (en daardoor ook vaak periodiek anaerobe) omstandigheden, onderverdeeld in: - 'helofyten' (soorten met luchtwoefsels) - mossen - overige hygrofyten
<i>mesofyten</i>	planten zonder aanpassingen aan natte of droge omstandigheden, vereisen goed geaereerde standplaatsen met goede vochtvoorziening
<i>xerofyten</i>	planten aangepast aan het leven onder droge omstandigheden

Voor de indeling naar functionele groepen is gebruik gemaakt van de indeling in Ecologische groepen volgens Runhaar et al. (2004) en Dirksen en Kruijsen (1993). Bij de analyse van het type hygrofyten dat voorkomt op permanent natte standplaatsen (hoofdstuk 6) is gebruik gemaakt van een iets afwijkende indeling in hygrofyten, waarbij obligate en facultatieve hygrofyten deels zijn samengenomen, en de groep van hygrofyten bovendien is onderverdeeld in helofyten, verdrogingsgevoelige mossen en overige hygrofyten. In bijlage 1 wordt ingegaan op de indeling in hygrofyten zoals gebruik in hoofdstuk 6.

1.6 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken worden per mogelijk werkingsmechanisme de relaties tussen vegetatie en grondwaterstand besproken. In Figuur 1-1 staat aangegeven om welke relaties het gaat en in welk hoofdstuk ze worden besproken.

In de hoofdstukken 2 en 3 wordt begonnen met een aantal relaties die nu al zijn verwerkt in de Ecologische vereisten Natura 2000-gebieden, te weten de relaties tussen het voorkomen van hygrofyten en de GVG, en de relatie tussen het aandeel mesofyten en xerofyten in de vegetatie en de droogtestress. Aangegeven wordt waarop deze relaties zijn gebaseerd, en of er op basis van meer recente gegevens en inzichten reden is deze relaties bij te stellen.

In hoofdstuk 4 volgt een korte beschouwing over de relatie tussen grondwaterstand en voedselrijkdom via de mineralisatie van organisch materiaal en de fosfaatbeschikbaarheid.

De meeste aandacht in deze studie is uitgegaan naar de uitwerking van de relatie met de laagste grondwaterstand. Daarbij gaat het allereerst om de relatie tussen zuurbuffering en de laagste grondwaterstand (hoofdstuk 5). Onderzocht is hoe sterk deze relatie is en of ze sterk genoeg is om te worden toegepast in normstelling en effectvoorspelling.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de relatie met de GLG in natte, potentieel veenvormende systemen. Daar worden nu op basis van empirische gegevens ondergrenzen gesteld aan de GLG, zonder dat duidelijk is of hier inderdaad sprake is van een causale relatie en wat onderliggende mechanismen zijn. Onderzocht is of er een koppeling kan worden gelegd tussen laagste grondwaterstanden en de functionele eigenschappen van soorten die hier voorkomen.

2 Relatie via de zuurstofvoorziening

2.1 Inleiding

Voor de plantengroei is de zuurstofvoorziening van belang omdat plantenwortels zuurstof nodig hebben. Alleen speciaal aangepaste planten kunnen groeien onder natte, anaerobe condities. Nauw gekoppeld aan de zuurstofvoorziening is de redoxpotentiaal van de bodem. In waterverzadigde zuurstofloze bodems overheersen reducerende omstandigheden. Als gevolg van reductieprocessen worden allerlei stoffen gevormd die in potentie toxisch zijn voor de plantengroei (tweewaardig ijzer en mangaan, ammonium, sulfide).

Planten die op natte standplaatsen groeien, de zogenaamde *hygrofyten* kunnen op verschillende manieren zijn aangepast. Bij diepwortelende soorten is de voornaamste aanpassing de aanwezigheid van luchtwoefsels waarmee planten zuurstof kunnen transporteren naar de wortels. Andere soorten wortelen niet (mossen) of wortelen zeer ondiep, in de bovenste, zuurstofhoudende bodemlaag (bv de Els). Ook de groeiperiode speelt waarschijnlijk een rol. Sommige soorten beginnen pas vrij laat met groeien, in een periode waarin de (grond)waterstanden al enigszins zijn gezakt als gevolg van toegenomen verdamping. Dit geldt met name voor allerlei pioniersoorten, die pas laat in het jaar tot ontwikkeling komen nadat de groeiplaatsen zijn drooggevallen (soorten kenmerkend voor vegetaties behorend tot *Nanocyperion*- en *Bidention*).

2.2 Relatie met GVG en GLG

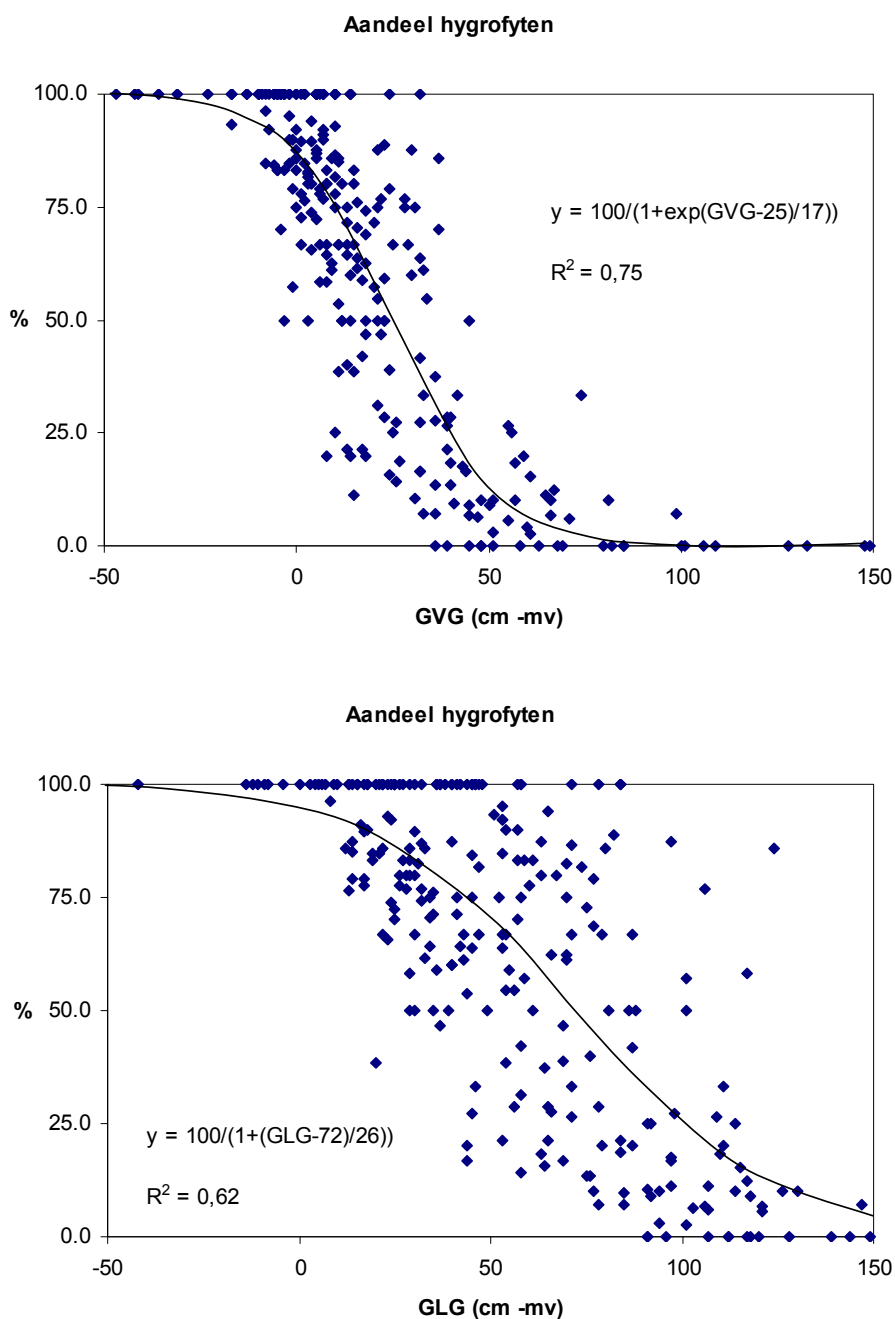
In de Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden wordt de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) gebruikt als verklarende variabele voor het aandeel hygrofyten in de vegetatie. De GVG is gedefinieerd als de gemiddelde grondwaterstand op 1 april. De GVG ligt gemiddeld enkele decimeters lager dan de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), die meestal in de periode februari-maart wordt bereikt. Het gebruik van de GVG is gebaseerd op de observatie in diverse onderzoeken dat vooral de hoogste grondwaterstanden bepalend zijn voor het al dan niet voorkomen van aan natte omstandigheden aangepaste plantensoorten (Kemmers, 1979, Runhaar et al. 1997, Josselyn et al. 1990, Henszey et al. 2004). Omdat GHG en GVG onderling nauw gecorreleerd zijn is zonder experimenteel onderzoek niet mogelijk om onderscheid te maken tussen de invloed van beide variabelen. Dat bij de formulering van ecologische vereisten niet de GHG maar de GVG wordt gebruikt als verklarende variabele, is omdat de hoogste grondwaterstanden vooral aan het einde van de winter worden bereikt, in een periode dat planten vanwege de lage temperaturen nog niet actief zijn. Daarom is er geen directe causale relatie te verwachten tussen de GHG en het functioneren van planten. Dat is anders in het voorjaar, een periode waarin de zuurstofbehoefte van plantenwortels sterk toeneemt terwijl tevens als gevolg van de geringe verdamping de grondwaterstand nog relatief hoog is.

In Figuur 2-1 wordt de relatie aangegeven tussen het presentieaandeel hygrofyten in de vegetatie en respectievelijk de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), zoals die kan worden afgeleid uit de gegevens uit de gebieden van Staatsbosbeheer. Daarbij is het aandeel hygrofyten in de vegetatie bepaald op een zelfde manier als in de studie van Runhaar et al. (1997), namelijk door het aantal obligate hygrofyten in de opname te delen door het aantal obligate hygrofyten + mesofyten + xerofyten. Facultatieve hygrofyten, dat wil zeggen soorten die zowel op natte als droge standplaatsen kunnen voorkomen, worden in deze berekening niet meegeteld.

Uitgaande van een sigmoïdaal verband met minimale en maximale percentages van respectievelijk 0 en 100%, kan het presentie-aandeel van hygrofyten voor drie kwart worden verklaard uit de GVG. Te zien is dat bij voorjaarsgrondwaterstanden boven of iets onder maaiveld hygrofyten domineren, en dat bij lagere grondwaterstanden het aandeel hygrofyten sterk afnemen. Het buigpunt van de functie, waarbij hygrofyten en niet-hygrofyten gemiddeld genomen een gelijk aandeel hebben in de vegetatie, ligt bij een

voorjaarsgrondwaterstand van ongeveer 25 cm onder maaiveld. Het verband met de laagste grondwaterstanden is wat minder eenduidig en de spreiding is groter.

Zoals te zien in Tabel 2-1 zijn de gevonden relaties vrijwel identiek aan de eerder door Runhaar et al. (1997) gevonden relaties die waren gebaseerd op een deelset van de nu gebruikte opnamen (alleen opnamen uit onderzoek van Runhaar (1987)).



Figuur 2-1 Relatie tussen aandeel hygrophyten in de vegetatie en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (boven) en de gemiddeld laagste grondwaterstand op basis van de gegevens uit Staatsbosbeheergebieden

Tabel 2-1 Relatie tussen aandeel hygrofyten in de vegetatie en de GxG op basis van een sigmoïdaal verband volgens de vergelijking $y = 100/(1+\exp((GxG-a)/b)) \pm sd$, met a het buigpunt van de curve (in cm -mv), b een maat voor de steilte van de curve, en sd de gemiddelde afwijking tussen voorspelde en waargenomen waarde (standaarddeviatie). Ter vergelijking voor de GVG de resultaten volgens Runhaar et al. (1997) op basis van een deelset ($n = 188$) en voor de gehele dataset met opnamen uit SBB-gebieden ($n=279$).

Verklarende variabele	Afhankelijke variabele	Nopn	R ²	a	b	sd
GVG	presentie-aandeel	188	0,77	24	15	17
		279	0,75	25	14	17
	bedekkings-aandeel	188	0,74	23	9	23
		279	0,68	24	10	24
GLG	presentie-aandeel	279	0,62	72	26	22
	bedekkings-aandeel	279	0,48	74	23	30

Dat de resultaten zo veel op elkaar lijken is mede te danken aan het feit dat door middel van tijdreeksanalyse is gecorrigeerd voor de invloed van natte en droge jaren. Zoals aangetoond door Bartholomeus et al. (2008a) zouden zonder tijdreeksanalyse verschillende relaties worden gevonden tussen de deelsets van Runhaar (1987) en de gegevens uit het referentieonderzoek door Hommel et al. (2007).

De gegevens bevestigen de veronderstelling dat de hoogste grondwaterstanden bepalender zijn voor het voorkomen van hygrofyten dan de laagste standen. Daarbij moet de kanttekening worden gemaakt dat het verschil in verklaarde variantie tussen GVG en GLG beperkt is (resp. 77 en 62%), wat samenhangt met het feit dat beide grondwaterstanden onderling gecorreleerd zijn.

2.3 Relatie met zuurstofstress

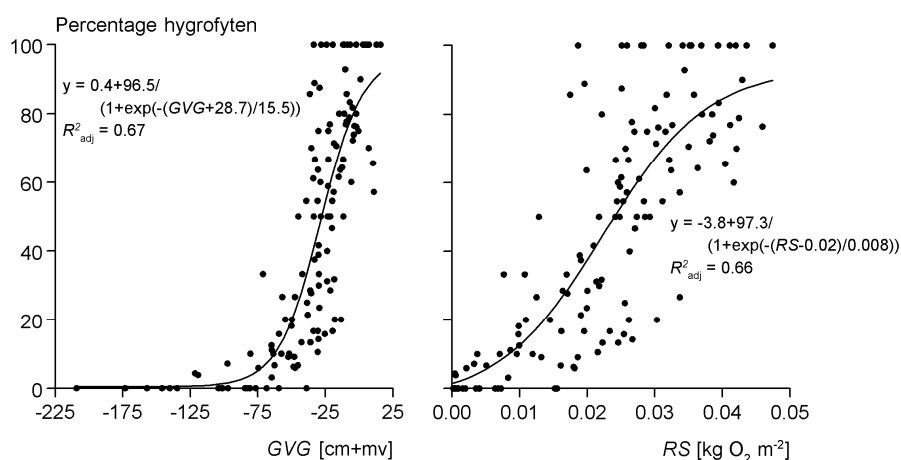
Hoewel de GVG in veel omstandigheden een goede verklarende factor blijkt te zijn voor het aantal hygrofyten in de vegetatie, blijft het een variabele die slechts indirect doorwerkt op de plantengroei. Naar verwachting zijn de zuurstofbeschikbaarheid, en de reductieprocessen die optreden bij zuurstofloosheid, de onderliggende factoren die bepalend zijn voor de aard van de plantengroei.

In hoeverre zuurstofstress optreedt hangt af van i) de zuurstofvraag van de plantenwortels ii) het zuurstoftransport vanuit de luchtgevulde poriën in de bodem naar de wortelcellen en iii) het zuurstoftransport vanuit de atmosfeer naar deze poriën. De zuurstofvraag, ofwel potentiële respiratie, van plantenwortels is sterk afhankelijk van de bodemtemperatuur. Het zuurstoftransport is met name afhankelijk van het bodemtype. Beide aspecten zijn niet opgenomen in de GVG. Bovendien beschrijft de GVG uitsluitend de zuurstofstress aan het begin van het groeiseizoen, waardoor stress gedurende het groeiseizoen genegeerd wordt. Juist deze stress zal door steeds intensievere regenbuien gedurende het groeiseizoen in toenemende mate van belang zijn. Ook zal onder het veranderende klimaat het groeiseizoen steeds vroeger beginnen, waardoor de huidige definitie van de GVG, gebaseerd op de grondwaterstand op 1 april, niet meer geldig is.

Een directe, causale maat voor de zuurstofvoorziening in de wortelzone is Respiratie Stress RS [$\text{kg O}_2 \text{ m}^{-2}$] (Bartholomeus et al. 2008b). RS is gebaseerd op de meest directe respons van vegetatie op een tekort aan zuurstof in de bodem en omvat de relevante processen in het bodem-plant-atmosfeer continuüm. De gevolgde benadering is als volgt: Als de zuurstofvoorziening optimaal is zal een plant potentieel respireren. Deze potentiële wortelrespiratie komt overeen met de zuurstofvraag van plantenwortels en wordt uitsluitend bepaald door planteigenschappen en bodemtemperatuur. Naarmate de bodem natter wordt neemt het gehalte aan luchtgevulde poriën in de bodem af en wordt de zuurstofbeschikbaarheid beperkend voor de wortelrespiratie. Dit resulteert in de werkelijke, actuele respiratie van de plantenwortels. Het verschil tussen potentiële en actuele respiratie, ofwel de respiratiereductie, bepaalt de respiratiestress. Door RS te berekenen voor een referentiegewas (gedefinieerd als een natuurlijk grasland, niet aangepast aan zuurstofstress), kan RS , net als de GVG, beschouwd worden als een

standplaatsfactor. Deze maat beschrijft het zuurstofregime van de bodem, onafhankelijk van de werkelijke (aangepaste) vegetatie.

De relaties tussen RS – Percentage hygropyten en GVG – Percentage hygropyten (Figuur 2-2) zijn bepaald op basis van 145 opnamen uit de datasets van Staatsbosbeheer en CML. Voor deze locaties was het mogelijk om voor de periode 1971-2000 de respiratiereductie nauwkeurig te simuleren. Eerst zijn met behulp van Menyanthes (Von Asmuth et al. 2006) gemeten grondwaterstanden geëxtrapoleerd naar de periode 1971-2000 en geïnterpoleerd tot dagwaarden. Op basis van deze gegevens is voor elke locatie de GVG bepaald. Voor het bepalen van RS, zijn vervolgens met SWAP (Van Dam, 2000) de bodemtemperaturen en bodemvochtgehalten in de wortelzone op dagbasis in detail gesimuleerd, met grondwaterstanden als onderrandvoorwaarde. Hierna is voor elke dag de respiratiereductie voor het referentiegras berekend. Als maat voor zuurstofstress is de maximale respiratiereductie per jaar voor het referentiegras in een 10-daagse periode gebruikt, gemiddeld over 30 jaar.



Figuur 2-2 Relatie tussen aandeel hygropyten in de vegetatie en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG (links) en Respiratie Stress RS, respectievelijk een correlatieve en causale maat voor zuurstofstress.

Figuur 2-2 laat zien dat, ondanks dat de GVG direct afgeleid is uit gemeten grondwaterstanden en RS gebaseerd is op een serie van simulaties waardoor steeds meer ruis geïntroduceerd wordt, de beide relaties statistisch nagenoeg even sterk zijn. Dit wijst er op dat de zuurstofvoorziening inderdaad de bepalende factor is voor het al dan niet voorkomen van hygropyten.

2.4 Discussie

Omdat de RS in de gebruikte dataset geen betere voorspellende waarde heeft voor het aandeel hygropyten, en lastiger te bepalen is, zou dat een argument kunnen zijn om de GVG te blijven gebruiken als verklarende factor in normstelling en effectvoorspelling. Een goed argument om toch over te gaan op het gebruik van RS als verklarende factor is dat de relatie met de RS naar verwachting breder toepasbaar is, omdat het gaat om een meer directe, causale relatie.

Een belangrijke reden om te zoeken naar een meer causale relatie is de wens om rekening te kunnen houden met effecten van klimaatveranderingen. Recent onderzoek (Bartholomeus 2010) heeft aangetoond dat een correlatieve maat als de GVG de zuurstofstress onder een veranderend klimaat sterk onderschat, hetgeen resulteert in een te laag voorspeld percentage hygropyten. De onderschatting wordt veroorzaakt door de toename van meer intensieve regenbuien in combinatie met toegenomen temperaturen, welke de zuurstofstress verhogen, maar welke niet in de GVG tot uitdrukking komen. Dit in tegenstelling tot RS.

Maar ook in het huidige klimaat vormt de GVG niet altijd een goede schatter voor het optreden van zuurstofstress. Dat geldt onder meer voor buitendijkse gebieden als kwelders en schorren. Daar treedt geen seizoensmatig grondwaterstandverloop op, en heeft het begrip GVG dus geen betekenis. Daarnaast

zijn er ook binnendijkse gebieden waar het grondwaterpeil sterk kunstmatig beïnvloed wordt, en waar de hoogste grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen niet optreden in het voorjaar, maar in de zomer, in perioden met wateraanvoer. Ook hier is de bruikbaarheid van de GVG als verklarende variabele naar verwachting gering.

Het nadeel van het gebruik van de RS is dat niet volstaan kan worden met grondwaterstandsmetingen of -voorspellingen, maar dat een aanvullende modellering van de zuurstofstress nodig is. Voor de berekening van RS zijn echter vereenvoudigingen mogelijk (Bartholomeus et al. 2008a), waardoor de praktische toepasbaarheid aanzienlijk vergroot wordt.

Een vraag die uit het onderzoek van Bartholomeus naar voren komt is in welke periode de zuurstofstress het meest kritisch is voor de plantengroei. Omdat de hoogste grondwaterstanden (GHG en GVG) tot nu toe naar voren kwamen als meest verklarende factor voor het aandeel hygroyten in de vegetatie, was de gedachte dat vooral de grondwaterstand in het voorjaar kritisch is, met als mogelijke verklaring dat juist in die periode de groei op gang komt en plantenwortels veel zuurstof nodig hebben, terwijl dit tegelijk de periode is dat de grondwaterstanden nog relatief hoog zijn (Runhaar et al. 1997). Onderzoek van Bartholomeus et al. (2010b) geeft echter aan dat de meeste zuurstofstress in de onderzochte meetpunten optreedt in de zomerperiode, omdat dan vanwege hogere temperaturen het zuurstofverbruik van planten en micro-organismen het grootst is. Zomergrondwaterstanden zouden daarom mogelijk kritischer zijn dan de voorjaarsgrondwaterstanden.

Dit lijkt misschien een vooral theoretische vraag, maar het antwoord op deze vraag kan wel belangrijk zijn voor de praktijk van het water- en natuurbeheer. De grootste conflicten tussen landbouw en natuur treden op in het voorjaar, wanneer de boeren vanwege de berijdbaarheid van het land lage grondwaterstanden wensen, terwijl natuurbeschermers voor de instandhouding van waardevolle grondwaterafhankelijke dan streven naar hoge grondwaterstanden. Als de grondwaterstand in de zomer kritischer zou zijn voor de plantengroei dan de voorjaarsgrondwaterstand zouden conflicten tussen landbouw en natuur in sommige situaties mogelijk verminderd kunnen worden, omdat ook de landbouw voordeel heeft bij hogere grondwaterstanden in de zomer vanwege de betere vochtvoorziening.

2.5 Conclusie

De grondwaterstand is zeer bepalend voor de zuurstofvoorziening van de standplaats, en daarmee voor een complex van factoren die aan de zuurstofvoorziening zijn gekoppeld zoals de redoxpotentiaal en het voorkomen van potentieel toxische gereduceerde stoffen. Uit eerder onderzoek was gebleken dat vooral de hoogste grondwaterstanden het meest bepalend zijn voor het voorkomen van aan natte standplaatsen aangepaste soorten, ofwel hygroyten. De aanvullende gegevens uit de referentiepunten van Staatsbosbeheer bevestigen het eerder vastgestelde verband tussen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en het voorkomen van hygroyten.

Een beperking van het gebruik van GVG als verklarende variabele is dat de gevonden relaties alleen geldig zijn voor het huidige klimaat, en alleen voor niet-getijdengebieden waar de hoogste grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen optreden in het voorjaar. Dit vormt een ernstige beperking bij voorspelling voor toekomstige klimaatcondities, bij toepassing in getijdengebieden, bij toepassing in gebieden met een sterk kunstmatig beïnvloed grondwaterregime, of bij toepassingen buiten onze huidige klimaatzone. Vandaar dat is gezocht naar een algemeen toepasbare maat waarin een directe relatie wordt gelegd met de zuurstofvoorziening. De op basis van (onder meer) de grondwaterstand berekende zuurstofstress blijkt goed bruikbaar om een meer directe relatie te leggen met de plantengroei. De berekende zuurstofstress blijkt het aandeel hygroyten even goed te voorspellen als de GVG, maar heeft het voordeel dat de relatie naar verwachting algemeen toepasbaar is, dus ook onder andere klimaatomstandigheden en ook in situaties met een niet-seizoensmatig grondwaterregime. Om ook onder een veranderend klimaat betrouwbare voorspellingen van de toekomstige vegetatie te kunnen blijven doen, is het implementeren van causale maten voor standplaatsfactoren, zoals RS, onontbeerlijk.

3 Invloed via vochtvoorziening

3.1 Inleiding

Water vormt een primaire levensbehoefte voor planten. In hoeverre soorten gevoelig zijn voor watertekorten verschilt sterk per soort. Veel van de aan droogte aangepaste soorten, de zogenaamde *xerofyten*, zijn in staat om hun verdamping te beperken door aanpassingen als verzonken huidmondjes, haren, bij droogte omrollende bladeren, etcetera. Vetplanten zijn daarnaast in staat om water in hun weefsels op te slaan. Droogteresistente mossen hebben de bijzondere eigenschap dat ze in staat zijn om uitdroging en lage vochtspanningen in de cellen te overleven, iets wat de meeste vaatplanten niet kunnen. *Mesofyten*, die minder goed in staat zijn hun verdamping te reduceren, zullen bij verminderde vochtbeschikbaarheid snel verwelken en afsterven.

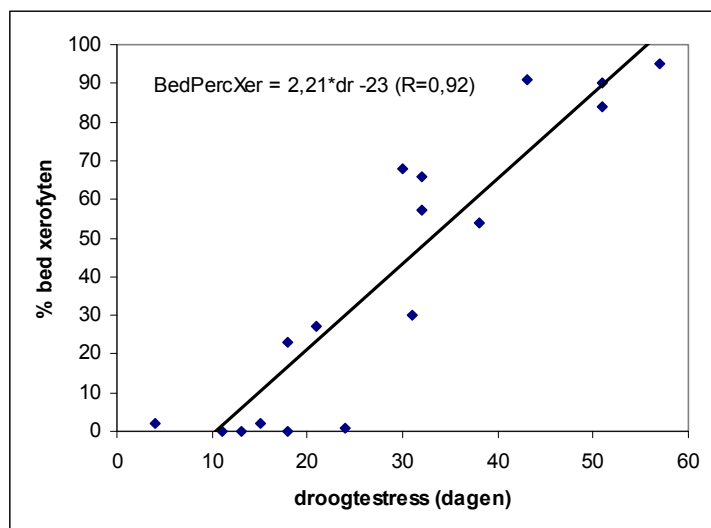
In grondwateronafhankelijke systemen vormt neerslag de enige bron van water. Welk deel van de neerslag beschikbaar is voor de plantengroei, is mede afhankelijk van de capillaire eigenschappen van de bodem. In zandgronden met grove poriën zakt een groot deel van de neerslag weg naar de ondergrond, en is daarmee niet meer beschikbaar voor de plantengroei. In kleigronden wordt relatief veel water vastgehouden, maar zijn de poriën zo fijn zijn dat planten lang niet alle water kunnen opnemen vanwege de hoge zuigspanning die nodig is om water uit de fijnste capillairen op te nemen. Leemgronden, zavelgronden en gronden rijk aan organisch materiaal hebben de meest gunstige eigenschappen waar het gaat om vochtleverantie. De aanwezige poriën zijn fijn genoeg om veel water vast te houden, maar niet zo fijn dat planten er geen water meer uit kunnen onttrekken.

In grondwaterafhankelijke systemen vormt in droge perioden de aanvoer van grondwater via capillaire opstijging een belangrijke bron van vocht. Tot hoever het water kan opstijgen en hoeveel water via de capillairen kan worden aangevoerd hangt af van de bodemtextuur. In grof zand zijn de poriën zo wijd dat water via capillaire opstijging niet verder kan worden getransporteerd dan circa een halve meter boven het grondwaterpeil. In zware kleigronden en in compacte veengronden kan water verder opstijgen maar zijn de poriën zo fijn dat slechts geringe hoeveelheden grondwater kunnen worden aangevoerd. De meest gunstige eigenschappen hebben fijn zand, leem, lemig zand en lichte zavel, waarin via de aanwezige capillairen tot meer dan een meter boven de grondwaterstand voldoende water kan worden aangevoerd om een verdamping van enkele millimeters per dag te compenseren.

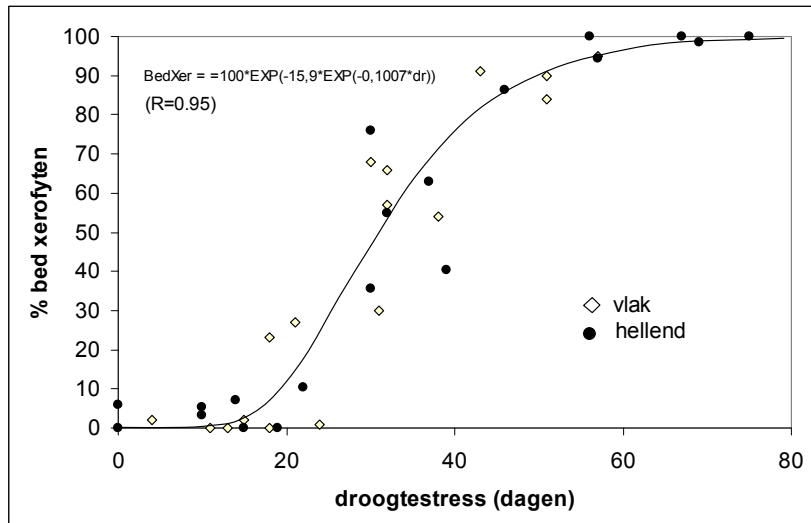
3.2 Wat is een relevante maat voor de vochtleverantie?

In de landbouw wordt meestal het vochttekort gebruikt als relevante droogtemaat. Daarbij wordt het vochttekort uitgedrukt als het verschil tussen de potentiële en de actuele verdamping. Dit is een vanuit landbouw logische maat, omdat het vochttekort direct gerelateerd is aan de mate van opbrengstdepressie. Vraag is echter of vochttekorten ook een goede voorspellende waarde hebben voor de soortensamenstelling in natuurlijke systemen. Vochttekorten mogen een belangrijke invloed hebben op de gewasgroei, maar voor de concurrentie tussen soorten zijn extreme situaties, waarbij planten verwelken en afsterven, mogelijk meer bepalend. Om dit te onderzoeken is door Jansen et al. (2000) in graslanden onderzoek gedaan naar de maat die het beste het voorkomen van mesofyten en xerofyten voorspelt. Daaruit blijkt dat het voorkomen van xerofyten het beste kan worden voorspeld uit de potentiële droogtestress. Daarbij wordt de droogtestress berekend als het aantal dagen dat op diepte van 12,5 cm (halverwege de wortelzone) een drukhoogte van het bodemvocht van -12000 cm (bij benadering het verwelkingspunt) wordt overschreden uitgaande van een standaard grasbegraving. Dat wordt uitgegaan van een potentiële droogtestress (uitgaande van een referentiegewas) in plaats van de actuele droogtestress (uitgaande van de actuele vegetatie) is nodig om te corrigeren voor de interactie tussen vochtleverantie en vegetatiesamenstelling. Op zeer droge standplaatsen is de plantengroei aangepast aan een geringe vochtbeschikbaarheid, en is derhalve ook de verdamping veel minder. Als gevolg daarvan zijn actuele vochttekorten op droge standplaatsen vaak niet veel hoger dan op vochtige standplaatsen waar planten voorkomen die veel verdampen. Door uit te gaan van de potentiële droogtestress en de potentiële vochttekorten worden verschillen tussen droge en vochtige standplaatsen veel duidelijker in beeld gebracht.

De verschillen in voorspellende waarde tussen het potentiële aantal dagen met droogtestress en potentiële vochttekorten zijn overigens gering, beide variabelen zijn onderling sterk gecorreleerd. Voor de 17 onderzochte punten bedroeg de verklaarde variantie respectievelijk 85% voor het aantal dagen met droogtestress en 72% voor het vochttekort. In Figuur 3-1 is de relatie weergegeven die door Jansen et al. (2000) is gevonden tussen het aandeel xerofyten in de vegetatie en het potentiële aantal dagen met droogtestress.



Figuur 3-1 Relatie tussen potentieel aantal dagen met droogtestress en het aandeel xerofyten in de vegetatie ($R^2=0,85$). Bron: Jansen et al., 2000.



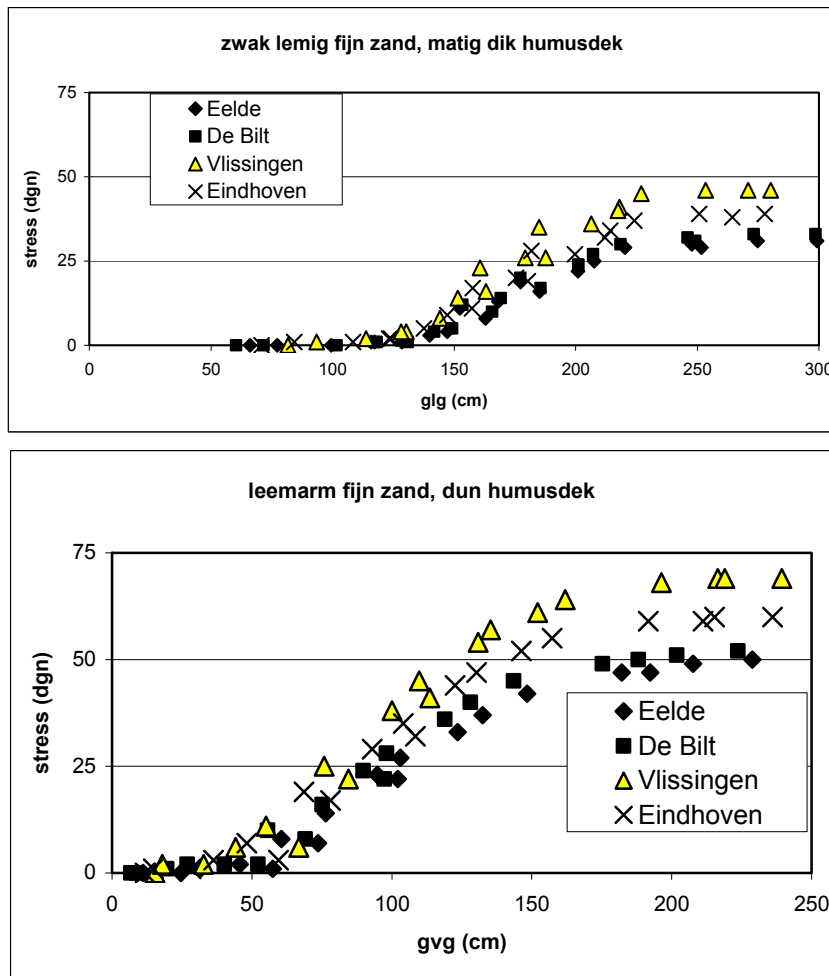
Figuur 3-2 Relatie tussen bedekkingsaandeel xerofyten en potentieel aantal dagen met droogtestress wanneer ook hellende gebieden worden meegenomen. Op basis gegevens Jansen et al. 2000 en Jansen en Runhaar 2005.

In een latere studie door Jansen en Runhaar (2005) is het onderzoek uitgebreid met 19 punten op hellingen, waarvoor eveneens een schatting is gemaakt voor de potentiële droogtestress. Door het meenemen van zuidhellingen in de duinen worden meer extreme waarden gemeten, met punten waarin het aandeel xerofyten 100% bedraagt. Daardoor wordt zichtbaar dat het verband tussen aandeel xerofyten in de vegetatie en de droogtestress niet lineair is, maar afvlakt bij extreme droogtestresswaarden. De relatie kan het beste worden verklaard door een groeicurve (Gompertzcurve) als aangegeven in Figuur 3-2. Daarbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat het de berekening

van de droogtestress in hellende gebieden enigszins onzeker is omdat daarbij gebruik is gemaakt van geschatte correctiefactoren voor de referentieverdamping afhankelijk van de expositie van de helling.

3.3 Relatie droogtestress met de grondwaterstand

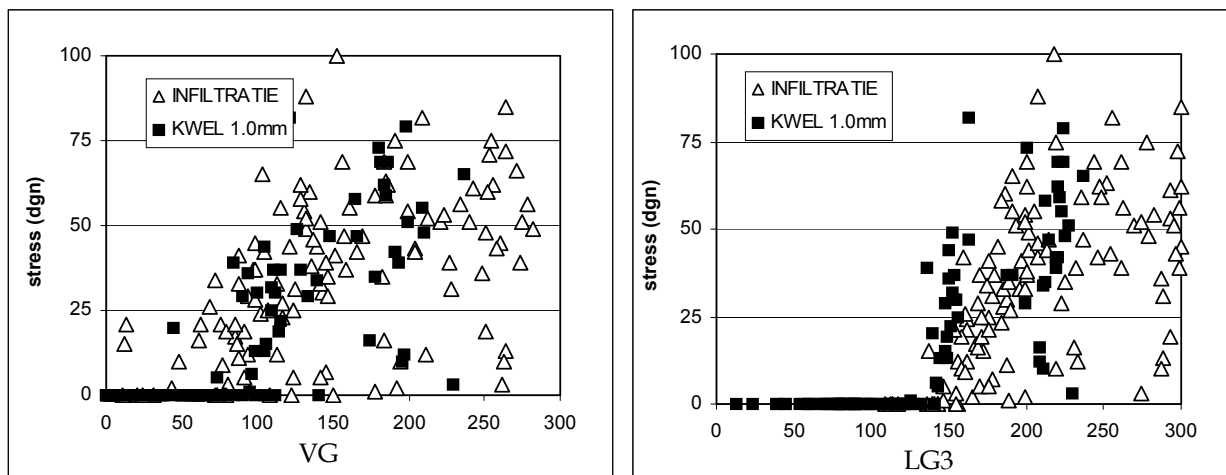
Om binnen het waterbeheer rekening te kunnen houden met eisen die vegetaties stellen aan de vochtleverantie, is een vertaling nodig van het potentiële aantal dagen met droogtestress naar grondwaterstanden. Met behulp van het model SWAP zijn door Jansen en Runhaar (2001) voor een aantal typen bodems en voor vier weerstations reprofuncties opgesteld die gebruikt kunnen worden om een relatie te leggen tussen grondwaterstand (GVG en GLG) en droogtestress (Figuur 3-3). De aanwezigheid van kwel of infiltratie heeft weinig invloed op de aard van de relaties.



Figuur 3-3 Voorbeeld afleiding reprofuncties droogtestress-grondwaterstand voor leemarm fijn zand en voor een viertal weerstations. Elk punt vertegenwoordigt het resultaat van een berekening met SWAP. Uit: Jansen en Runhaar, 2001.

Opvallend is dat er zo'n eenduidig verband bestaat tussen droogtestress en grondwaterstanden. Daarbij moet evenwel bedacht worden dat het gaat om langjarige gemiddelden, waarbij de invloed van droge en natte jaren is uitgefilterd. Als illustratie laat Figuur 3-4 voor leemarm fijn zand zien dat er wel grote verschillen tussen de verschillende jaren kunnen optreden. Daarbij zijn per jaar de relaties aangegeven tussen het aantal dagen met droogtestress en respectievelijk de voorjaarsgrondwaterstand (VG, grondwaterstand gemiddeld over maart en april) en de LG3 (gemiddelde van de 3 laagste standen in het jaar). Er zijn jaren waarin de grondwaterstand weliswaar diep wegzakt, maar waarin door een gelijkmatige neerslagverdeling in de zomer toch geen enkele dag met vochtstress van minder dan -12000 cm wordt gehaald. Anderzijds zijn er ook zeer droge jaren waarin ondanks een hoge voorjaarsgrondwaterstand door een droge zomer toch een aanzienlijke vochtstress kan optreden. Wel is

er een duidelijke relatie met LG3: wanneer de LG3 ondieper is dan de kritieke stijgafstand kan geen vochtstress optreden omdat er voldoende grondwater kan worden aangevoerd om de verdamping te compenseren.



Figuur 3-4 Relaties tussen de GVG3 en GLG3 enerzijds en het aantal dagen met vochtstress anderzijds voor de afzonderlijke jaren voor lemig fijn zand. Bron: Jansen en Runhaar, 2001.

3.4 Discussie

De op basis van bodemkenmerken en neerslagoverschot berekende potentiële droogtestress blijkt een goede voorspeller voor het aandeel aan droogte aangepaste soorten (xerofyten) ten opzichte van niet aan droogte aangepaste soorten (mesofyten). Door middel van uit modelberekeningen afgeleide reprofuncties kan, gegeven de bodemtextuur, een schatting worden gemaakt hoeveel dagen met potentiële droogtestress gemiddeld verwacht kunnen worden bij een bepaalde grondwaterstand. Omdat op eenzelfde bodemtype en bij eenzelfde klimaat GVG en GLG onderling nauw zijn gecorreleerd maakt het voor de schatting van de droogtestress weinig uit of gebruik wordt gemaakt van de relatie met de GVG of van de relatie met de GLG. Omdat de laagste grondwaterstanden oorzakelijk het meest bepalend zijn voor het optreden van droogtestress (figuur 3.4) wordt echter in toepassingen als in de Ecologische vereisten Natura-2000 gebieden meestal uitgegaan van de relatie met de GLG.

Bij de resultaten kan een aantal kanttekeningen worden gemaakt. In de eerste plaats is de gevonden relatie tussen het aandeel van mesofyten en xerofyten en de vochtleverantie gebaseerd op een relatief klein aantal punten, waarbij de actuele vochtbeschikbaarheid slechts éénmaal (bij de bodembemonstering) is gemeten. Een uitbreiding van het aantal meetpunten en een betere validatie van de modellering met SWAP, op basis van vaker herhaalde of continue vochtmetingen, is daarom wenselijk.

Bovendien is het onderzoek gericht geweest op het verklaren van het onderscheid tussen mesofyten en xerofyten, waarmee wordt genegeerd dat ook in natte milieus vochttekorten kunnen optreden. Dit hangt samen met het feit dat traditioneel zuurstofvoorziening en vochtvoorziening worden beschouwd als onderling afhankelijke factoren en soorten worden geordend op één as die loopt van nat naar droog. Daarbij wordt impliciet verondersteld dat in natte standplaatsen geen vochttekorten optreden en in droge standplaatsen geen zuurstoftekorten. Dat is echter een versimpeling van de werkelijkheid. Op natte standplaatsen kunnen ook problemen met de vochtbeschikbaarheid ontstaan, met name in milieus waarin verdrogingsgevoelige soorten als veenmossen en levermossen voorkomen (zie hoofdstuk 6). Omgekeerd zijn de aan natte, zuurstofloze omstandigheden aangepaste soorten niet altijd gevoeliger voor verdroging dan soorten die voorkomen op droge standplaatsen. Uit potproeven van Jansen en Kemmers (1980, 1986) blijkt nauwelijks verschil in de snelheid waarmee de hygryfyt *Moerasspirea* (*Filipendula ulmaria*) in een uitdrogingsproef verwelkt ten opzichte van de mesofyt Knoopkruid

(*Centaurea jacea*). Moerasspirea verdampt weliswaar onder vochtige omstandigheden meer per bladoppervlak, maar bij geringere vochtbeschikbaarheid treedt eerder verdampingsreductie op. En Van den Bergh (1963) vindt –tegengesteld aan zijn verwachting– dat de facultatieve xerofyt *Agrostis capillaris* slechter tegen droogte kan dan de hygrofyt *Alopecurus geniculatus*.

Het is daarom van belang er rekening mee te houden dat ook in natte standplaatsen vochttekorten kunnen optreden, en dat ook binnen de groep van hygrofytten onderscheid bestaat tussen soorten die wel of niet zijn aangepast aan vochttekorten. Dit is met name van belang bij de voorspelling van effecten onder gewijzigde klimaatomstandigheden. Zoals door Bartholomeus et al. (2010a) wordt aangegeven is de verwachting dat in een gewijzigd klimaat vaker standplaatsen zullen voorkomen waarin zowel zuurstofstress als vochtstress optreden.

3.5 Conclusie

De vochtvoorziening van een standplaats is slechts zeer ten dele afhankelijk van de grondwaterstand. Bodemtextuur en neerslagoverschot zijn minstens zo bepalende factoren. Alleen op bodems met weinig fijne capillairen en in een klimaat met een neerslagtekort in het groeiseizoen is de grondwaterstand van belang. Capillaire opstijging vanuit het grondwater vormt in deze situaties een belangrijke factor voor de vochtvoorziening. Tot welke hoogte boven de grondwaterspiegel nog voldoende water kan worden aangevoerd voor de verdamping van de vegetatie is weer sterk afhankelijk van de bodemtextuur. Traditioneel worden zuurstofvoorziening en vochtvoorziening beschouwd als onderling afhankelijke factoren, die samen worden aangeduid als de factor vochttoestand. Het gaat echter om factoren die via geheel verschillende mechanismen van invloed zijn op de vegetatie en die elkaar lang niet altijd onderling uitsluiten. Bij de ordening van soorten naar vochttoestand dient er rekening mee te worden gehouden dat soorten van natte standplaatsen (hygrofytten) niet per definitie verdrogingsgevoelig zijn, en bij de karakterisering van standplaatsen dat ook op natte standplaatsen (met hoogste grondwaterstanden aan of boven maaiveld) vochttekorten kunnen ontstaan door in de zomer diep wegzakkende grondwaterstanden.

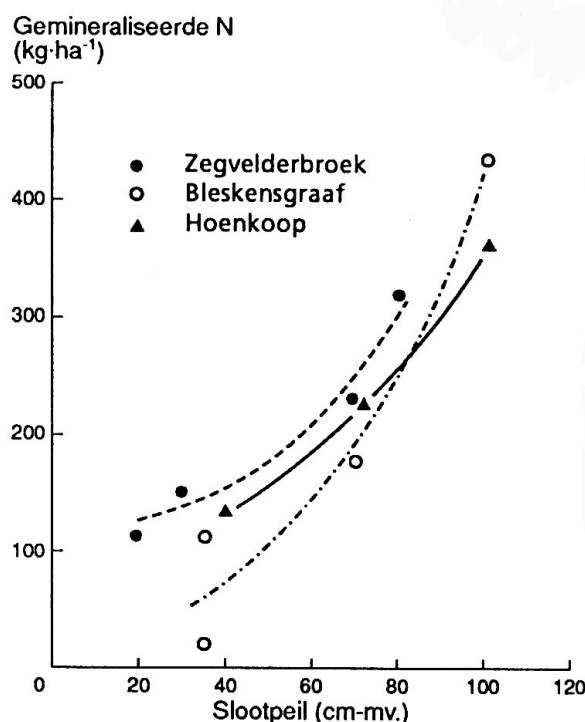
4 Invloed via voedselrijkdom

4.1 Inleiding

Indirect, via de zuurstofhuishouding en de redoxpotentiaal, is de grondwaterstand ook van invloed op de beschikbaarheid van nutriënten. Bij een ondiepe grondwaterstand en een geringe zuurstofbeschikbaarheid wordt de afbraak van organisch materiaal geremd, en daarmee neemt de hoeveelheid nutriënten die vrijkomt bij de afbraak van organisch materiaal af. Tevens wordt onder anaerobe omstandigheden nitraat gedenitrificeerd hetgeen kan leiden tot een verdere afname van de voedselbeschikbaarheid. Wat betreft fosfaat is de werking juist omgekeerd. Hier kunnen anaerobe omstandigheden leiden tot een verhoogde beschikbaarheid van fosfaat en daarmee een toename van de voedselrijkdom. In de volgende paragrafen zal kort worden ingegaan op deze werkingsmechanismen en de rol van de grondwaterstand daarin.

4.2 Invloed op afbraak organisch materiaal en stikstofbeschikbaarheid

De afbraak van organische stof is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van oxidatoren als zuurstof, nitraat en sulfaat. Zuurstof is onder normale omstandigheden de belangrijkste oxidator, maar de hoeveelheid zuurstof in de bodem neemt in waterverzadigde omstandigheden snel af vanwege de geringe diffusiesnelheid in water. Weliswaar kan ook onder anaerobe omstandigheden nog afbraak van organisch materiaal plaatsvinden, maar de snelheid is gering. Volgens Hendriks (Hendriks 1992, op basis van Hämäläinen 1991) is de snelheid van veenafbraak onder anaerobe omstandigheden een factor 100 tot 1000 maal lager dan die onder aerobe omstandigheden. De afbraak verloopt het snelst onder zwak zure tot basische omstandigheden ($\text{pH} > 6$). Ook de aard van het organische materiaal is van invloed op de afbraak: naarmate het organisch materiaal minder slecht afbreekbare verbindingen als lignine bevat, en rijker is aan stikstof, neemt de afbraaksnelheid toe.



Figuur 4-1 Verband tussen het slootpeil en de omvang van de jaarlijkse mineralisatie van stikstof in veengrasland. Hendriks 1992, naar Schothorst 1977.

In eutrofe veengronden kan verlaging van de grondwaterstand leiden tot het vrijkomen van aanzienlijke hoeveelheden stikstof, tot enkele honderden kilogrammen per jaar (Figuur 4-1). Omdat de veenaafbraak meestal wordt gekoppeld aan de drooglegging (diepte slootpeil onder het maaiveld), is uit de gegevens afkomstig uit landbouwkundig onderzoek niet te achterhalen welke gemiddelde grondwaterstand het meest bepalend is voor de veenaafbraak. Het is echter aannemelijk dat de laagste grondwaterstand het meest bepalend is. De meeste afbraak vindt plaats in het zomerhalfjaar, en de diepte tot waarop de grondwaterstand wegzakt in het zomerhalfjaar bepaalt welke deel van het veenprofiel blootstaat aan zuurstof. De afbraaksnelheid in laagveen is het grootst rond GLG-niveau (Otten, 1985), waarschijnlijk als gevolg van het feit dat juist hier veen voorkomt dat nog weinig aan aerobe afbraak heeft blootgestaan en bestaat uit relatief gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal (Hendriks 1992).

In natuurlijke situaties zal de hoeveelheid stikstof die vrijkomt bij de mineralisatie van organische stof veel lager zijn dan gemeten in landbouwgronden. De belangrijkste reden daarvoor is dat in niet-bekalkte situaties de verlaging van de grondwaterstand meestal gepaard gaat met de vorming van regenwaterlenzen en de verzuring van de bovengrond. Door de lagere pH wordt de afbraak van organisch materiaal geremd. Welke proces overheerst, toename van de mineralisatie door betere aëratie dan wel afname van de mineralisatie door een lagere zuurgraad, verschilt per situatie en hangt mede af van de snelheid waarmee de grondwaterstand daalt. Bij een abrupte verlaging van de grondwaterstand zullen in eutrofe veengronden hoeveelheden stikstof vrijkomen vergelijkbaar met de hoeveelheden die worden gemeten in landbouwgronden. In situaties, waar grondwaterstanddaling zeer geleidelijk plaats vindt, zoals in veenmosrietlanden waar door vastgroeien van de kragge de zijdelingse aanvoer van oppervlaktewater afneemt en de grondwaterstanden in de zomer dieper wegzakken, lijkt de invloed van verzuring dominant te zijn.

De toename van de voedselrijkdom is het grootst in situaties waarin onder natte omstandigheden gevormde veenbodems door grondwaterstanddaling worden blootgesteld aan zuurstof. Wanneer er geen veranderingen optreden in het grondwaterregime is de invloed van de laagste grondwaterstand minder groot. Belangrijkste verschil is dan dat op permanent natte plekken meer nutriënten worden vastgelegd in organisch materiaal (veenvorming) dan op plekken waar de grondwaterstand in de zomer wegzakt, waardoor de beschikbaarheid aan nutriënten op jaarbasis iets afneemt. Ook zal onder permanent natte omstandigheden meer denitrificatie optreden waardoor de stikstofbeschikbaarheid verder afneemt. Daar staat tegenover dat op permanent natte standplaatsen de fosfaatbeschikbaarheid weer groter wordt (zie volgende paragraaf).

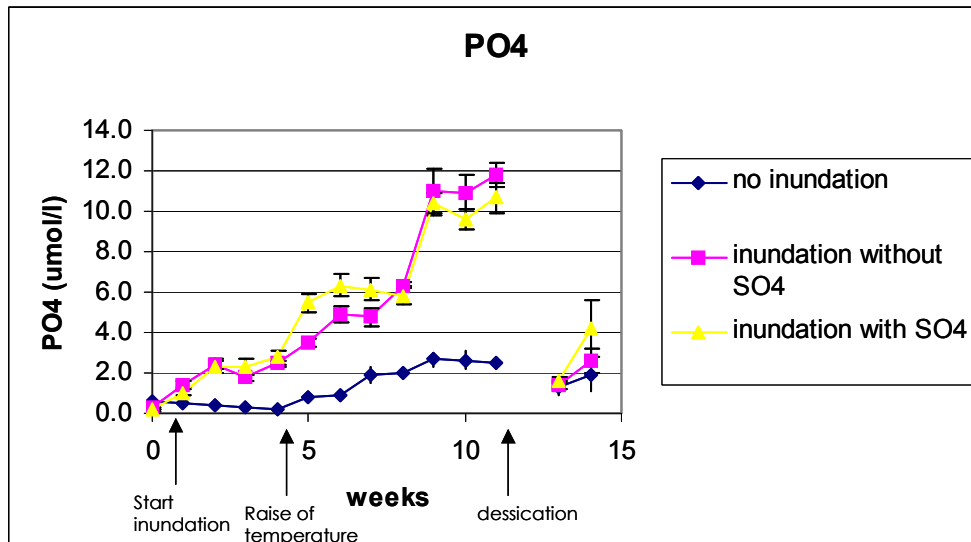
4.3 Invloed op fosfaatbeschikbaarheid

Onder permanent natte omstandigheden neemt de beschikbaarheid van fosfaat toe doordat er meer fosfaat in oplossing gaat Ponnampuruma (1972). De meest genoemde verklaring is de reductie onder anaerobe omstandigheden van driewaardig ijzer (Fe^{3+}) tot tweewaardig ijzer (Fe^{2+}). De grotere mobiliteit van tweewaardig ijzer ten opzichte van driewaardig ijzer zou leiden tot het in oplossing gaan van aan ijzer(hydr)oxiden gebonden fosfaat. Ook zou de reductie van sulfaat en de daaropvolgende vorming van ijzersulfide leiden tot het onttrekken van ijzer, en daarmee het in oplossing gaan van aan ijzer gebonden fosfaat.

Inundatie-experimenten met bodemonsters (Kemmers et al. 2003, Loeb en Lamers 2003) laten zien dat inundatie bij temperaturen van 15 tot 20 °C binnen enkele dagen tot enkele weken leidt tot een duidelijke stijging van ijzer- en fosfaatconcentraties in het bodemvocht. De fosfaatmobilisatie als gevolg van het ontstaan van reducerende omstandigheden is sterk temperatuurafhankelijk is. Bij een temperatuur van 5 °C is er slechts een gering effect van inundatie op ijzer- en fosfaatconcentraties (Figuur 4-2).

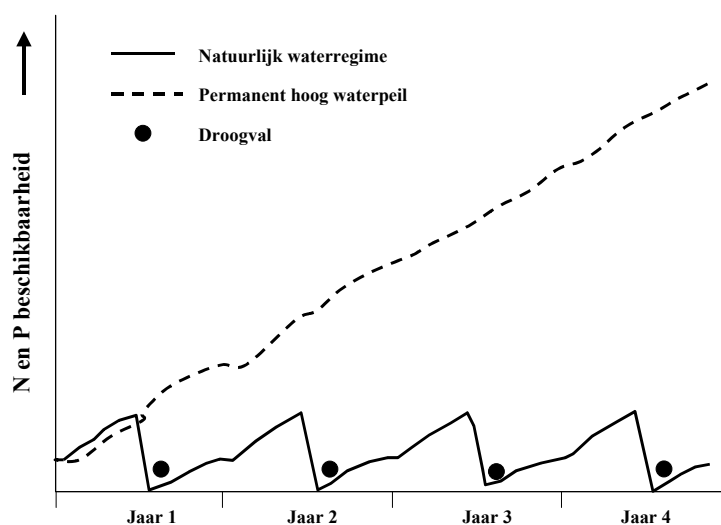
In hoeverre en onder welke omstandigheden de aanwezigheid van sulfaat in terrestrische systemen leidt tot extra fosfaatmobilisatie is niet duidelijk. Lamers e.a. vonden dat inundatie met water met sulfaatgehalten van 200 en 400 mg SO_4/l leidde tot extra mobilisatie van P uit vegetatieplaggen afkomstig van een schraalland (Lamers e.a., 1996; Lamers e.a., 2001a) en in Kleine-zeggengemeenschappen en Blauwgraslanden (Lamers et al, 1999). Het onderzoek van Kemmers e.a. (2003) laat echter in de meeste gevallen geen verschil zien tussen inundatie met sulfaatrijk of sulfaatloos

water. Uitzondering vormde een locatie op een ijzer- en zwavelarme zandgrond, waar wel een duidelijk sterkere fosfaatmobilisatie werd gemeten bij bevloeiing met sulfaatrijk water (de Plateaux, Kemmers e.a. 2003). Het is niet duidelijk of dit komt door het ontbreken van ijzer in de Plateaux (waardoor het gevormde sulfide ijzer wegvangt uit ijzer-fosfaatcomplexen) of door de aanwezigheid van zwavel in de andere locaties (waardoor de extra toevoeging van sulfaat geen rol meer speelt). Ook het inundatie-experiment met zoden uit een Kievitsbloemgrasland langs de Overijsselse Vecht door Loeb en Lamers (2003) laat geen verschil zien tussen sulfaatrijk en sulfaatarm water (Figuur 4-2).



Figuur 4-2 Toename van het fosfaatgehalte bij inundatie met al dan niet sulfaathoudend water. Temperatuur gedurende eerste 4 weken 5 °C, daarna 15-20 °C. Monster uit Kievitsbloem-grasland aan de benedenloop van de Overijsselse vecht. Uit: Loeb en Lamers, 2003.

De diepte tot waarop de grondwaterstand wegzakt in de zomer is naar verwachting van grote invloed op de fosfaatbeschikbaarheid. Bij natuurgebieden die in het kader van verdrogingsbestrijding zo sterk zijn vernat dat het grondwater tot in de zomer aan of boven maaiveld staat, is bekend dat er vaak sterke eutrofiering optreedt die waarschijnlijk veroorzaakt wordt door fosfaatmobilisatie (Koelbroek, Wyldlanden, Wijstgronden). Volgens Smolders et al. (2003) is tijdelijk droogvallen gedurende de zomer vaak al voldoende om er voor te zorgen dat het fosfaat ondanks de vernatting immobiel blijft (Figuur 4-3).



Figuur 4-3 Effecten van tijdelijk droogvallen van reductieve sedimenten op beschikbaarheid van stikstof en fosfaat. Uit: Smolders e.a. 2003.

De invloed van permanent natte omstandigheden is het grootst in gronden die rijk zijn aan fosfaat, zoals in voormalige landbouwgronden. Maar ook in bodems die gevormd zijn onder kwelomstandigheden kunnen grote hoeveelheden fosfaat voorkomen, die hier ooit zijn aangevoerd met kwelwater en vastgelegd in de vorm van ijzerfosfaat. In basenrijke gronden waarin de fosfaat vooral gebonden is aan calcium is vernatting waarschijnlijk minder een probleem, omdat CaPO_4 niet in oplossing gaat in een gereduceerd milieu. Wel zijn deze gronden verzuringsgevoelig.

4.4 Conclusie

De grondwaterstand, en dan met name de laagste grondwaterstand, is van grote invloed op de voedselbeschikbaarheid. De invloed is echter sterk afhankelijk van de bodemeigenschappen en met name de voorgeschiedenis van de bodem. In eutrofe veenbodems, die gevormd zijn onder permanent natte omstandigheden, leidt een verlaging van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar tot een sterke toename van de stikstofmineralisatie. In minerale gronden, die zijn ontstaan onder omstandigheden waarin grondwaterstanden in de zomer diep wegzakken en waarin relatief veel fosfaat is vastgelegd aan ijzer, kunnen permanent natte omstandigheden juist leiden tot een (tijdelijke) toename van de voedselrijkdom als gevolg van het vrijkomen van fosfaat.

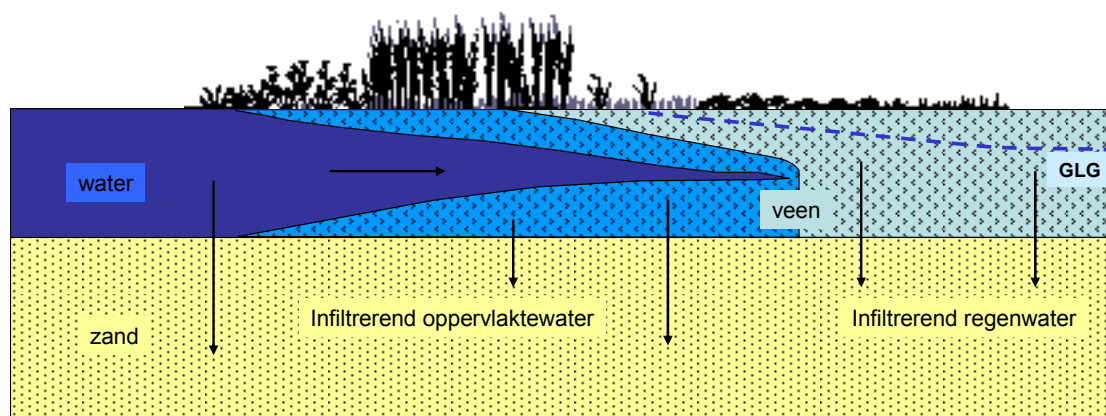
Anders dan bij de vochtleverantie, waar het aantal factoren dat van invloed is goed bekend is, en de relaties goed zijn te kwantificeren, is het bij de voedselrijkdom moeilijk om algemeen toepasbare relaties te leggen met de grondwaterstand. Daarvoor zijn er te veel factoren die een rol spelen en is er over een aantal processen te weinig bekend.

5 Relaties via grondwateraanvoer en buffering

5.1 Inleiding

In hoeverre buffering plaats vindt door grondwater is mede afhankelijk van de laagste grondwaterstand. Als het grondwater wegzakt tot onder een kritieke stijghoogte kan het niet meer via capillaire opstijging de wortelzone bereiken en valt de buffering door grondwater weg. Omgekeerd zijn de laagste grondwaterstanden mede afhankelijk van de aanwezigheid van kwel: in kwelsituaties zullen de grondwaterstanden door aanvoer van grondwater minder ver wegzakken dan in infiltratiesituaties.

Open water	Verlandig	Semi-terrestrisch		Terrestrisch	
Matig voedselrijk			Voedselarm		
basisch			zw.zuur-bas	zwak zuur	zuur
Open water met Kranswieren en Fonteinkruiden	Krabbescheer-vegetaties met drijftillen van Waterscheerling	Verlandings-vegetaties met Riet en Draad-zegge	Trilveen met Ronde zegge en Schorpioenmos	Veenmosrietland met Ronde Zonnedaauw en Sphagnum palustre	Zuur veenmosrietland met veel Haarmos



Figuur 5-1 Schematisch overzicht van relatie tussen grondwaterstand en stadium van veenvorming in laagveenmoerassen in infiltratiegebieden. Uit: Runhaar et al. 2000.

Een bijzondere vorm van buffering door 'grondwater' treedt op in peilbeheerste veengebieden, waarin zijdelings indringend oppervlaktewater de belangrijkste bron van basenaanvoer vormt (Figuur 5-1). Hoever de invloed van het oppervlaktewater reikt is sterk afhankelijk van de aard van het veen. In trilvenen met een dunne kragge, die drijft op het oppervlaktewater, kan het basenrijke oppervlaktewater onder de kragge langs doordringen tot in het centrum van de percelen. In percelen met een compacte veenlaag, die contact maakt met de ondergrond, blijft de invloed van het oppervlaktewater beperkt tot een smalle randzone. De mate waarin het basenrijke water de standplaats kan bereiken is gecorreleerd aan de laagste grondwaterstand. In oppervlaktewatergevoede trilvenen met een dunne kragge ligt de (grond)waterstand permanent nabij het maaiveld, terwijl op vaste veengronden zonder grondwateraanvoer de grondwaterstanden in de zomer diep kunnen wegzakken.

Hoewel dus theoretisch een relatie is te verwachten tussen zuurbuffering en laagste grondwaterstand, is de vraag of deze relatie zodanig eenduidig is dat laagste grondwaterstand gebruikt kan worden als voorspellende factor voor het voorkomen van vegetatietypen die afhankelijk zijn van de buffering door basenrijk grond- en oppervlaktewater.

In de volgende paragrafen zal allereerst worden ingegaan op de relaties tussen GLG en zuurbuffering door grondwater zoals bepaald in gebiedsstudies en zoals gebruikt in ecohydrologische

effectvoorspelling. In een volgende paragraaf zal voor één vegetatietype, het blauwgrasland, dieper worden ingegaan op de relatie met de GLG. Het blauwgrasland is een basenminnend vegetatietype dat vrijwel alleen voorkomt op kalkarm zand en veen, en daardoor bij uitstek gebonden is aan buffering door grond- of oppervlaktewater. Ook voor het veenmosrietland is onderzocht of op basis van meetgegevens een relatie te vinden is met de laagste grondwaterstand.

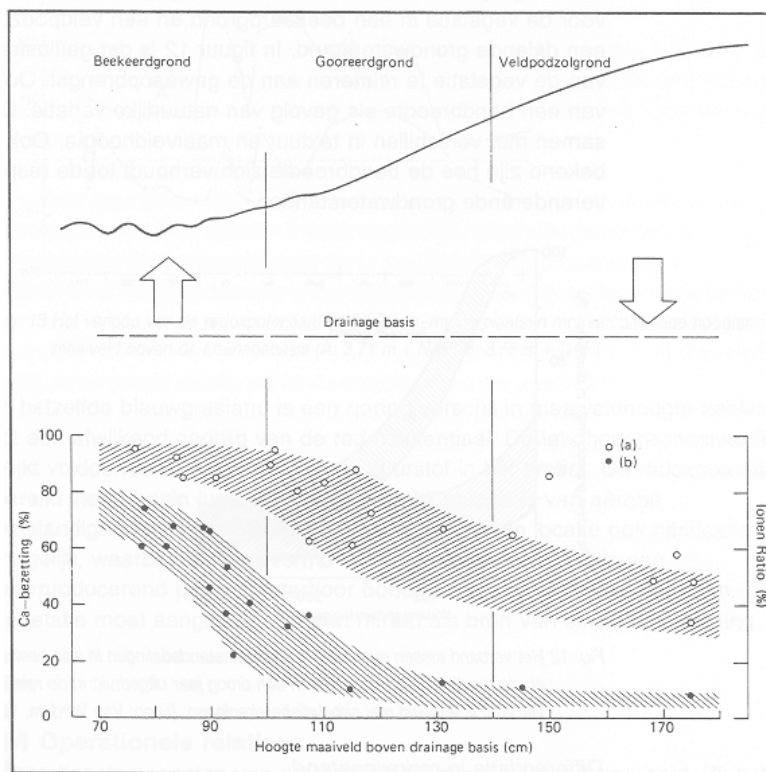
Tenslotte worden de resultaten gepresenteerd van een analyse op basis van de gegevens uit de Staatsbosbeheergebieden, waarin is nagegaan of er op kalkloze zand- en veengronden een verband bestaat tussen de diepte van de GLG en de zuurgraad van de standplaats.

5.2 Relatie zuurbuffering en GLG op basis van gebiedsstudies

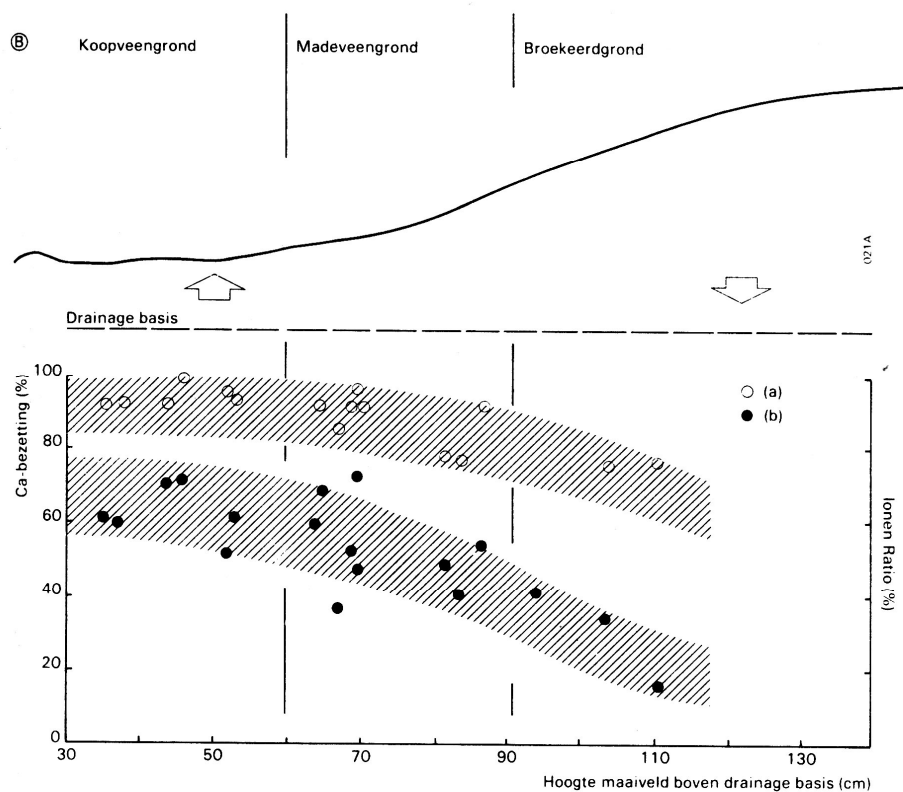
Kemmers (1990, 1993) laat zien dat de basenverzadiging van de bovengrond in een door hem onderzocht kalkloos zandgebied met een sequentie van beekeerdgronden, gooreerdgronden en veldpodzolen nauw is gerelateerd aan de hoogte boven de drainagebasis (Figuur 5-2). Daarbij is de GLG gebruikt als schatter voor de drainagebasis (mond. med. Kemmers 2009). Kemmers concludeert op basis van deze gegevens dat bij een hoogte boven de drainagebasis van 70 cm het contact tussen grondwater en adsorptiecomplex verloren gaat doordat dan de nalevering van basen uit het grondwater achterblijft en de Ca-bezetting van het adsorptiecomplex niet langer een weerspiegeling is van de ionenratio van het lithotrofe grondwater. Dat wil niet zeggen dat daarmee het contact volledig verloren raakt. Tot een hoogte boven de drainagebasis van meer dan 80 cm ligt de basenverzadiging rond de 60% of daarboven, en tot een hoogte boven de drainagebasis van ca een meter is de basenverzadiging van de bovengrond meer dan 30%. Wanneer de hoogte boven de drainagebasis nog lager is, is de basenverzadiging zeer laag en bestaat er geen relatie meer tussen de hoogte boven de drainagebasis en basenverzadiging. Als belangrijkste oorzaak voor de gevonden verbanden noemt Kemmers dat bij een te lage drainagebasis de aanvulling van basen naar het adsorptiecomplex in de wortelzone via capillaire opstijging stagneert.

Bij veengronden (sequentie koopveengronden, madeveengronden en broekeerdgronden) werd door Kemmers een vergelijkbare relatie gevonden als op zandgronden tussen hoogte boven de drainagebasis en de basenverzadiging, zij het dat de grenswaarden wat ondieper liggen: tot een hoogte boven de drainagebasis van meer dan 60 cm ligt de basenverzadiging rond de 60% of daarboven, en tot een hoogte boven de drainagebasis van ca een meter is de basenverzadiging van de bovengrond meer dan 30% (Figuur 5-3).

Door van Delft et al. (2002) is onderzoek gedaan naar grondwaterstanden en kwel in het gebied Beekvliet. Daarbij is de ligging van kwelgebieden bepaald op grond van een groot aantal kenmerken (pH bodem, EGV in boorgaten en oppervlaktewater, begindiepte kalkrijke en ijzerrijke lagen, roest en bacterievliezen in water). Vergelijking laat zien dat met één uitzondering alle gekarteerde kwelgebieden liggen op plekken met een GLG van minder dan 90 cm.



Figuur 5-2 Ionenratio van het bovenste grondwater (a) en calciumbezetting van het adsorptiecomplex van de bovenliggende wortelzone (b) in relatie tot de hoogte van het maaiveld boven de drainagebasis langs een gradiënt met drie bodemtypen op zand. Uit: Kemmers, 1990.



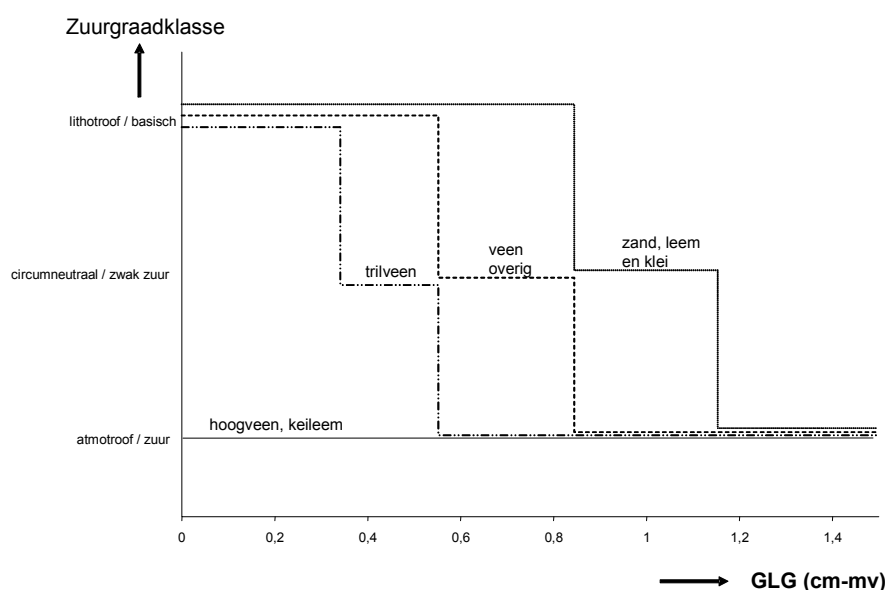
Figuur 5-3 Ionenratio van het bovenste grondwater (a) en calciumbezetting van het adsorptiecomplex van de bovenliggende wortelzone (b) in relatie tot de hoogte van het maaiveld boven de drainagebasis langs een gradiënt met drie bodemtypen op veen. Uit: Kemmers, 1990.

5.3 Relatie zuurbuffering en GLG in ecohydrologische voorspelling

Ook in modelstudies wordt soms de laagste grondwaterstand gebruikt als indicator voor het optreden van kwel. Daarbij wordt in grote lijnen uitgegaan van dezelfde aannamen en hetzelfde type gegevens als in deze studie. Belangrijkste meerwaarde is dat uitkomsten van deze studies zijn getoetst aan lokale omstandigheden, zodat aangenomen mag worden dat de in deze modelstudies gebruikte kritische grondwaterstanden niet al te ver zullen afwijken van werkelijke kritische waarden.

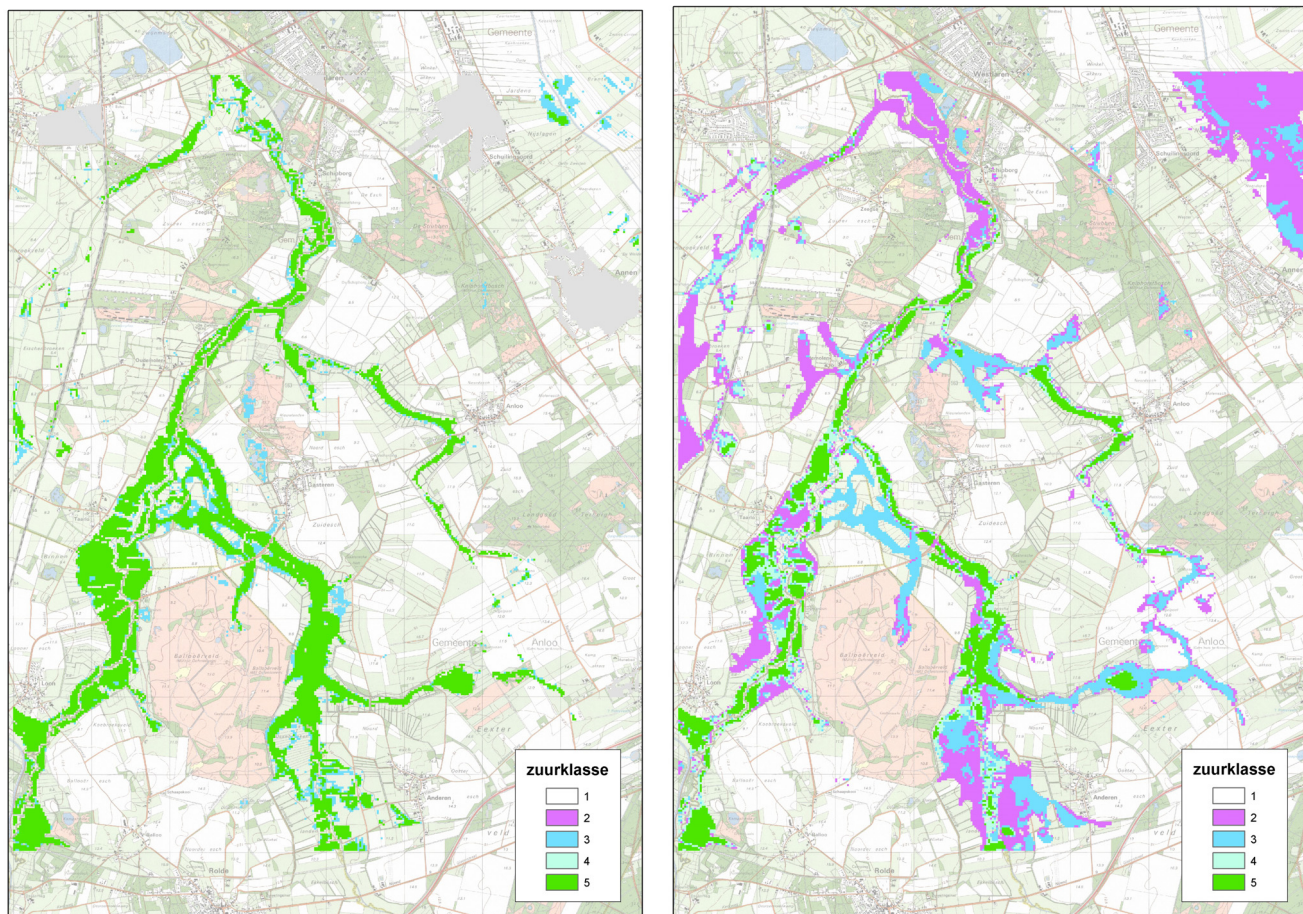
Door Jansen (2004) zijn in het gebied van de Langbroekerwetering GLG-grenzen van 80 en 100 cm gebruik om onderscheid te maken tussen resp. kwelgebieden, intermediaire gebieden en infiltratiegebieden.

In Niche worden in zandgronden grenzen van 80 en 120 cm aangehouden om onderscheid te maken tussen sterk en zwak gebufferde standplaatsen, en in veengronden van 60 tot 80 cm (Figuur 5-4). Deze relaties zijn gebaseerd op het hierboven behandelde onderzoek van Kemmers (1990). In trilvenen worden nog ondiepere standen aangehouden.



Figuur 5-4 Zuurgraadindeling in NICHE op basis van bodemtype en GLG.

In navolging van het model NICHE is in een proefversie van de Waternood-kansrijkdommodule de laagste grondwaterstand gebruikt als indicator voor optreden kwel (De Haan et al. 2010 in prep.). Een verschil is echter dat de relatie alleen is toegepast in bodemtypen die gevormd zijn onder invloed van basenrijk grond- of oppervlaktewater. De relatie met de GLG wordt daarbij gebruikt als vangnet om rekening te houden met het de invloed van lokale kwel, die anders gemist zou worden als alleen zou worden uitgegaan van de door hydrologische modellen berekende kwelfluxen. Aangenomen is dat, wanneer in de geselecteerde bodemtypen de GLG ondiep is, er sprake is van kwel en dat de zuurgraad hierdoor gebufferd wordt.



Figuur 5-5 Berekening van de zuurgraad met het prototype van de Waternood-kansrijkdommodule in het Drentse Aa-gebied, links op basis van de door het hydrologische model berekende kwelfluxen, rechts op basis van het bodemtype in combinatie met de GLG. 1 = zuur (doorzichtig), 3 = matig zuur, 5 = zwak zuur; 2 en 4 zijn tussencategorieën.

In Figuur 5-5 is voor een deel van het proefgebied in de Drentse Aa het resultaat weergegeven. Daarin is te zien dat zuurbuffering door kwel (rechts in figuur) niet alleen wordt berekend op plekken in het centrum van de grotere beekdalen, waar ook volgens het hydrologische model sprake is van regionale kwel (links), maar ook op de flanken van de beekdalen en in bovenlopen waar toestroming uit lokale grondwatersystemen plaatsvindt. De op deze manier voorspelde zuurgraad lijkt goed te corresponderen met de in het gebied gevonden vegetatiepatronen, maar het aantal waarnemingen is te gering om op basis hiervan harde uitspraken te doen over de voorspellende waarde van deze benadering.

5.4 Voorkomen blauwgraslanden en veenmosrietlanden in relatie tot de GLG

De analyse van de gemeten laagste grondwaterstanden op standplaatsen met vegetaties die afhankelijk zijn van buffering door aanvoer van basenrijk water heeft zich vooral gericht op standplaatsen met blauwgraslanden (*Cirsio dissecti-Molinietum*) omdat (1) dit type vrijwel in alle gevallen afhankelijk is van de buffering door grond- en oppervlaktewater, en (2) van dit type relatief veel gegevens beschikbaar zijn.

Aanvullend is ook gekeken naar de relatie met de laagste grondwaterstand in veenmosrietlanden (*Pallavicinio-Sphagnetum*). Veenmosrietland zijn niet volledig oppervlaktewatergevoede, maar vormen een tussenstadium in de successie van oppervlaktewatergevoede trilvenen (*Scorpidio-Caricetum diandrae*) en volledig regenwatergevoede situaties (Figuur 5-1). Het is een fase waarin zich regenwatergevoede systemen vormen, genest in basenrijker water. Verwachting dat de overgang naar volledig regenwatergevoede systemen samengaat met dieper wegzakkende grondwaterstanden in de zomer.

Tabel 5-1 Laagste grondwaterstanden (p90 uit duurlijnen) van blauwgraslanden op zand. Bron: de Haan, 1992.

subassociatie	gebied	n	min	gem	max
agrostietosum	Agelerbroek	1		80	
agrostietosum	fort Ruigenhoek en Meerbach (Du)*	3	70	80	85
filipenduletosum	fort Ruigenhoek en Meerbach (Du)*	3	45	70	100
nardetosum	Koolmansdijk*	4	115	120	130
nardetosum	Punthuizen en Bramse (Du)	3	85	120	145
nardetosum	Luttenbergven	1		60	
nardetosum	Gattaltaüfe (Zw)	3	80	115	135
typicum	Kappersbult*	2	85	85	85
litorelletosum	Punthuizen	2	80	100	115
orchietosum	Bergvennen	1		90	
orchietosum	Punthuizen	2	120	120	125
orchietosum	Stelkampsveld	2	70	70	70

*) locaties Ruigenhoek, Koolmansdijk en Kappersbult ten tijde van de bemonstering al niet meer optimaal en dus mogelijk niet in evenwicht met hydrologie (mond. med. Jalink)

In een rapport van De Haan (1992a) wordt een overzicht gegeven van de duurlijnen van diverse vormen van het blauwgrasland op zand. Uitgaande van deze duurlijngegevens liggen de laagste grondwaterstanden in blauwgraslanden op zandgronden tussen de 20 en 145 cm -mv, het gemiddelde over alle gebieden bedraagt bijna één meter (Tabel 5-1). Daarbij is de p90 (de grondwaterstand die 90% van de tijd wordt overschreden) gebruikt als maat voor de laagste grondwaterstand. De p90 komt gemiddeld ongeveer overeen met de GLG als gedurende meerdere jaren zou zijn gemeten. Wanneer er duurlijnen zijn voor meerdere jaren is uitgegaan van de gemiddelde p90. Van de meeste locaties zijn echter slechts duurlijnen voor één jaar beschikbaar. Bij de interpretatie moet er dus rekening mee worden gehouden dat de uitkomsten beïnvloed kunnen zijn door toevallige weersomstandigheden (natte en droge jaren).

De verschillen tussen de subassociaties zijn gering, de verschillen tussen de gebieden lijken meer bepalend te zijn voor de variatie in de laagste grondwaterstand. Binnen de gebieden lijken de duurlijnen op standplaatsen van verschillende vegetatietypen soms zeer sterk op elkaar, zoals bijvoorbeeld bij de rompgemeenschap (vochtig) van *Nardus stricta* uit de Bergvennen die vrijwel gelijk is aan de duurlijn van het *Cirsio-Molinietosum orchietosum* uit hetzelfde gebied (p90 grondwaterstand van gemiddeld 95).

Ter vergelijking is ook gekeken naar de laagste grondwaterstanden waarbij blauwgraslanden in zandgebieden voorkomen in de dataset uit Staatsbosbeheergebieden. Op grond van die opnamenset ligt de GLG in blauwgraslanden wat minder diep, namelijk op gemiddeld 70 centimeter onder maaiveld (n = 18, stdev = 23 cm, min = 41, max = 117).

Tabel 5-2 Laagste grondwaterstanden (p90 uit duurlijnen) van blauwgraslanden op veen. Bron: de Haan, 1992.

subassociatie	Gebied	n	min	gem	max
agrostietosum	Hellbachtal en Reusebene (Du)	3	20	30	45
agrostietosum	de Kooilust	1		55	
agrostietosum	Oude Venen	6	15	30	50
nardetosum	Kooilust	3	40	42	45
typicum	Hellbachtal	1		15	
typicum	Kattendijksblokboezem	1		40	
typicum	Kooilust	1		40	

In het rapport van De Haan (1992a) wordt ook een overzicht gegeven van de duurlijnen van diverse vormen van het blauwgrasland op veen. Uit de duurlijnen zijn op een zelfde manier als voor de blauwgraslanden op zand schattingen gemaakt van de gemiddeld laagste grondwaterstand. In vergelijking met de zandgronden zakken de grondwaterstanden op veen veel minder weg (Tabel 5-2). Gemiddeld liggen de laagste grondwaterstanden (afgeleid uit de p90 van de duurlijnen) op 35 cm beneden maaiveld. In de bijlagen bij het Indicatorenrapport laagveenmoerassen (Jalink 1991) wordt een

laagste grondwaterstanden vermeld van 55 cm voor blauwgrasland (*Sphagnum*-vorm) in reservaat de Gagelpolder (op basis van De Mars 1989). Dit was echter een sterk verzuurde vorm, gedomineerd door veenmos en haarmos.

Op grond van de opnamenset uit Staatsbosbeheergebieden ligt de GLG in blauwgraslanden op veen op een vergelijkbare diepte als in het overzicht van De Haan, namelijk op gemiddeld 35 centimeter onder maaiveld ($n = 13$, $stdev = 10$ cm, $min = 17$, $max = 49$).

De ondiepe laagste grondwaterstanden op veen zijn niet specifiek voor blauwgraslanden. In de verschillende duurlijnsrapporten (De Haan 1992a, 1992b) zijn alle laagste grondwaterstanden op veen zeer ondiep, ongeacht het vegetatietype. De meest extreme waarde is die voor een standplaats met *Ericetum tetralicis sphagnetosum* in het Wierdense Veld (De Haan 1992a, p90 van 70 cm -mv).

In de rapporten van De Haan staan te weinig duurlijnen uit veenmosrietlanden om een analyse uit te voeren zoals voor blauwgraslanden. Wel is een aantal grondwatermeetpunten in Staatsbosbeheergebieden gelegen in veenmosrietlanden. In het onderzoek van Runhaar (1987) komen langs het Nanneveld zure/verzuurde veenmosrietlandvegetaties (met veel *Molinia*, *Erica*) voor bij GLG's van ruim 60 cm, minder zure veenmosrietlanden (*Pallavicinio-Sphagnetum*) in Blauwe Hel en Nanneveld bij ondiepere grondwaterstanden (tot ruim 50 cm).

Binnen het referentie-onderzoek van SBB (Hommel et al. 2007) komt een aantal meetpunten voor in veenmosrietlanden in de Rottige Meente (RMT-B127a, RMT-B1411a.1, RMT-B146a.1) in kragges waar de grondwaterstand het gehele jaar dicht bij maaiveld ligt (tot max 25 cm -mv). In hetzelfde gebied komt een rompgemeenschap van Veenpluis en Veenmos voor op een vastgegroeide kragge (TMT-B151a.1) met een grondwaterstand die in zomer 2003 wegzakt tot bijna een halve meter onder maaiveld en met een GLG op basis van tijdreeksanalyse van 40 cm -mv, en een rompgemeenschap van Gewoon veenmos en Pijpestrootje op vast veen (RMT-B149a.1) waar de grondwaterstand in zomer 2003 wegzakt tot iets meer dan een halve meter en een GLG volgens de tijdreeksanalyse van 57 cm -mv.

5.5 Relatie tussen zuurgraad en GLG op kalkarme standplaatsen

Zoals in de voorgaande paragraaf beschreven blijkt op basis van duurlijngegevens en van de meetpunten in Staatsbosbeheergebieden dat blauwgraslanden op veen voorkomen bij veel ondiepere laagste grondwaterstanden dan blauwgraslanden op zand. Vraag is echter of deze verschillen in grondwaterstand vooral samenhangen met het bodemtype, dan wel samenhangen met de aanvoer van het basenrijke grond- en oppervlaktewater dat bepalend is voor de buffering van de standplaats.

Om na te gaan in hoeverre er een relatie bestaat tussen de zuurbuffering van de standplaats en de laagste grondwaterstand is er een analyse uitgevoerd op de gegevens uit de terreinen van Staatsbosbeheer. De analyse heeft zich beperkt tot natte standplaatsen op kalkarme zandgronden en veen buiten het overstromingsbereik van oppervlaktewater, met een GVG van 20 cm boven tot 30 cm onder maaiveld. Hier is naar verwachting de aanvoer van grondwater dan wel de zijdelingse indringing van oppervlaktewater het voornaamste zuurbufferende mechanisme.

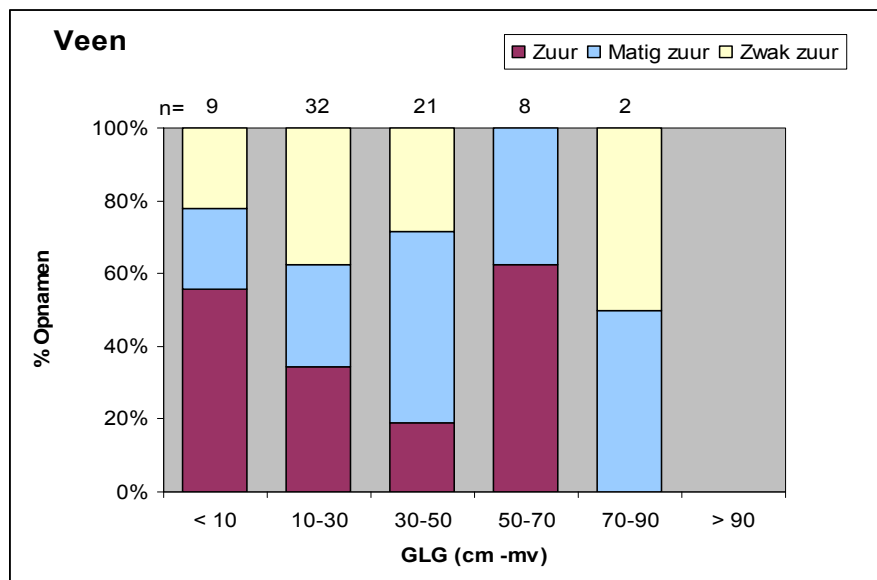
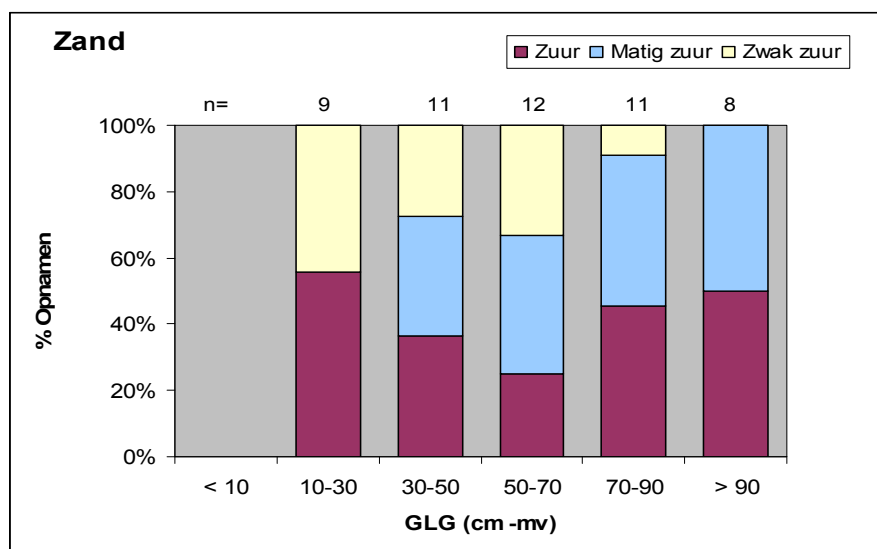
Doel van de analyse was na te gaan of goed gebufferde standplaatsen conform de verwachting vooral voorkomen bij ondiepe laagste grondwaterstanden, en wat de invloed van de bodemtextuur is op deze relatie. Omdat niet van alle opnamepunten de bodem-pH bekend is (en waar de pH wel gemeten is verschillende bepalingsmethoden zijn gebruikt) is niet de gemeten maar de door de plantengroei geïndiceerde zuurgraad gebruikt. Voor de zuurgraadindicatie van plantensoorten is uitgegaan van de indeling in ecologische groepen door Runhaar et al. (2004). Voor de vertaling van de indicatiewaarden naar pH-waarden is uitgegaan van een relatie tussen gemiddelde indicatiewaarden en pH zoals gebruikt in de bepaling van de ecologische vereisten van Natura 2000-gebieden (Runhaar et al. 2009a, 2009b). Daarvoor is gebruik gemaakt van een dataset van enkele duizenden punten uit de Kennat-database van Alterra.

Alle meetpunten zijn ingedeeld naar bodemtype (zand of veen) en naar geïndiceerde pH. De meetpunten zijn op basis van de geïndiceerde zuurgraad ingedeeld in zuurgraadklassen. De pH- klassen zijn zodanig gekozen dat de meetpunten redelijk verdeeld zijn over de onderscheiden klassen (Tabel 5-3).
Tabel 5-3 Klassen gebruikt om meetpunten uit Staatsbosbeheergebieden

in te delen naar geïndiceerde zuurgraad

naam	geïnd. pH
zuur	< 4,5
matig zuur	5,5-5,0
zwak zuur	> 5,0

In Figuur 5-6 is de verdeling van standplaatsen over bodemtype, zuurgraadklassen en GLG-klasse aangegeven. Daarin is te zien dat het bodemtype de meest bepalend is voor de verschillen in GLG. Op veengronden is de GLG zelden dieper dan 70 centimeter, op zandgronden worden GLG-waarden van meer dan 90 centimeter onder maaiveld regelmatig aangetroffen. Conform de verwachting komen goed gebufferde zwak zure standplaatsen voor bij een ondiepere GLG dan zure en matig zure standplaatsen. Het verschil is het grootst op zandgronden, waar zwak zure standplaatsen niet voorkomen bij GLG's van 90 centimeter of meer, en bij diepere GLG's alleen zure en matig standplaatsen worden aangetroffen.



Figuur 5-6 Verdeling natte opnamen op zand en veen over GLG-klassen en geïndiceerde zuurgraad. Per GLG-klasse is het percentage opnamen aangegeven dat is ingedeeld bij resp. zuur, matig zuur en zwak zuur. Het aantal opnamen per GLG-klasse is aangegeven boven de kolommen.

Op veengronden komen zwak zure standplaatsen vrijwel alleen voor bij GLG's van minder dan 50 centimeter, met uitzondering van één meetpunt met een GLG van 71 cm. Het gaat om een

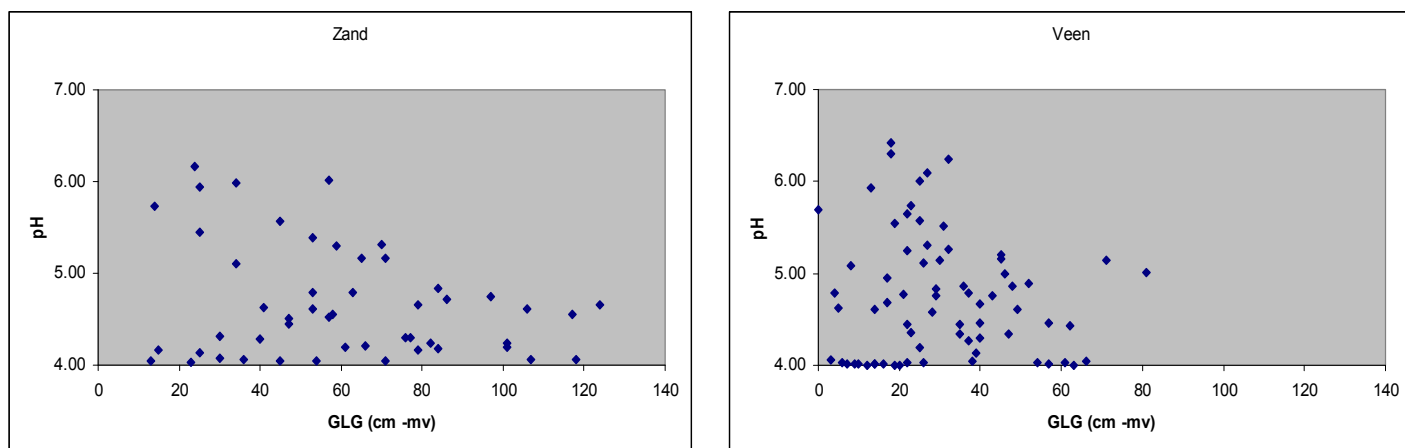
Veldrushooiland (*Crepidio-Juncetum inops* volgens indeling SBB) op een madeveengrond in het beekdal van het Merkske (broekveen op zandige beekafzettingen). De pH van het grondwater was 6.6, hetgeen wijst op kwel met basenrijk grondwater. Eveneens in het Merkske ligt een als matig zuur ingedeeld meetpunt op veen met een GLG van 82 cm en een pH van 5 met een arme vorm van het Veldrushooiland (*RG Juncus acutiflorus*).

Variantieanalyse met GLG als afhankelijke variabele en zuurklasse en bodemtype als onafhankelijke variabelen laat zien dat er een significant verband is tussen zowel GLG en bodemtype als GLG en zuurgraadklasse, waarbij de relatie met het bodemtype duidelijk het sterkste is ($F=45$, $p < 0.001$ voor bodemtype, $F=6$, $p=0.002$ voor zuurgraadklasse). Gemiddeld is de GLG in zand 60 centimeter, en in veen 30 cm Tabel 5-4. Er is geen significant interactie-effect tussen bodemtype en zuurgraadklasse. De invloed van de zuurgraad vooral wordt bepaald door het feit dat in zwak zure standplaatsen de GLG significant minder diep is dan die in matig zure standplaatsen ($p=0.002$ volgens Tukey HSD test). De overige verschillen zijn niet significant. Dit wijkt af van de verwachting dat juist de verschillen tussen zure en zwak zure standplaatsen het grootst zouden zijn. Zeker in veengronden is dat niet het geval: hier is de GLG met 27 cm in zure standplaatsen vrijwel gelijk aan die zwak zure standplaatsen (26 cm). Het gaat bij de zure standplaatsen voor een belangrijke deel om hoogveenvegetaties.

Tabel 5-4 Gemiddelde GLG (cm -mv) en standaarddeviatie per combinatie van bodemtype en zuurklasse

	zand		veen		Totaal	
	gem $\pm$ sd	n	gem $\pm$ sd	n	gem $\pm$ sd	n
Zuur	59 $\pm$ 32	21	27 $\pm$ 20	25	42 $\pm$ 31	46
Matig zuur	72 $\pm$ 27	18	35 $\pm$ 18	26	50 $\pm$ 28	44
Zwak zuur	42 $\pm$ 19	12	26 $\pm$ 15	21	32 $\pm$ 18	33
Totaal	60 $\pm$ 29	51	30 $\pm$ 18	72	42 $\pm$ 28	123

In Figuur 5-7 is de relatie aangegeven tussen de geïndiceerde pH op basis van de vegetatie en de gemeten GLG in zand- en veengronden. Te zien is dat in de zandgronden de variatie in pH afneemt bij diepere GLG's, en dat bij een GLG van meer dan 80 cm alleen nog standplaatsen voorkomen met een geïndiceerde pH van minder dan 5. Bij de veengronden is de afname in spreiding en in gemiddelde pH bij diepere GLG's minder duidelijk, mede vanwege de twee afwijkend punten afkomstig uit het Merkske. Vanwege de grote spreiding in pH bij ondiepe GLG's kan op basis van lineaire regressie geen relatie tussen beide variabelen worden aangetoond ($p=0.13$ en 0.59 op resp. zand en veen). Ook wanneer de twee afwijkende opnamen uit het Merkske worden weggelaten blijft de relatie op veen verre van significant ($p=0.35$).



Figuur 5-7 Relatie tussen geïndiceerde pH en GLG op respectievelijk zand en veen.

5.6 Discussie

Veronderstelling was dat door grondwater gebufferde systemen gekenmerkt worden door een relatief ondiepe laagste grondwaterstand. Op basis van de hier verzamelde gegevens blijkt er inderdaad een relatie te bestaan tussen de zuurbuffering en GLG. De relatie is echter niet heel eenduidig. Zo blijkt de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken sterk gecorreleerd te zijn aan het bodemtype. Dat is de reden waarom in het overzicht van gewenste grondwaterstanden NOV-Pleistoceen (Aggenbach et al. 1998a) verschillende eisen aan de laagste grondwaterstand worden gesteld in veen- en zandgronden. Het is echter niet duidelijk of het feit dat de grondwaterstand op veen minder ver wegzakt dan op zandgronden ligt aan het bodemtype zelf, of dat het ligt aan met het bodemtype gecorreleerde factoren, zoals het oppervlaktewaterbeheer.

Tabel 5-5 Berekeningen met SWAP van grondwaterstandverloop op zand- en veengrond, uitgaande van twee verschillende oppervlaktewaterpeilen en drie verschillende kwelfluxen en een perceelsbreedte van 30 m .

Veen

Peil	25cm-MV			50 cm-MV		
Kwelflux (mm/d)	6,27	0,83	0,09	6,27	0,93	0,108
GVG (cm tov mv)	3	2	-8	3	-6	-23
GLG (cm tov mv)	-1	-49	-63	-7	-64	-81

Zand

Peil	25cm-MV			50 cm-MV		
Kwelflux (mm/d)	7,60	0,94	0,10	9,07	1,18	0,12
GVG (cm tov mv)	3	-20	-24	-9	-43	-48
GLG (cm tov mv)	-18	-33	-35	-36	-55	-59

Om dat te onderzoeken zijn met een hydrologisch model voor de onverzadigde zone (SWAP) een aantal voorbeeldberekeningen uitgevoerd voor zand- en veengronden met verschillende oppervlaktewaterpeilen (25 en 50 cm -mv) en kwelfluxen (ca 7, 1 en 0,1 mm/d) (Tabel 5-5). Te zien is dat bij een zelfde oppervlaktewaterpeil en kwelflux de grondwaterstanden op veen juist dieper wegzakken dan op zand. Dat maakt het onwaarschijnlijk dat verschillen in bodemtextuur de enige oorzaak zijn voor het gevonden verschil in GLG tussen zand- en veengronden.

Dat in de gebruikte dataset de grondwaterstanden in veen over het algemeen minder diep wegzakken dan op zand kan mogelijk ook samenhangen met het feit dat de veengronden voor een groot deel liggen in peilbeheerste gebieden met door wateraanvoer een permanent hoog oppervlaktewaterpeil, en de zandgronden overwegend in vrij afwaterende gebieden met lage oppervlaktewaterpeilen in de zomer. Zoals te zien in Tabel 5-5 heeft het oppervlaktewaterpeil een aanzienlijke invloed op de grondwaterstanden. Het feit dat in beekdalgebieden (de broekeerdgronden en madeveengronden in onderzoek Kemmers, de madeveengronden in het beekdal van het Merkske uit het referentie-onderzoek van SBB) de grondwaterstanden in veen relatief diep wegzakken wijst er eveneens op dat verschillen in ontwatering en peilbeheer een belangrijke oorzaak vormen voor de gevonden verschillen tussen zand- en veengronden.

Dit roept de vraag op of nu in ecohydrologische normstelling vaak gehanteerde onderscheid tussen veen en zand wel voldoende is. Binnen veengronden zou eigenlijk onderscheid moeten worden gemaakt tussen peilbeheerste en vrij afwaterende situaties. Maar ook zou rekening moeten worden gehouden met verschillen tussen situaties waarin buffering alleen kan plaatsvinden door oppervlaktewater (de meeste laagveenmoerasgebieden) en situaties waarin ook buffering kan optreden door grondwater (restveengronden in polders en laagveengebieden direct grenzend aan hogere zandgronden). En ook is ongetwijfeld het type veen (vlietveen, veraard veen, kleiig veen) van grote invloed. Binnen zandgronden is een onderverdeling naar waterbeheer minder urgent omdat ze maar weinig voorkomen in peilbeheerste gebieden, en waar ze voorkomen over het algemeen worden gebruikt voor landbouw (bv de geestgronden achter de duinen die worden gebruikt voor bollenteelt). Echter ook binnen

zandgronden is het verschil in GLG tussen wel en niet door grondwater gebufferde standplaatsen gering en de overlap tussen de zuurklassen groot.

In hoeverre de gevonden correlaties toepasbaar zijn in de ecologische normstelling is daarom de vraag. De onderzoeksgegevens van Kemmers suggereren dat op lokale schaal, binnen gebieden met een zelfde geohydrologie, peilbeheer en bodemopbouw, de GLG een goede schatter voor het al dan niet optreden van kwel. Het gaat dan echter uitdrukkelijk om lokale relaties, die niet toepasbaar zijn voor normstelling op landelijke schaal.

Op basis van de verzamelde gegevens zijn wel een aantal algemene gevolgtrekkingen te doen. De gegevens uit Staatsbosbeheergebieden laten zien dat op vrij afwaterende kalkarme zandgronden goed gebufferde zwak zure standplaatsen voornamelijk voorkomen bij een GLG van minder dan ca 90 centimeter onder maaiveld, terwijl zure en matig zure standplaatsen ook bij diepere GLG's kunnen voorkomen. Dit sluit goed aan bij gegevens uit gebiedsstudies verricht door Kemmers (1990, 1993) en Van Delft et al. (2002), en de grenswaarden die in modellen als NICHE en Waternood-kansrijkdom worden gebruikt als grenswaarden voor grondwaterbuffering op zand.

In veengronden komen zwak gebufferde standplaatsen voornamelijk voor bij laagste grondwaterstanden ondieper dan 50 cm. Daarbij kan echter de kanttekeningen worden gemaakt dat in beekdalveengronden grondwatergebufferde standplaatsen ook lijken voor te komen bij diepere laagste grondwaterstanden. In de laagveen- en hoogveengebieden is een halve meter waarschijnlijk wel een algemeen geldende kritische grens, getuige het feit dat in de gebruikte bronnen vrijwel geen standplaatsen in laagveen en hoogveen zijn vertegenwoordigd met laagste grondwaterstanden dieper dan een halve meter. Dit wijst er op dat bij diepere grondwaterstanden door een combinatie van verzuring, verdroging en vermesting alleen soortenarme rompvegetaties voorkomen. Omdat er maar weinig waarnemingen zijn van slecht ontwikkelde vegetaties met veel Pijpenstrootje en Haarmos op veengrond is het echter niet mogelijk na te gaan of deze veronderstelling juist is.

5.7 Conclusies

Er blijkt een verband te bestaan tussen de mate waarin zuurbuffering door grondwater optreedt en de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken, maar de relatie is niet eenduidig. Op vrij afwaterende kalkarme zandgronden buiten bereik van overstroming met oppervlaktewater worden goed gebufferde standplaatsen overwegend aangetroffen op plekken met een GLG ondieper dan 90 à 100 cm, en op veengronden in hoogveen- en laagveengebieden overwegend bij een GLG ondieper dan 50 cm. Het verschil met de laagste grondwaterstanden in minder of niet gebufferde standplaatsen is echter gering en de overlap in GLG-waarden tussen de verschillende zuurgraadklassen is groot.

Doordat de relatie tussen de GLG en de mate van zuurbuffering niet eenduidig is, is het niet mogelijk harde GLG-grenzen aan te geven waarbij grondwatergebufferde typen wel of niet kunnen voorkomen. Daartoe dient allereerst duidelijker te onder welke omstandigheden de GLG indicierend is voor de aanvoer van grondwater en/of zijdelings indringend oppervlaktewater, en wat daarbij kritische grenswaarden zijn. Daarbij is het gebruikte onderscheid in veen- en zandgronden niet toereikend, maar moet waarschijnlijk ook onderscheid worden gemaakt naar het peilbeheer. Bovendien is het voor het bepalen van kritische grenswaarden een probleem dat in de nu gebruikte dataset de nadruk ligt op standplaatsen met goed ontwikkelde grondwaterafhankelijke vegetaties, en er weinig of geen opnamen zijn van standplaatsen met minder goed ontwikkelde vegetaties.

6 Invloed laagste grondwaterstanden in natte, potentieel veenvormende systemen

6.1 Inleiding

In de Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden worden bij een aantal potentieel veenvormende systemen (hoogveen, laagveen, elzenbroekbos, grote-zeggenvegetaties en dotterbloemhooilanden) directe eisen gesteld aan de GLG. Het gaat om vegetatietypen die over het algemeen voorkomen op permanent natte standplaatsen en/of waarvan in de literatuur wordt aangegeven dat permanent ondiepe grondwaterstanden kritisch zijn. Anders dan bij de relatie met de GVG (die bepalend is voor het aandeel hygropyten) en de vochtvoorziening (bepalend voor het aandeel mesofyten en xerofyten) is er echter geen helder beeld waarom de laagste grondwaterstanden in deze systemen kritisch zouden zijn, en welke groepen soorten met name gevoelig zouden zijn voor diep wegzakkende grondwaterstanden dan wel voor permanent natte omstandigheden.

Dit is een weinig bevredigende situatie, en daarom is in deze studie gezocht naar mogelijke verklaringen. Onderzocht is de hypothese dat, in vergelijking met periodiek natte standplaatsen, op permanent natte standplaatsen relatief veel soorten met luchtweefsels en relatief veel verdrogingsgevoelige mossen voorkomen. De eerste groep omdat deze goed is aangepast aan leven in permanent natte zuurstofarme condities. De laatste omdat ze, als niet-wortelende soorten, zeer gevoelig zijn voor uitdroging en juist niet gevoelig zijn voor zuurstofgebrek in de bodem.

6.2 Methode

Voor de analyse zijn binnen de hygropyten een drietal subgroepen onderscheiden, te weten:

- *'helofyten'*: planten met bladeren die boven het maaiveld uitsteken en die via luchtweefsels in staat zijn zuurstof naar hun wortels te transporteren, onderverdeeld naar hoge en lage helofyten (maximale hoogte meer of minder dan 75 cm);
- *verdrogingsgevoelige mossen*: alle blad- en levermosses die zijn gebonden aan natte standplaatsen; onderverdeeld in *veenmosses* (*Sphagnum spec.*) en *overige verdrogingsgevoelige mossen*;
- de hygropyten die geen deel uitmaken van bovenstaande functionele groepen zijn aangeduid als *overige hygropyten*.

Daarnaast worden ook onderscheiden:

- *hydrofyten*: waterplanten die permanent of vrijwel permanent in het water leven en slecht tegen droogval kunnen; in deze studie zijn ook *amfifyten* (planten die zijn aangepast aan het leven op droogvallende plekken doordat ze verschillende groeivormen hebben) meegeteld als hydrofyten

De kwantitatieve bijdrage van de groep hydrofyten is beperkt (gemiddelde bedekkingspercentage 2%). Ze zijn in de analyse meegenomen omdat ze in de natste opnamen soms wel talrijk voorkomen en er daarmee aan bijdragen dat het relatieve aandeel helofyten en verdrogingsgevoelige mossen minder is.

Voor de indeling in hygropyten en hydrofyten is uitgegaan van de indeling in ecologische soortengroepen volgens Runhaar et al. (2004) en Dirksen en Kruijsen (1993). De indeling in helofyten is gebaseerd op gegevens over de wortelporositeit (ongepubliceerde gegevens uit de wetland-database van Bodegom, VU Amsterdam). Bij soorten waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn over de wortelporositeit is op basis van de taxonomische groepen geschat of ze al dan niet luchtweefsels bezitten. De aanwezigheid van luchtweefsels is namelijk sterk gekoppeld aan bepaalde taxonomische groepen (zeggen, grassen, russen). Voor de bepaling van maximale hoogte van helofyten is gebruik gemaakt van het Botanisch Basisregister. In bijlage 1 wordt aangegeven welke soorten zijn ingedeeld in de verschillende groepen.

Voor de bepaling van de relatie tussen soortengroepen en grondwaterstanden is gebruik gemaakt van de meetgegevens uit Staatsbosbeheergebieden (zie hoofdstuk 1). In een eerste analyse is per opname bepaald wat de presentie en bedekking is van helofyten, hydrofyten, verdrogingsgevoelige mossen en overige hygroyten. Het relatieve bedekkingsaandeel van deze functionele groepen, ten opzichte van de totale bedekking van alle soorten, is uitgezet tegen de inundatieduur gedurende het groeiseizoen en de grondwaterstanden (GVG en GLG). Middels een regressie is bepaald welk aandeel van de variantie verklaard kan worden uit de grondwaterstand. Er is zowel een lineaire als een niet-lineaire regressie uitgevoerd. Voor de inundatieduur is daarbij uitgegaan van een exponentieel verband ($y = a + b \cdot \exp(-x/c)$), voor de GVG en GLG van een sigmoïdaal verband ($y = a + b / (1 + \exp((x-c)/d))$).

In een tweede analyse is het bedekkingspercentage helofyten, hydrofyten en verdrogingsgevoelige mossen niet bepaald als percentage van de bedekking van alle soorten, maar als het percentage van de bedekking van alleen 'natte soorten' (hygrofyten + hydrofyten). Dit om een beter beeld te krijgen hoe binnen de groep van 'natte soorten' de verhoudingen verschuiven afhankelijk van inundatieduur en grondwaterstanden. Daarbij is volstaan met lineaire regressie omdat hier geen evidente niet-lineaire verbanden optreden. Hierbij is alleen gebruik gemaakt van opnamen waarin meer dan 50% van de bedekking wordt ingenomen door hygroyten (n=138).

In een derde analyse is gekeken naar de verdeling van soorten over permanent en periodiek natte standplaatsen (GVG ≤ 25 cm -mv, GLG resp. meer en minder dan 50 cm -mv). Op basis van de berekende X^2 is getoetst of de verdeling significant afwijkt van een toevallige verdeling.

Tabel 6-1 Percentage verklaarde variantie in bedekkingsaandeel soortengroepen als functie van de Inundatieduur, GVG en GLG op basis lineaire en niet-lineaire regressie. Het plus- of minteken geeft aan of het om een positief of negatief verband gaat.

model: verklarende variabele:	Inundatie (dagen)	Lineair GVG (cm -mv)	GLG (cm -mv)	expon. Inundatie (dagen)	sigmoïdaal GVG (cm -mv)	GLG (cm -mv)
hydrofyten	+18	-5	-3	+30	-19	-10
verdrogingsgevoelige mossen	+12	-13	-17	+18	-22	-24
helofyten	+12	-14	-10	+19	-20	-11
helofyten+*	+36	-33	-29	+43	-48	-37

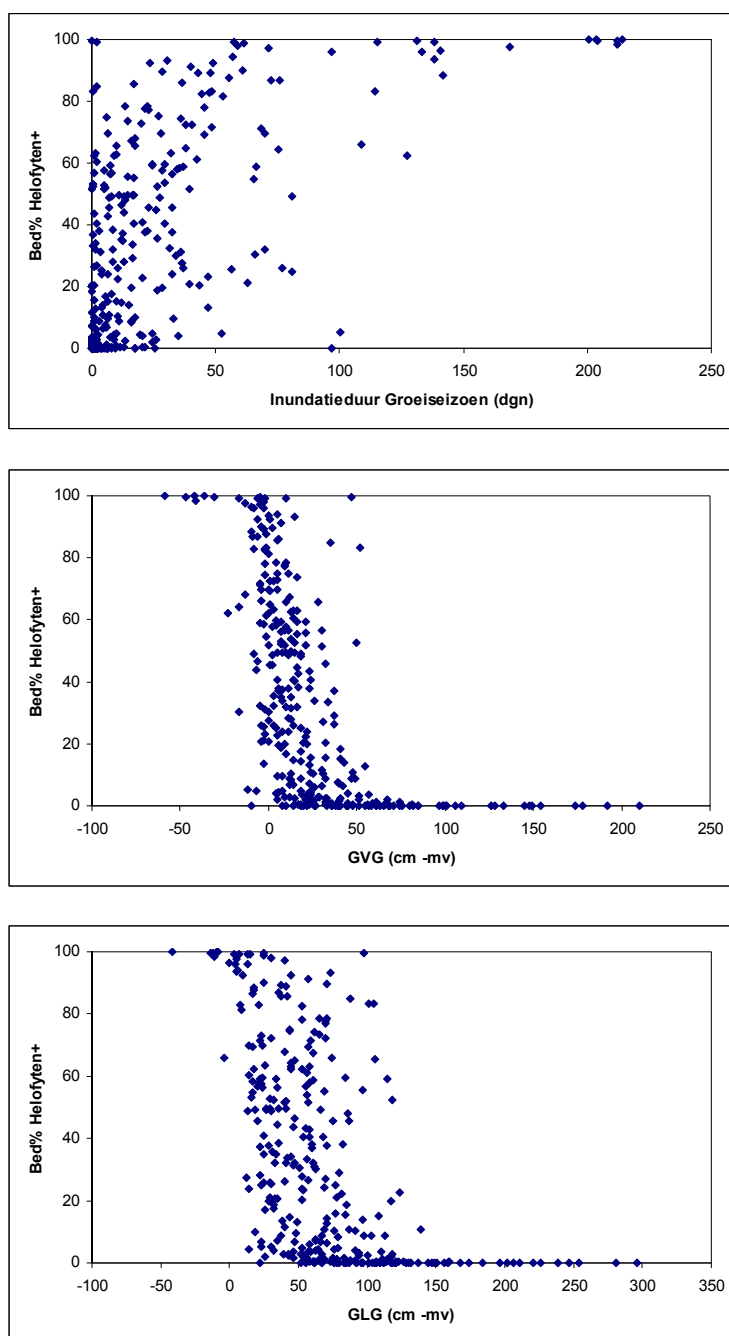
helofyten+: helofyten + hydrofyten + verdrogingsgevoelige mossen

6.3 Resultaten

Aandeel functionele groepen

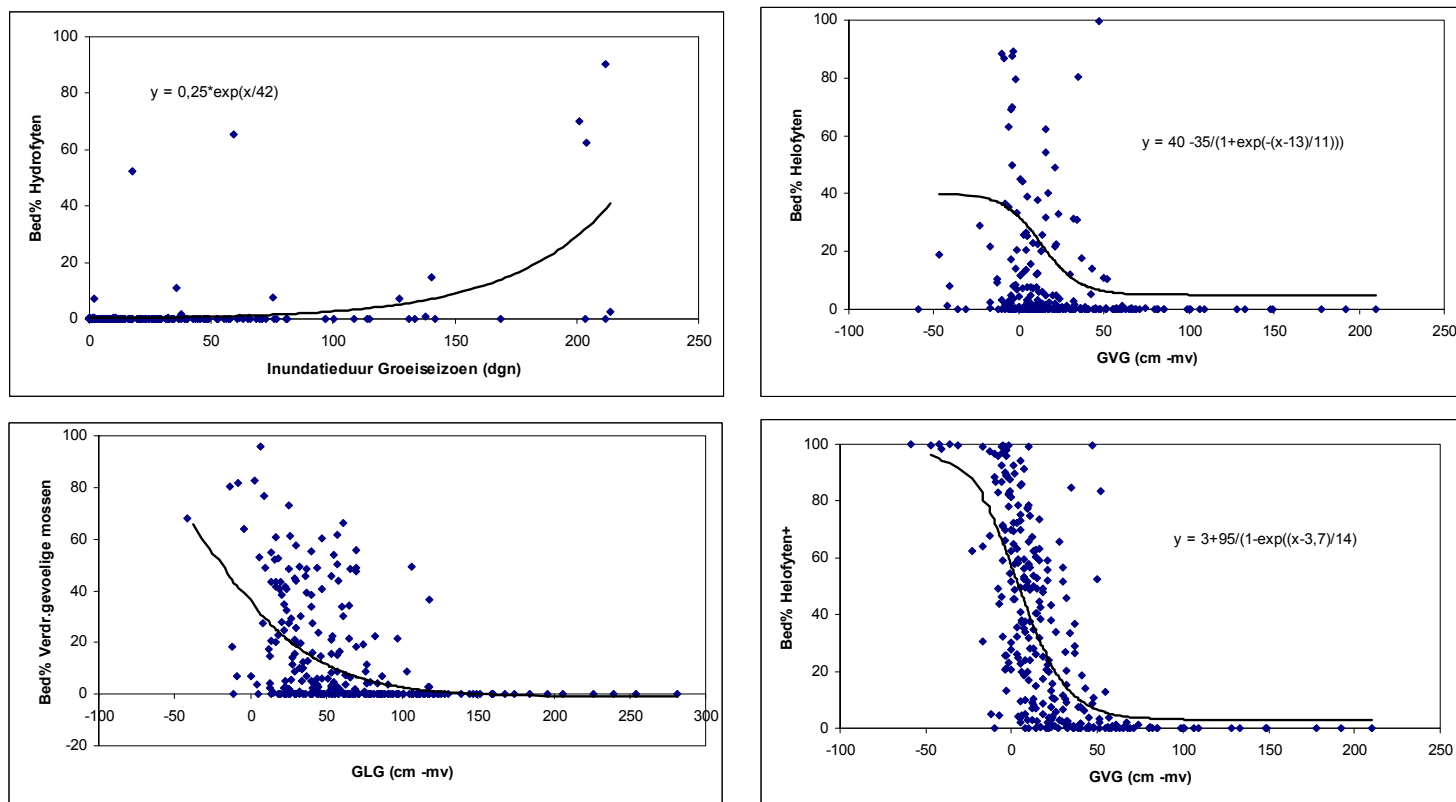
Tabel 6-1 geeft links een overzicht van het percentage verklaarde variantie op basis van lineaire (Pearson) regressie tussen de gemiddelde bedekking van de verschillende functionele groepen en respectievelijk de inundatieduur, de GVG en de GLG. Voor alle groepen geldt dat er een significante negatieve relatie is met de GVG en de GLG, en een positieve relatie met de inundatieduur. De verklaarde variantie is echter gering. Binnen de functionele groepen lijkt er een verschil te bestaan tussen helofyten, verdrogingsgevoelige mossen en hydrofyten. Het voorkomen van helofyten is het sterkst gecorreleerd aan de GVG, dat van de verdrogingsgevoelige mossen aan de GLG, dat van de hydrofyten aan de inundatieduur. De verklaarde variantie neemt sterk toe wanneer gekeken wordt naar de het gezamenlijke bedekkingsaandeel van de drie groepen. Het voorkomen van het gezamenlijke bedekkingsaandeel van de drie groepen kan voor ca 30% worden verklaard uit de relatie met de grondwaterstanden en de inundatieduur.

Op basis van lineaire regressie is de verklaarde variantie in het bedekkingsaandeel helofyten+ het grootst bij de inundatieduur. Dit is echter misleidend omdat de relatie met de grondwaterstanden een sterk niet-lineair karakter heeft (Figuur 6-1). Wordt uitgegaan van niet-lineair verband (Tabel 6-1 rechts) dan neemt de verklaarde variantie toe en is de relatie van de helofyten+ met de GVG het sterkst.



Figuur 6-1 Bedekkingsaandeel van helofyten+hydrofyten+verdrogingsgevoelige mossen als functie van de inundatieduur, GVG en GLG.

Bij de overige functionele groepen blijft de rangorde hetzelfde: ook nu blijkt dat helofyten het sterkst zijn gerelateerd aan de GVG, verdrogingsgevoelige mossen aan de GLG, en het aandeel hydrofyten aan de inundatieduur. In *Figuur 6-2* wordt per functionele groep de relatie getoond met de hydrologische variabele die de meeste variantie verklaart (Vet aangegeven in Tabel 6-1). Met uitzondering van de hydrofyten, die duidelijk het sterkst zijn gerelateerd aan de inundatieduur, zijn de verschillen in verklaarde variantie tussen inundatieduur, GLG en GVG gering. Dat komt doordat de hydrologische variabelen onderling nauw aan elkaar zijn gerelateerd ($R=0,87$).



Figuur 6-2 Resultaten van niet-lineaire regressie. Per functionele groep wordt de alleen de relatie getoond met de hoogste verklaarde variantie.

Aandeel functionele groepen binnen hygroyten

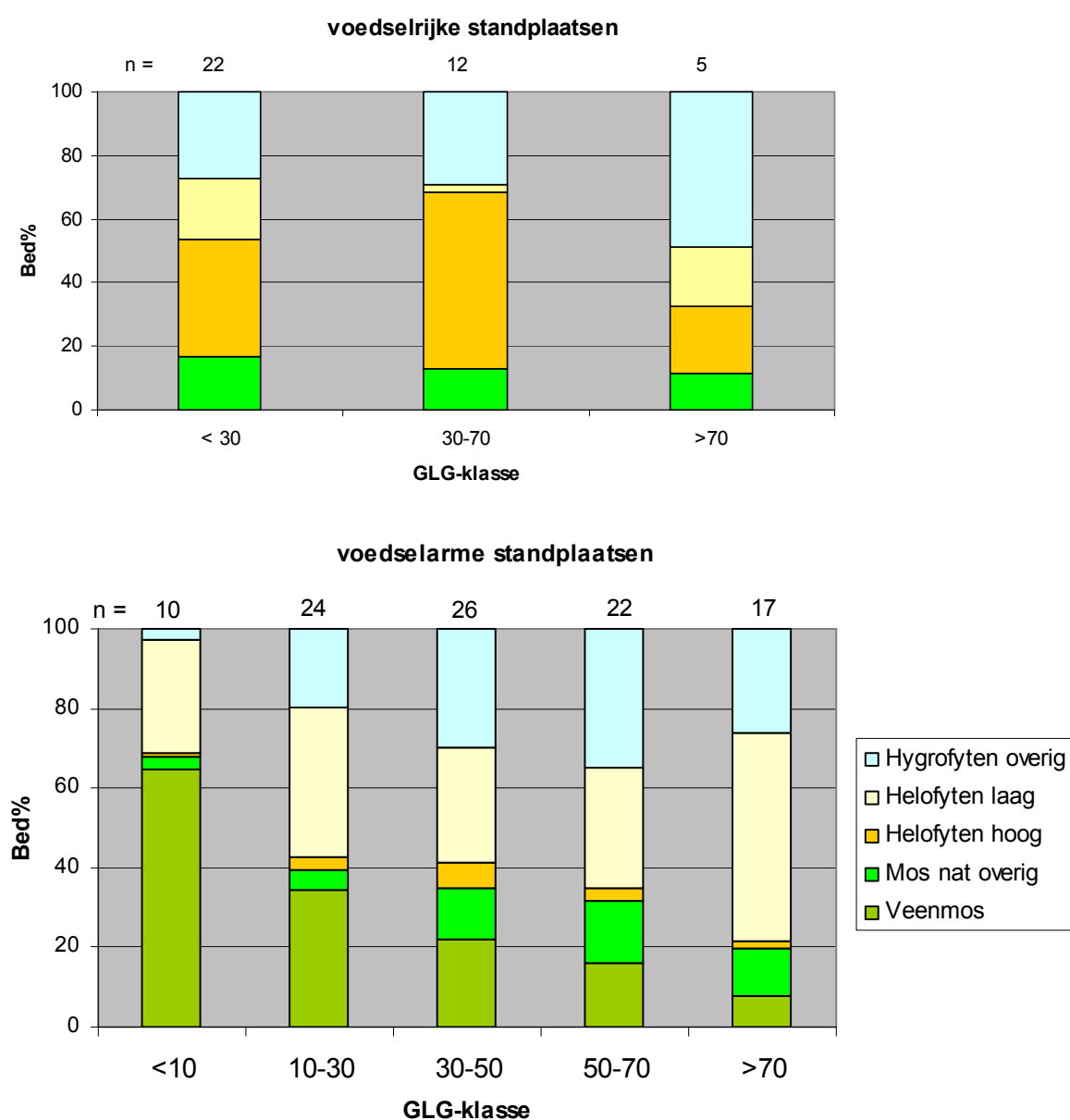
In Tabel 6-2 wordt het aandeel verklaarde variantie weergegeven wanneer binnen de groep van hygroyten als geheel wordt gekeken naar het relatieve aandeel van helofyten, verdrogingsgevoelige mossen en overige hygroyten. Daaruit blijkt dat het aandeel mossen negatief is gerelateerd aan de GVG en de GLG. Omdat het aandeel mossen sterk wordt bepaald door de voedselrijkdom (in hoogproductieve vegetaties komen relatief weinig mossen voor vanwege lichtconcurrentie met vaatplanten) is de analyse ook uitgevoerd voor alleen voedselarme opnamen (aandeel voedselminnende soorten in totale bedekking minder dan 50%, uitgaande van indeling in ecologische groepen volgens Runhaar et al 2004 en Dirkse & Kruijsen 1993). Dan blijkt dat het aandeel verdrogingsgevoelige mossen veel sterker gerelateerd is aan met name de GLG. Het bedekkingsaandeel helofyten is niet of nauwelijks gerelateerd aan de grondwaterstanden of de inundatieduur. Het aandeel overige hygroyten vertoont ten opzichte van het aandeel verdrogingsgevoelige mossen een spiegelbeeldige reactie: waar het aandeel mossen positief is gerelateerd aan de inundatieduur en negatief aan de grondwaterstanden, is het aandeel overige hygroyten negatief gecorreleerd aan de inundatieduur en positief aan de grondwaterstanden. In de voedselrijke opnamen (n=39) is het bedekkingsaandeel van geen van de groepen gerelateerd aan de hydrologische variabelen.

Tabel 6-2 Percentage verklaarde variantie in relatieve bedekkingsaandeel functionele soortengroepen binnen de groep van hydrofyten + hygroyten als functie van de Inundatieduur, GVG en GLG op basis lineaire regressie. Het plus- of minteken geeft aan of het om een positief of negatief verband gaat. Een streepje geeft aan dat er geen significant verband is ($p < 0,05$)

selectie opnamen aantal opnamen verklarende variabele	voedselarm + voedselrijk			voedselarm		
	138			99		
	Inund.	GVG	GLG	Inund.	GVG	GLG
mossen	-	-	-7	+4	-3	-14
helofyten	-	-	-	-	-	-
hygroyten overig	-7	+6	+6	-8	+8	+5

In Figuur 6-3 is de verdeling van de functionele groepen per GLG-klasse aangegeven, uitgesplitst naar voedselarme en voedselrijke opnamen. Daarbij is binnen de helofyten nog onderscheid gemaakt tussen hoge en lage helofyten (maximale hoogte meer of minder dan 75 cm). Te zien is hoe in de voedselarme opnamen het aandeel mossen binnen de hygropyten afneemt en het aandeel overige hygropyten toeneemt bij diepere GLG's. Het aandeel helofyten reageert nauwelijks op de GLG. Wel is er een relatie tussen de hoogte van de helofyten en de voedselrijkdom: op de voedselrijke standplaatsen overheersen hoge helofyten, op de voedselarme standplaatsen lage helofyten. Bovendien is het aandeel helofyten op voedselrijke standplaatsen duidelijk hoger dan op voedselarme standplaatsen.

Bij de verdeling van functionele plantengroepen op voedselrijke standplaatsen moet wel de kanttekening worden gemaakt dat het aantal opnamen gering is, vooral het aantal opnamen met een diepe GLG, en dat de verdeling van opnamen over verschillende milieus zeer onevenwichtig is. De voedselrijke natte standplaatsen met een ondiepe GLG bestaan vooral uit (gemaaide) dotterbloemhooilanden, veldrushooilanden en grote-zeggenvegetaties op veen en zand in beekdalen, terwijl de voedselrijke natte standplaatsen met een wat diepere GLG voornamelijk voorkomen op klei in het rivierengebied en langs de kust, en bestaan uit beweide grasland.



Figuur 6-3 Relatieve bedekkingsaandeel functionele groepen binnen hygropyten per GLG-klasse, op resp. voedselrijke standplaatsen (boven) en voedselarme standplaatsen (onder).

Relatie afzonderlijke plantensoorten met GLG

In Tabel 6-3 staat aangegeven welke plantensoorten significant vaker of minder vaak voorkomen op natte standplaatsen met een 'diep' wegzakkende grondwaterstand, d.w.z. met een GLG van meer dan 50 cm onder maaiveld. De analyse heeft zich beperkt tot natte, voedselarme standplaatsen (GVG $\leq$ 25 cm - mv., bedekkingsaandeel voedselarme soorten $> 50\%$). Het weglaten van voedselrijke standplaatsen is gebeurd vanwege de hierboven genoemde oververtegenwoordiging bij ondiepe GLG's van gehooide standplaatsen in de beekdalen. Worden voedselrijke standplaatsen meegenomen dan komen vrijwel alle hooilandsoorten (ook bijvoorbeeld een weinig vochtminnende soort als Veldzuring, *Rumex acetosa*) significant vaker voor bij een ondiepe GLG. Dit is weliswaar een logische relatie (goed ontwikkelde hooilanden liggen vooral in de beekdalen op slecht ontwaterde plekken), maar zegt weinig over de tolerantie van plantensoorten voor al dan niet diep wegzakkende grondwaterstanden.

Tabel 6-3 Overzicht plantensoorten die op natte voedselarme standplaatsen significant vaker of minder vaak voorkomen bij diepe GLG (>50 cm).

Soort	GLG < 50 n=83	GLG > 50 n=61	p*
Bij ondiepe GLG			
260 <i>Carex rostrata</i>	21	0	***
418 <i>Drosera rotundifolia</i>	21	2	***
476 <i>Eriophorum angustifolium</i>	42	12	***
913 <i>Oxycoccus palustris</i>	16	0	***
346 <i>Potentilla palustris</i>	16	4	*
1068 <i>Rhynchospora alba</i>	9	1	*
1137 <i>Sanguisorba officinalis</i>	6	0	*
3004 <i>Sphagnum cuspidatum</i>	15	3	*
3239 <i>Sphagnum recurvum</i>	17	1	***
Bij diepe GLG			
1545 <i>Agrostis vinealis</i>	0	5	**
174 <i>Calamagrostis epigejos</i>	3	9	**
2620 <i>Calliergonella cuspidata</i>	16	23	*
215 <i>Carex arenaria</i>	0	3	*
232 <i>Carex flacca</i>	2	11	***
244 <i>Carex nigra</i>	25	28	*
1616 <i>Dactylorhiza maculata</i>	3	9	*
1199 <i>Danthonia decumbens</i>	12	17	*
461 <i>Epipactis palustris</i>	3	9	*
466 <i>Equisetum palustre</i>	5	11	*
2316 <i>Euphrasia stricta</i>	0	4	**
514 <i>Festuca arundinacea</i>	0	3	*
556 <i>Galium uliginosum</i>	2	8	*
629 <i>Hippophae rhamnoides</i>	0	3	*
673 <i>Juncus articulatus</i>	8	17	***
849 <i>Myrica gale</i>	2	11	***
958 <i>Poa pratensis</i>	0	3	*
1008 <i>Potentilla erecta</i>	22	30	**
1017 <i>Prunella vulgaris</i>	4	12	**
1037 <i>Quercus robur</i>	4	9	*
1089 <i>Rubus caesius</i>	0	5	**
1124 <i>Salix repens</i>	10	20	***

* overschrijdingskans volgens Chi²-verdeling: * < 5%, ** < 1%, *** < 0,5%

Zoals te zien in Tabel 6-3 is het aantal soorten dat significant vaker voorkomt op permanent natte standplaatsen beperkt. Het gaat vooral om soorten van verlandende vennen, trilveen en beginnend

hoogveen. Een uitzondering vormt *Sanguisorba officinalis*, een hooilandsoort die vooral voorkomt aan de rand van de rivierdalen (IJssel, Maas).

Er zijn relatief veel soorten die vooral voorkomen op periodiek natte standplaatsen met in de zomer relatief ver wegzakkende grondwaterstanden. In deze groep zit onder meer een aantal duinvalleisoorten (*Carex flacca*, *Epipactis palustris*, *Salix repens*), en een aantal soorten van vochtige heischrale graslanden (*Dactylorhiza maculata*, *Potentilla erecta*).

6.4 Discussie

De hypothese was dat permanent natte standplaatsen relatief veel helofyten en verdrogingsgevoelige mossen voorkomen. De eerste groep omdat ze door de aanwezigheid van luchtweefsels geen last hebben van langdurig anaerobe omstandigheden. De tweede groep omdat ze niet wortelen en daardoor geen last hebben van anaerobe bodems, maar wel extra gevoelig zijn voor uitdroging.

Op basis van de gegevens kan worden geconcludeerd dat verdrogingsgevoelige mossen inderdaad significant meer voorkomen op permanent natte standplaatsen. Het zijn vooral de veenmosses die duidelijk negatief gecorreleerd zijn aan de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Daarentegen kon er geen verband worden aangetoond tussen het aandeel helofyten in de vegetatie en de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Dat is niet in overeenstemming met de hypothese dat op permanent natte standplaatsen soorten met luchtweefsels een belangrijk concurrentievoordeel zouden hebben ten opzichte van soorten zonder luchtweefsels. De soorten met luchtweefsels wijken qua grondwaterstandverdeling niet af van de groep hygroyten als geheel. Het voorkomen van soorten met luchtweefsels lijkt vooral samen te hangen met de hoogste grondwaterstanden. Tot hoe diep de grondwaterstanden in de zomer weg zakken lijkt minder uit te maken. Wel is er een verschil in de hoogte van de voorjaarsgrondwaterstand: waar de groep van hygroyten als geheel domineert bij voorjaarsgrondwaterstanden van minder dan 25 cm onder maaiveld (Figuur 2-1), komen helofyten en verdrogingsgevoelige mossen vooral voor bij voorjaarsgrondwaterstanden dicht bij of boven maaiveld (Figuur 6-2).

Wanneer niet wordt gekeken naar functionele soortengroepen maar naar individuele soorten dan blijkt een beperkt aantal soorten significant vaker voor te komen op plekken met een diepe dan wel ondiepe GLG. De interpretatie van de gegevens blijkt echter lastig, omdat het voorkomen van soorten bepaald wordt door veel meer factoren dan alleen de vochttoestand, en in de dataset factoren die bepalend zijn voor de plantengroei vaak sterk onderling gecorreleerd zijn. Zo is er in de dataset binnen de voedselrijkere standplaatsen een sterke koppeling tussen landgebruik, vochttoestand en bodem, waarbij hooilanden relatief veel voorkomen op permanent natte plekken op veen en zand in de beekdalen, en weilanden relatief veel voorkomen op klei en zavel in het kustgebied op plekken waar de grondwaterstanden diep wegzakken. Dit was een reden om de analyse op soortniveau in te perken tot voedselarme standplaatsen. Echter ook dan blijft onduidelijk of een voorkeur voor diepe of ondiepe GLG's berust op directe oorzakelijke verbanden of berust op de relatie met andere factoren die aan de GLG gecorreleerd zijn. Bij *Sanguisorba officinalis* lijkt de voorkeur voor een ondiepe GLG vooral een gevolg te zijn van een niet-representatieve bemonstering. Deze soort komt op basenrijke zavel- en leemgronden ook voor buiten het bereik van het grondwater, maar is in het opnamenbestand alleen vertegenwoordigd in blauwgraslandopnamen uit noordwest-Overijssel (Veerslootlanden, Stadsgaten van Hasselt en Leusener Maan). Maar gezien het grote aantal soorten dat is bemonsterd, en het beperkte aantal opnamen, zal ongetwijfeld ook bij andere soorten de bemonstering lang niet altijd representatief zijn voor de standplaatsen waar de soort voorkomt.

Voor zover het gaat om mosrijke vegetaties als trilvenen, veenmosrietlanden en levend hoogveen vormen de resultaten een onderbouwing van de GLG-eisen die nu in Ecologische Vereisten worden gesteld bij dit type vegetaties. Bij grote-zeggenvegetaties en dotterbloemhooilanden doet het echter de vraag rijzen of de GLG inderdaad wel relevant is in deze systemen, en zo ja via welke mechanismen: de veronderstelling dat permanent natte omstandigheden leiden tot relatief hoge aandelen van helofyten in deze vegetaties lijkt niet te kloppen. Daarbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat het aantal opnamen van voedselrijke standplaatsen beperkt is, en dat er binnen de dataset een sterke koppeling bestaat tussen bodemtype, vegetatiebeheer en hydrologie (hooilanden op zand en veen in beekdalen

versus weilanden op zavel en klei in het kustgebied). Door het geringe aantal opnamen van standplaatsen met voedselminnende vegetaties (zoals grote-zeggenvegetaties en dotterbloemhooilanden) niet mogelijk om te corrigeren voor de invloed van andere factoren dan de hydrologie. Een beperking is verder dat in deze studie alleen is gekeken naar de relatie met de grondwaterstanden, en dat geen rechtstreekse relatie is gelegd met de meer operationele factor zuurstofstress.

6.5 Conclusies

De hypothese dat op permanent natte standplaatsen met een ondiepe GLG soorten met zuurstofweefsels en verdrogingsgevoelige mossen domineren kan slechts ten dele worden bevestigd. Op voedselarme natte standplaatsen met korte vegetaties is het aandeel verdrogingsgevoelige mossen inderdaad significant groter bij een ondiepe GLG. Op voedselrijke standplaatsen gaat dit verband niet op, omdat het aandeel mossen hier beperkt wordt door lichtconcurrentie met hoogopgaande planten.

Op basis van de gebruikte dataset kan binnen natte standplaatsen geen verband worden aangetoond tussen de diepte tot waarop de grondwaterstand wegzakt en het aandeel van soorten met luchtweefsels. De veronderstelling was dat op permanent natte standplaatsen deze soorten minder concurrentie zouden ondervinden van andere planten en daardoor een hogere bedekking zouden halen. Deze veronderstelling wordt niet bevestigd door de onderzoeksgegevens.

7 Discussie

Relaties tussen grondwaterstanden, standplaatscondities en vegetatiesamenstelling

Uit de in deze studie gepresenteerde gegevens blijkt dat de grondwaterstand een grote invloed heeft op voor de plantengroei relevante standplaats eigenschappen als vochtvoorziening, zuurstofvoorziening en voedselvoorziening, en indirect via grondwateraanvoer ook gerelateerd is aan de zuurbuffering van de standplaats. De relaties met standplaatscondities en vegetatie zijn echter vrijwel altijd indirect en afhankelijk van andere factoren zoals bodemeigenschappen en klimaat.

Waar het gaat om de relatie tussen hoogste grondwaterstanden, zuurstofvoorziening en het voorkomen van aan natte omstandigheden aangepaste soorten (hygrofyten) blijken de relaties zodanig direct dat het in de praktijk weinig uitmaakt of de hoogste grondwaterstanden (GHG, GVG) dan wel de zuurstofstress wordt gebruikt als verklarende variabele. Daarbij moet dan wel direct de kanttekening worden gemaakt dat de relatie met de hoogste grondwaterstanden alleen van toepassing is in binnendijkse gebieden met een seizoensmatig grondwaterverloop. Ook zijn de relatie met de hoogste grondwaterstanden alleen geldig binnen het huidige klimaat. Naar verwachting zal in een gewijzigd klimaat het groeiseizoen eerder beginnen en zullen in de zomer vaker perioden met zuurstoftekort optreden door een combinatie van hevige regenval en hoge temperaturen. De nu in de ecologische normstelling gebruikte relatie met gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden zal in die situatie niet langer bruikbaar zijn. Daarom kan in voorspellingsmodellen het beste worden uitgegaan van de zuurstofstress als bepalende maat.

De relatie tussen grondwaterstand, vochtvoorziening en vegetatiesamenstelling is minder direct. Het voorkomen van aan vochtige dan wel droge omstandigheden aangepaste soorten (mesofyten en xerofyten) blijkt goed verklaard te kunnen worden uit de potentiële droogtestress op een standplaats. Deze potentiële droogtestress is echter maar zeer ten dele afhankelijk van de grondwaterstand, en wordt ook sterk bepaald door de bodemtextuur en het neerslagoverschot. Op gronden met gunstige vochtleverende eigenschappen is het neerslagoverschot vaak voldoende om de vegetatie van vocht te voorzien en bestaat er geen enkele relatie met de grondwaterstand. Relaties met de grondwaterstand kunnen daarom alleen worden aangegeven in afhankelijkheid van het bodemtype en het neerslagoverschot.

De grondwaterstand is via de zuurstofbeschikbaarheid en de redoxpotentiaal ook van invloed op de afbraak van organisch materiaal, de stikstofmineralisatie en de beschikbaarheid van fosfaat, en daarmee op de voedselrijkdom en de potentiële productiviteit van een standplaats. De invloed van de grondwaterstand op de voedselbeschikbaarheid is afhankelijk van een groot aantal andere factoren, zoals hoeveelheid en aard organische stof, de zuurgraad en de aanwezigheid van nitraat, ijzer en fosfaat en sulfaat, de zuurgraad. Het is daarom moeilijk om algemeen geldende relaties op te stellen tussen enerzijds de grondwaterstand en anderzijds de voedselrijkdom van de standplaats en de soortensamenstelling van de vegetatie.

De grondwaterstand is ook gerelateerd aan de zuurgraad van de standplaats. Enerzijds doordat grondwaterstanden van invloed zijn op de zuurstofbeschikbaarheid en de redoxpotentiaal, en doordat bij reducerende en oxiderende processen protonen worden gebruikt dan wel geproduceerd. Anderzijds doordat de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken gerelateerd zijn aan de mate van zuurbuffering door aanvoer van grondwater, dan wel (bij trilveen) van oppervlaktewater. Ook hier gaat het echter om indirecte relaties, die afhankelijk van bodemopbouw, geochemie en hydrologie van plek tot plek sterk kunnen verschillen en dus niet geschikt zijn voor algemene landelijke normstelling.

Toepassing in effectvoorspelling en normstelling

In de ecohydrologie en in de vegetatiekunde is het gebruikelijk een directe relatie te leggen tussen grondwaterstanden en vegetatie, in de vorm van duurlijnen, regimecurves, of een koppeling aan GxG-waarden (GHG, GVG en GLG). Een belangrijk bezwaar tegen deze benadering is dat de relaties tussen grondwaterstanden, standplaatscondities en vegetatiesamenstelling over het algemeen afhankelijk zijn van andere factoren, en dat het geldigheidsbereik van deze empirische afgeleide relaties daardoor

beperkt is. Ze kunnen in principe alleen worden gebruikt voor normstelling en voorspelling in situaties die in alle voor de relatie tussen grondwaterstanden en standplaatscondities relevante eigenschappen (zoals bodemtype, neerslagoverschot, peilbeheer, geohydrologie) vergelijkbaar zijn met de meetpunten die zijn gebruikt voor de afleiding van de relaties. Anders is het risico groot dat onjuiste voorspellingen worden gedaan of onjuiste eisen worden gesteld op basis van niet-oorzakelijke relaties.

De algemene toepasbaarheid van neemt toe wanneer de vereisten van soorten en vegetaties niet worden geformuleerd in termen van conditionerende factoren als grondwaterstanden of bodemtype, maar in termen van direct op de plantengroei inwerkende factoren als vochtleverantie, zuurstofleverantie, zuurgraad en voedselbeschikbaarheid. Vervolgens kan afhankelijk van gebiedseigenschappen zoals bodemtype, neerslagoverschot en peilbeheer worden bepaald hoe deze operationele factoren samenhangen met de grondwaterstand.

In de indeling naar ecologische vereisten van habitattypen (Runhaar et al. 2009a en b) wordt deels via deze benadering gewerkt. Zo wordt de vochtleverantie gebruikt als de verklarende variabele voor het voorkomen van vegetaties die kenmerkend zijn voor respectievelijk vochtige en droge standplaatsen. Op basis van uit SWAP-berekeningen afgeleide functies wordt vervolgens afhankelijk van de bodemtextuur en het neerslagoverschot een relatie gelegd met de grondwaterstand. Op die manier kan er rekening mee worden gehouden dat de relatie via de vochtvoorziening sterk afhankelijk is van de bodemtextuur.

Een beperking van een causaal-analytische benadering via operationele standplaatscondities is dat het niet altijd bekend via welke processen de grondwaterstand van invloed is op de vegetatiesamenstelling. Door volledig uit te gaan van bekende causale relaties bestaat het risico dat voor de plantengroei relevante vereisten worden genegeerd. Daarom zijn in de Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden in een aantal gevallen ook directe eisen aan de laagste grondwaterstanden gesteld, op basis van de waarneming dat deze vegetaties in goed ontwikkelde vorm voornamelijk of alleen voorkomen op plekken met ondiep wegzakkende grondwaterstanden.

In hoeverre deze eisen in alle gevallen terecht zijn, is de vraag. Het onderzoek naar de relatie tussen het aandeel functionele plantengroepen en de laagste grondwaterstanden roept meer vragen op dan dat ze beantwoordt. Binnen natte standplaatsen, d.w.z. standplaatsen met hoogste grondwaterstanden aan of boven maaiveld, kon bijvoorbeeld geen relatie worden gevonden tussen het aandeel soorten met luchtweefsel en de laagste grondwaterstanden. Dat roept de vraag op of vegetaties gedomineerd door soorten met luchtweefsel, zoals grote-zeggenvegetaties, wel zo strikt gebonden zijn aan permanent natte standplaatsen met een ondiepe GLG. Het is te vroeg om op basis van deze resultaten te besluiten geen eisen meer te stellen aan de laagste grondwaterstanden in dergelijke vegetaties. In deze studie is slechts één mogelijke hypothese onderzocht, en er zijn nog vele andere mogelijke mechanismen via welke de laagste grondwaterstanden van invloed zouden kunnen zijn op de standplaatscondities en plantengroei. Het geeft echter wel aan dat nog eens kritisch moet worden nagegaan of de relatie met de laagste grondwaterstanden in wat nu is aangeduid als 'permanent natte potentieel veenvormende systemen' wel altijd zo eenduidig is als aangenomen, en dat waar dat wel het geval blijkt te zijn, gezocht moet worden naar alternatieve verklaringen.

Relatie met grondwaterstanden in grondwatergebufferde systemen

Aanleiding voor deze studie vormde de opmerking van terreinbeheerders dat naar hun inschatting laagste grondwaterstanden in de praktijk kritischer zijn dan de hoogste grondwaterstanden. Daarom is onderzocht of het mogelijk is om in meer gevallen eisen te stellen aan de laagste grondwaterstand. In de Ecologische Vereisten Natura-2000 gebieden worden nu directe eisen gesteld aan de laagste grondwaterstanden in natte, potentieel veenvormende systemen (zie voorgaande paragraaf). Daarnaast worden in vegetaties die afhankelijk zijn van vochtige of droge omstandigheden eisen gesteld aan de laagste grondwaterstanden, die echter afhankelijk zijn van de bodemtextuur en het neerslagoverschot. Onderzocht is of het zinnig en mogelijk is om ook bij andere groepen van vegetaties directe eisen te stellen aan de laagste grondwaterstanden. Een groep van vegetaties die daarvoor in aanmerking komt, bestaat uit vegetaties die voor hun buffering afhankelijk zijn van aanvoer van basenrijk grondwater, of in het geval van trilvenen en veenmosrietlanden, van zijdelings indringend oppervlaktewater.

Uit het onderzoek blijkt dat er op kalkloze standplaatsen inderdaad een verband bestaat tussen de mate van buffering en de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Het verband is echter niet zo duidelijk dat hieruit direct relaties kunnen worden afgeleid die bruikbaar zijn in de normstelling. De overlap in laagste grondwaterstanden tussen wel en niet gebufferde standplaatsen is groot. Dat hangt samen met het feit dat de diepte tot waarop de grondwaterstand wegzakt beïnvloed wordt door veel meer factoren dan alleen de aanvoer van grond- en oppervlaktewater. Door Aggenbach et al. (1998a) wordt in de bepaling van de gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van pleistoceen Nederland onderscheid gemaakt tussen veengronden en zandgronden. Het bodemtype is echter niet de enige factor die bepalend is voor de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Het oppervlaktewaterpeil en de mate van ontwatering vormen minstens zo belangrijke factoren. Ook het type buffering is van belang: in trilvenen die voor hun buffering afhankelijk zijn van basenrijk oppervlaktewater onder een drijvende kragge zullen kritische laagste grondwaterstanden veel ondieper liggen dan in grondwatergebufferde systemen.

Het grote aantal factoren dat van invloed is op de relatie tussen grondwaterstanden en buffering van de standplaats door grond- en oppervlaktewater, doet de vraag rijzen of het wel zinnig en mogelijk is om bij vegetaties die voor hun zuurbuffering afhankelijk zijn van grond- of oppervlaktewateraanvoer harde eisen aan de laagste grondwaterstand te formuleren. Een alternatief is om verder te gaan op de weg die nu bij de bepaling van de ecologische vereisten van habitattypen is ingeslagen. Daarin wordt bij vegetatietypen, die voor zuurgraadbuffering mogelijk afhankelijk zijn aanvoer van basenrijk grond- en oppervlaktewater, aangegeven in welke landschapstypen en op welke bodemtypen afhankelijkheid bestaat van oppervlaktewater of grondwater, en hoe deze afhankelijkheidsrelaties er uit zien (Runhaar et al. 2009a, 2009b). Deze benadering doet meer recht aan het feit dat niet de grondwaterstanden zelf, maar de buffering door grond- of oppervlaktewater de kritische factor vormen voor dit type vegetaties. Dit zou op termijn kunnen worden aangevuld met kennissystemen waarmee op basis van eenvoudig meetbare grootheden (bodemtype, afstand tot drainagemiddelen, grondwater en oppervlaktewaterpeilen, kwelflux over de scheidende laag) schattingen kunnen worden gemaakt van de doordringing van grond- en oppervlaktewater tot in de wortelzone. Dan kan afhankelijk van de vereiste zuurgraad worden bepaald welke eisen dienen te worden gesteld aan grondwaterstanden, oppervlaktewaterpeilen en stijghoogten om zuurbuffering door grond- en oppervlaktewater mogelijk te maken.

Er zijn echter ondanks de genoemde methodische bezwaren pragmatische argumenten om toch directe eisen te stellen aan de laagste grondwaterstanden. Belangrijkste argument is dat anders het risico groot is dat voorbij wordt gegaan aan de eisen die vegetaties stellen aan de buffering door grondwater. De ervaring met het Waternood-Instrumentarium leert dat dit een reëel risico is. Weliswaar wordt in Waternood aangegeven welke vegetatietypen onder welke omstandigheden afhankelijk zijn van kwel, en wordt in de beoordeling niet alleen rekening gehouden met de GVG, GLG en vochtvoorziening maar ook met kwelflux. Desondanks worden de eisen aan de kwelflux vaak genegeerd, omdat er geen eenduidige harde grenswaarden worden opgegeven en de kwelinvloed vaak lastig is te bepalen. Knelpunten zijn dat (a) ecologische kennis vereist is om basis van informatie over ecologische vereisten in combinatie met gebiedskennis te kunnen bepalen welke typen wel of niet afhankelijk zijn van welk type kwel, en (b) het met de hydrologische modellen die worden gebruikt vaak niet mogelijk om met voldoende nauwkeurigheid te bepalen in welke mate grondwater kan doordringen in de wortelzone.

Het negeren van eisen aan de grondwateraanvoer is een probleem, omdat in de praktijk niet de te lage grondwaterstanden, maar het wegvallen van kwel het grootste knelpunt vormt bij het behoud van waardevolle grondwaterafhankelijke vegetaties. Dit wordt recentelijk nog eens aangetoond door de resultaten uit het Brabantse 'Beleidsmeetnet Verdroging', die laten zien dat verdrogingsproblemen vooral samenhangen met het wegvallen van kwel dan wel de verontreiniging van het aangevoerde grondwater (Runhaar et al. 2009c). Een mogelijke oplossing om het negeren van vereisten ten aanzien van kwel tegen te gaan, is om strenge eisen te stellen aan de laagste grondwaterstanden (d.w.z. eisen die vrijwel zeker alleen gehaald kunnen worden in situaties met substantiële aanvoer van grond- of oppervlaktewater), maar daarbij tevens aan te geven dat het gaat om indicatieve waarden waarvan kan worden afgeweken wanneer uit eigen onderzoek blijkt dat in het betreffende gebied zuurbuffering ook

kan optreden bij diepere GLG-waarden. Dit dwingt de gebruikers om aandacht te besteden aan de aanvoer van grondwater. Wetenschappelijk gezien is dit geen fraaie oplossing, maar wel een oplossing die gebruikers dwingt na te denken over het belang van grondwateraanvoer. Op langere termijn is een betere oplossing om de hydrologische modellen zodanig te verbeteren dat wél onderscheid kan worden gemaakt tussen de hoeveelheid kwelwater die wordt afgevoerd naar de drainagemiddelen en de hoeveelheid kwel die –al dan niet via capillaire opstijging– de wortelzone kan bereiken. In combinatie met modellen/ vuistregels voor de interactie tussen hydrologie en bodembuffering is in dat geval een goede schatting te maken of er voldoende buffering optreedt om te voldoen aan de zuurgraadeisen van de beoogde vegetaties. In het kader van de ontwikkeling van de Waternood-Kansrijkdommodule is al een eerste aanzet gegeven voor de ontwikkeling van hulpmiddelen waarmee kan worden geschat welk deel van de kwelflux daadwerkelijk de wortelzone bereikt (De Haan et al. 2010 in prep.)

Grondwatereisen in veengronden

Veengronden vormen om meerdere redenen een probleemcategorie in de ecohydrologische effectvoorspelling en normstelling. Niet alleen is op veen relatief snel sprake van problemen met verdroging, verzuring en eutrofiering, maar bovendien ontbreken ook gegevens over bodemfysische eigenschappen die nodig zijn om deze effecten goed te kunnen voorspellen. Dat laatste speelt niet alleen bij de modellering van de zuurgraad en de voedselrijkdom, maar ook bij de modellering van de vochttoestand. Voor alle in Nederland voorkomende bodemtypen zijn door Jansen en Runhaar (2001) reprofuncties opgesteld waarmee de vochtleverantie kan worden geschat op basis van het bodemtype en de grondwaterstand, met uitzondering van de veengronden. Dat heeft te maken met de onmogelijkheid om in veengronden een aantal relevante bodemfysische parameters eenduidig vast te stellen: door het unieke karakter van veen veranderen de te meten eigenschappen gedurende de meting. Bovendien vertonen veengronden in fysische eigenschappen een zeer grote bandbreedte.

Een mogelijke oplossing voor dit hiaat is om schattingen voor de vochtleverantie direct af te leiden uit de kritische stijgafstand, dat wil zeggen de hoogte tot boven de grondwaterspiegel waarbij op basis van veldwaarnemingen via capillaire opstijging voldoende water kan worden aangevoerd voor de verdamping (1,5 à 2 mm/dag). Op basis van deze gegevens zijn mogelijk wel voor een aantal veentypen functies af te leiden waarmee op een vergelijkbare wijze als met de nu uit SWAP berekende reprofuncties de vochtleverantie kan worden afgeleid uit de GLG. Omdat de kritieke stijgafstanden in veen gering zijn (gemiddeld 30 à 40 cm, zie tabel 18.40 in Van Der Sluijs 1990) zullen de uit de vochteisen afgeleide GLG-eisen tamelijk ondiep liggen. Bij de op basis van de vochtleverantie bepaalde grondwaterstandranges zullen daarom naar verwachting ook de risico's van verzuring (door vorming regenwaterlenzen in laagveen) en vermesting (door afbraak van meso-eutroof veen) gering zijn. Voor de vegetatietypen die het meest kenmerkend zijn voor laagvenen en hoogvenen, zoals veenmosrietlanden en levend hoogveen, zal deze verandering geen effect hebben omdat hier nu al directe eisen worden gesteld aan de GLG, onafhankelijk van de vochtvoorziening. Bij vegetatietypen die behalve op zand en klei ook op (licht ontwaterd) veen kunnen voorkomen, zoals bijvoorbeeld blauwgraslanden, ligt dat echter anders. Hier worden nu op veengrond helemaal geen eisen gesteld aan de GLG.

Nog een andere mogelijke oplossing is om kritische GLG-grenzen in veengronden direct te baseren op empirische waarnemingen. Een probleem is daarbij de selectieve monsternamen van punten, doordat nu voornamelijk goed ontwikkelde soortenrijke vegetaties op veen zijn bemonsterd. Daardoor ontbreken monsterpunten waarin de grondwaterstand dieper wegzakt dan een halve meter vrijwel geheel. Deze selectieve monsternamen speelt niet alleen binnen het referentieproject van Staatsbosbeheer. Navraag bij de vakgroep Botanische Oecologie van UU leerde dat ook daar voornamelijk goed ontwikkelde situaties zijn bemonsterd (schrift. med. Boudewijn Beltman). Als we er van uitgaan dat de selectieve monsternamen systematisch van aard is, en dat bij lagere grondwaterstanden als gevolg van veraarding en verzuring alleen soortenarme rompvegetaties voorkomen, lijkt een GLG van een een halve meter onder maaiveld een aanneemelijke schatting van de kritieke ondergrens voor alle goed ontwikkelde vegetaties in peilbeheerste veengebieden.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Invloed grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatie

Een vraag die speelde aan het begin van dit onderzoek was welke grondwaterstanden het meest bepalend zijn voor de plantengroei en de soortensamenstelling van de vegetatie: de hoogste of de laagste grondwaterstanden. Dit is terugblikkend een vraag die niet in algemene zin is te beantwoorden omdat, zoals dit onderzoek aangeeft, de relatie met de grondwaterstand sterk afhankelijk is van de context. De grondwaterstand is slechts indirect van invloed op de standplaatscondities die voor het functioneren van planten relevant zijn, zoals zuurstofbeschikbaarheid, vochtleverantie, zuurgraad en voedselrijkdom. De doorwerking op de plantengroei is sterk afhankelijk van andere factoren als bodemtype, hydrologie en klimaat, en daarom context-afhankelijk.

Een vraag die wel is te beantwoorden is welke grondwaterstanden het meest direct van invloed zijn op standplaatscondities en soortensamenstelling. Dan kan worden geconcludeerd dat de relatie tussen hoogste grondwaterstanden en het voorkomen van hygroyten het meest direct is: bij grondwaterstanden rond maaiveld gedurende het groeiseizoen raakt de bodem waterverzadigd en neemt de zuurstofvoorziening sterk af, met als gevolg dat alleen aan zuurstoftekorten aangepaste soorten (hygroyten) kunnen voorkomen. Voor de voorspelling van het voorkomen van aan natte standplaatsen aangepaste soorten, hygroyten, blijkt het niet veel uit te maken of gebruik wordt gemaakt van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) of van de zuurstofstress als verklarende factor. De relatie met de GVG heeft echter slechts een beperkt geldigheidsbereik heeft. De relatie is alleen geldig voor binnendijkse standplaatsen met een seizoensmatig grondwaterstandverloop en alleen voor het huidige Nederlandse klimaat. Naar verwachting is de relatie met de zuurstofstress veel breder toepasbaar, ook in getijdengebieden en ook in andere klimaatsomstandigheden. Dat laatste is onder meer van belang bij de voorspelling van ecohydrologische effecten van klimaatsveranderingen, waarin de gebruikte relaties ‘climate-proof’ dienen te zijn.

Waar het gaat om de vochtleverantie is de relatie tussen aan vochtige en droge standplaatsen aangepaste soorten (mesofyten en xerofyten) en de grondwaterstand sterk afhankelijk van andere factoren. Daarom is het niet mogelijk is om het voorkomen van aan droge of vochtige standplaatsen aangepaste soorten te verklaren uit alleen de grondwaterstand. Door gebruik te maken van agrohydrologische kennis over de relatie tussen bodem, verdamping en grondwaterstand is het wel mogelijk om afhankelijk van het bodemtype, het neerslagoverschot en de grondwaterstand de vochtleverantie van een standplaats te voorspellen. Het voorkomen van aan droogte aangepaste soorten blijkt goed voorspeld te kunnen uit de potentiële droogtestress van een standplaats. De nu gebruikte relaties tussen vochtvoorziening en soortensamenstelling van de vegetatie zijn gebaseerd op een zeer beperkte dataset. Uitbreiding van het aantal meetplekken en validatie van gemodelleerde vochttekorten aan vochtmetingen zijn daarom zeer gewenst.

Zuurstofbeschikbaarheid en vochtbeschikbaarheid worden vaak samengenomen in één standplaatsfactor ‘vochttoestand’, die loopt van natte standplaatsen (met zuurstofstress als dominante factor) tot droog (met vochtstress als dominante factor). Dit is echter een versimpeling van de werkelijkheid, omdat zuurstofstress en vochtstress elkaar niet uitsluiten. Met name bij voorspelling van effecten van klimaatveranderingen is het van belang om met beide factoren afzonderlijk rekening te houden, omdat in de toekomst meer situaties kunnen ontstaan waarin zowel zuurstofstress als vochtstress optreden.

Bij de zuurgraad en de voedselrijkdom is de relatie met de grondwaterstanden zo indirect, en zijn er zoveel andere factoren die van invloed zijn op deze standplaatscondities, dat het bijzonder lastig is de zuurgraad en de voedselrijkdom te voorspellen als functie van de grondwaterstand.

8.2 Toepassing relaties met grondwaterstanden in normstelling en effectvoorspelling

Omdat de invloed van de grondwaterstanden op standplaatscondities en vegetatiesamenstelling zo sterk afhankelijk is van andere factoren, is het theoretisch het zuiverst om in de normstelling en effectvoorspelling een directe relatie te leggen met factoren die wél direct op de plantengroei inwerken, zoals vochtbeschikbaarheid, zuurstofbeschikbaarheid, zuurgraad en beschikbaarheid van nutriënten. Op basis van beschikbare proceskennis kan vervolgens worden aangegeven hoe deze standplaatscondities afhankelijk zijn van onder meer grondwateraanvoer en grondwaterstand.

Deze benadering is echter niet altijd mogelijk, bijvoorbeeld doordat kennis over onderliggende relaties ontbreekt. Vandaar dat bij de opstelling van de Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden soms ook op basis van empirische gegevens relaties worden gelegd met grondwaterstanden, zonder dat duidelijk is of er sprake is van een oorzakelijk verband. Dat is bijvoorbeeld het geval bij een groep van natte, potentieel veenvormende vegetatietypen die gebonden lijken te zijn aan permanent natte standplaatsen. Hier zijn op grond van empirische gegevens ondergrenzen gesteld aan de diepte tot waarop de grondwaterstanden mogen wegzakken.

Omdat in de betreffende vegetatietypen relatief veel soorten voorkomen met luchtweefsels (zeggenvegetaties en rietlanden bijvoorbeeld) was de veronderstelling dat op permanent natte standplaatsen het aandeel soorten met luchtweefsels groter zou zijn dan op periodiek natte standplaatsen. Dit blijkt echter niet het geval te zijn. Dat betekent dat nog eens kritisch bekeken moet worden of de betreffende typen wel alle zo strikt gebonden zijn aan permanente natte standplaatsen. Als dat zo is zullen nieuwe hypothesen moeten worden opgesteld over de mogelijke oorzaken voor de binding aan permanent natte standplaatsen.

Wel werd zoals verwacht een relatie gevonden tussen het aandeel verdrogingsgevoelige mossen en de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Dit vormt een onderbouwing voor het gebruik van GLG-eisen bij laagveen- en hoogveenvegetaties waarin mossen een belangrijk aandeel hebben (trilvenen, veenmosrietlanden, levend hoogveen).

Een alternatief voor de in Ecologische Vereisten Natura 2000-gebieden gevolgde causaal-analytische benadering, waarin zoveel mogelijk wordt uitgegaan van causale relaties tussen operationele standplaatsfactoren en functionele plantengroepen, is om volledig uit te gaan van empirisch vastgestelde relaties tussen gemeten grondwaterstanden en de vegetatiesamenstelling in de vorm van relaties met duurlijnen, regimecurves of GxG-waarden. Omdat de relatie tussen grondwaterstanden en vegetatiesamenstelling zo sterk afhankelijk is van andere conditionerende factoren zoals bodemopbouw, peilbeheer, klimaat en geohydrologie, is het geldigheidsbereik van dergelijke relaties echter beperkt. Dit geldt met name voor de laagste grondwaterstanden, waarvan de uitwerking op standplaatscondities en vegetatie van plek tot plek sterk kan verschillen.

8.3 Aanvullende eisen aan de laagste grondwaterstand

Bij basenminnende vegetaties die afhankelijk zijn van buffering door grondwateraanvoer is nagegaan of het zinvol is om eisen te stellen aan de laagste grondwaterstanden. Dit gebeurde mede naar aanleiding van de opmerking van de terreinbeheerders dat in de praktijk de laagste grondwaterstanden veel kritischer blijken te zijn dan de hoogste grondwaterstanden.

Het blijkt dat, mits onderscheid wordt gemaakt tussen veengronden en zandgronden, er op kalkloze bodems inderdaad een relatie bestaat tussen de zuurgraad en de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Het verschil is echter gering, en de overlap groot. Bovendien lijken ook andere factoren dan het bodemtype, zoals het peilbeheer, van invloed op de diepte tot waarop de grondwaterstanden wegzakken. Daarom lijkt er op dit moment onvoldoende basis te zijn om bij grondwatergebufferde systemen algemeen geldende GLG-eisen te stellen.

Een overweging om bij deze vegetaties toch indicatieve eisen te stellen aan de GLG, is dat bij normstelling en effectvoorspelling nu vaak alleen rekening wordt gehouden met grondwaterstandeisen.

Dit wordt in de hand gewerkt doordat de kennis over grondwateraanvoer en buffering door grondwateraanvoer vaak tekort schiet. Omdat in de praktijk meestal niet de te lage grondwaterstanden, maar het gebrek aan aanvoer van schoon basenrijk grondwater het grootste verdrogingsprobleem vormt, worden hierdoor bestaande problemen onvoldoende onderkend. Een mogelijke oplossing is om indicatieve eisen te stellen aan de GLG, met de vermelding dat hiervan mag worden afgeweken als er voldoende redenen zijn om aan te nemen dat in het gebied ook bij lagere GLG-waarden nog buffering kan optreden. Op die manier kan worden gestimuleerd dat aandacht wordt besteed aan de mate waarin standplaatsen worden gebufferd door kwel. Een verbetering van de grondwatermodellen, zodanig dat berekend kan worden welk deel van de kwel daadwerkelijk de wortelzone bereikt en kan bijdragen aan de buffering van de standplaatsen, kan op termijn een belangrijke oorzaak voor het genoemde probleem (het niet rekening houden met kwel) wegnemen.

Een aandachtspunt vormen de eisen aan de laagste grondwaterstanden in veengronden. Hier worden nu door gebrek aan proceskennis én gebrek aan empirische gegevens niet in alle gevallen eisen gesteld aan de laagste grondwaterstanden, terwijl juist hier te verwachten is dat de laagste grondwaterstanden via vochtvoorziening, zuurbuffering én voedselrijkdom van invloed zijn op de vegetatiesamenstelling. Voor peilbeheerste laagveengebieden en hoogveengebieden wijzen de gegevens er op dat goed ontwikkelde vegetaties alleen kunnen voorkomen bij grondwaterstanden die niet verder wegzakken dan circa een halve meter onder maaiveld. Deze diepte kan voorlopig als ondergrens voor alle vegetatietypen in laagveen- en hoogveengebieden worden gebruikt.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink, 2001. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in duinvalleien van het Waddendistrict. Deel 6. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink, A.J.M. Jansen & W. van Boschinga, 1998. De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van pleistoceen Nederland 1998. NOV-rapport 3.1. KIWA, Nieuwegein.
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink, 1998a. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in hoogvenen. Deel 4. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink & A.J.M. Jansen, 1998b. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Deel 5. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink, 1999. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in droge duinen. Deel 8. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., J. Grijpstra & M.H. Jalink, 2002. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in duinvalleien van het Renodunaal district. Deel 7. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., Grijpstra, J., Jalink, M.H., 2007: Indicatorsoorten 10: Uiterwaarden. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, LNV en Kiwa. Driebergen
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink, 2005. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in boezemlanden. Deel 9. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Centraal Bureau voor de Statistiek, 1997. BioBase 1997. Register biodiversiteit. CD-ROM Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- Asmuth, J.R. von., Maas, C., en Knotters, M., 2006. Handleiding Menyanthes, versie 1.6; Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom & R. Aerts, 2008a. The need of data harmonization to derive robust empirical relationships between soil conditions and vegetation. *Journal of Vegetation Science* 19: 799-808.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, 2008b. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes function by a process-based model. *Journal of Hydrology* 360: 147-165.
- Bartholomeus, R.P., 2010a. Moisture matters. Climate-proof and process-based relationships between water, oxygen and vegetation. Proefschrift V.U. Amsterdam.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, Van Bodegom P.M. & J.C. Van dam, 2010b. Nieuwe maat voor bodemvochtregime ook geschikt onder toekomstig klimaat. *H2O* 2010-3: 37-39.
- Bergh, J.P. van den, 1963. Enkele ervaringen met droogte- en vochtindicatoren bij verschillende vochttoestanden van de grond. Mededeling 17 van het I.B.S.
- Dam, J.C. van, J. Huygens, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Wageningen, Agricultural University. Department Water Resources. Report 71.

- Dam, J.C. van, 2000. Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Delft, S.P.J. van, P.W.F.M. Hommel en R.W. de Waal, 2006. Selectie van relevante grondwater-karakteristieken voor vegetatietypen tbv de SBB-catalogus: Methode-ontwikkeling a.d.h.v. drie vegetatieklassen. Rapport 1308, Alterra Wageningen.
- Delft, S.P.J. van, J. Runhaar, T. Hoogland en P.C. Jansen, 2002. Verdrogingskartering in natuurgebieden. Proefkartering Strijper Aa. Alterra-rapport 556-1. Alterra, Wageningen.
- Delft, S.P.J. van, J. Holtland, J. Runhaar, P. Mekking en P.C. Jansen, 2002. Verdrogingskartering in natuurgebieden. Proefkartering Beekvliet. Alterra-rapport 556-2. Alterra, Wageningen.
- Dirkse, G.M. & B.J.W.M. Kruijsen, 1993. Indeling in ecologische groepen van Nederlandse blad- en levermossen. *Gorteria* 19: 1-19.
- Jalink, M.H., 1993: Mogelijkheden en beperkingen bij het gebruik van indicatorsoorten. In: A.J.M. Jansen (red.): Van hydrologische ingreep naar ecologische effectvoorspelling. KIWA-mededeling nr. 122, KIWA N.V., Nieuwegein. p.57-70
- Jalink, M.H., 1996: Indicatorsoorten 3: Laagveenmoerassen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen
- Jalink, M.H., Jansen, A.J.M., 1995: Indicatorsoorten 2: Beekdalen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa. Driebergen
- Jansen, P.C. & R.H. Kemmers, 1980. Experimenteel verdampingsonderzoek aan de plantensoorten *Filipendula ulmaria* en *Centaurea pratensis*. Nota 128, ICW Wageningen.
- Jansen, P.C. & R.H. Kemmers, 1986. Experimenteel verdampingsonderzoek aan twee plantensoorten: moerasspirea en gewoon knoopkruid. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 25 (6): 403-411.
- Jansen, P.C., J. Runhaar, J.P.M. Witte & J.C. van Dam, 2000. Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem. Alterra-rapport 57. Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C. en J. Runhaar, 2001. Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype, Rapport 367, Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C., 2004. Kwel in beeld. Inventarisatie van kwelkwaliteit ten behoeve van het natuurgerichte landevaluatiesysteem NATLES. Rapport 904. Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C. en J. Runhaar, 2005. Toetsing van het verband tussen het aandeel xerofyten en de droogtestress onder verschillende omstandigheden. Rapport 1045. Alterra, Wageningen.
- Haan, M.W.A. de, 1992. De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke vegetatietypen. Het Junco-Molinion, *Violion caninae*, *Calluno-Genistion pilosae*, *Caricion curto-nigrae* en *caricion lasiocarpae*. Rapport SWE 92.030. Kiwa, Nieuwegein.
- Haan, M.W.A. de, 1992a. De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke vegetatietypen. *Littorelletea*, *Isoeto-Nanojuncetea*, *Oxycocco-Sphagnetetea* en *Scheichzerietetea*. Rapport SWE 92.015. Kiwa, Nieuwegein.
- Haan, M.W.A. de & J. Runhaar, 2010 (in prep). Waternood Kansrijkdommodule. Pilotstudie in Noord-Nederland en toepassing voor vervaardiging waterkansenkaarten voor natuur. KWR, Nieuwegein.
- Hendriks, R.F.A., 1992. Afbraak en mineralisatie van veen. Rapport 199. Staring Centrum, Wageningen.

Henszey, R.J., Pfeiffer K. & J.E. Keough, 2004. Linking surface- and groundwater levels to riparian grassland species along the Platte river in Central Nebraska, USA. *Wetlands* 24 (3): 665- 687.

Hommel, P.W.F.M., G.H.P. Arts, C.P. Beets, P.C. Schipper, A.J.P. Smolders en R.W. de Waal, 2007. Naar een landelijke referentiesysteem voor standplaatsbeschrijvingen van aquatische en grondwaterafhankelijke, terrestrische plantengemeenschappen. *Stratiotes* 35: 11-21.

Jansen, P.C. en J. Runhaar, 2001. Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype, Rapport 367, Alterra, Wageningen.

Kemmers, R.H., 1993. Ecohydrologie. Concepten en methoden van een interdisciplinair vakgebied. Technisch Document 8. Staring Centrum, Wageningen.

Kemmers, R.H., 1990. De stikstof- en fosforhuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water. The Utrecht Plant Ecology News Report. nr 10. Rijksuniversiteit Utrecht, Vakgroep Botanische oecologie en evolutiebiologie.

Kemmers, R.H., F.P. Sival en P.C. Jansen, 2003. Effecten van bevoeiing op de basentoestand en nutriëntenbeschikbaarheid van natte schraalgraslanden op klei- zand- en veengronden. Rapport 534. Alterra, Wageningen.

Lamers, L., F. Smolders, E. Brouwer & J. Roelofs, 1996. Sulfaatverrijkt water als inlaatwater? De rol van waterkwaliteit bij maatregelen tegen verdroging. *Landschap* 13(3): 169-180.

Lamers, L.P.M., G.E. Ten Dolle, S.T.G. van den Berg, S.P.J. van Delft & J.G.M. Roelofs, 2001. Differential responses of freshwater wetland soils to sulphate pollution. *Biogeochemistry*, 55(1): 87-102.

Lamers, L.P.M., F. Smolders & J. Roelofs, 1999. Hoe gevoelig is natte natuur voor grondwaterverontreiniging ? Op zoek naar sturende processen en factoren. *Landschap* 16(3): 179-189.

Loeb, R. en L.P.M. Lamers, 2003. The effects of river quality on the development of wet floodplain vegetations in the Netherlands. Proceedings ECOFLOOD conference 'Toward natural flood reduction strategies', Warsaw, 6-13 sept 2003.

Otten, W., 1984. Nader onderzoek naar de oxidatie van veen veengronden, literatuuroverzicht en metingen aan veenmonsters. Nota 1620. ICW, Wageningen.

Ponnamperuma, F.N., 1972. The chemistry of submerged soils *Advances in Agronomy* 24: 29-96.

Runhaar, J., 1989. Toetsing ecotopensysteem: Relatie tussen de vochtindicatie van de vegetatie en grondwaterstanden. *Landschap* 6: 129-146

Runhaar, J., J.P.M. Witte & P.H. Verburg, 1997. Ground-water level, moisture supply, and vegetation in The Netherlands. *Wetlands* 17: 528-538.

Runhaar, J., C.Maas, A.F.M. Meuleman & L.M.L. Zonneveld, 2000. Herstel van natte en vochtige ecosystemen. Handboek. Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging, rapport 9-2. RIZA, Lelystad.

Runhaar, J., G.W.W. Wamelink, S.M. Hennekens en J.C. Gehrels, 2003. Realisatie van natuurdoelen als functie van de hydrologie. *Landschap* 20(3): 143-153.

Runhaar, J., W. van Landuijt, C.L.G. Groen, E.J. Weeda en F. Verloove, 2004. Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria* 30(1): 12-26.

Runhaar, J. en S.M. Hennekens, okt. 2005. Hydrologische randvoorwaarden natuur Versie 2.1. Gebruikershandleiding bij applicatie Hydrologische Randvoorwaarden Natuur die wordt verspreid via de website www.synbiosys.alterra.nl/waternood/.

Runhaar, J., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte & S.M. Hennekens, 2009a. Ecologische vereisten habitattypen. Rapport KWR 09.018. KWR, Nieuwegein.

Runhaar, J., M.H. Jalink en M. Fellingier, 2009b. De ecologische eisen van Natura 2000. Vakblad Natuur, Bos, Landschap 6-4, pp 12-13.

Runhaar, J., I. Leunk en M.H. Jalink. 2009c. Evaluatie Beleidsmeetnet verdroging Noord-Brabant. Rapport 09.085. KWR, Nieuwegein.

Runhaar, J., Ertsen, A.C.D., Leunk, I. & A.W. Vonk, 2010. Evaluatie Beleidsmeetnet verdroging Noord-Brabant. H2O 43 (8): 50-53.

Sluijs, P. van der, 1990. Vochtlevering door de grond. Hoofdstuk 18 in Locher W.P. & H. de Bakker (eds), Bodemkunde van Nederland deel 1: Algemene bodemkunde. Malmberg, den Bosch, 2^e editie.

Smolders, A.J.P., E. Lucassen en J. G.M. Roelofs, 2003. Waterpeilregulatie in broekbossen: bron van aanhoudende zorg. H2O 24:17-19.

Westhoff, V. en A.J. den Held, 1969. Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen.

I Indeling plantensoorten in functionele groepen t.b.v. analyse vegetaties op permanent natte standplaatsen

In de analyse van het type hygropyten dat voorkomt op permanent natte standplaatsen (hoofdstuk 5) wordt onderscheid gemaakt naar:

<i>hydrophyten</i>	waterplanten
<i>amfifyten</i>	soorten die zowel in water als op land kunnen leven
<i>hygropyten</i>	soorten aangepast aan het leven onder natte (en daardoor ook vaak periodiek anaerobe) omstandigheden, onderverdeeld in: - 'helofyten' (soorten met luchtwoefsels) - (verdrogingsgevoelige) mossen - overige hygropyten

Voor de indeling in hygropyten is uitgegaan van de indeling in ecologische soortengroepen volgens Runhaar et al. (2004) en Dirksen en Kruijsen (1993). In deze indelingen wordt onderscheid gemaakt tussen obligate hygropyten (soorten alleen voorkomend op natte standplaatsen) en facultatieve hygropyten (soorten voorkomend op natte én standplaatsen). Anders dan bij de berekening van het aandeel hygropyten in de vegetatie (hoofdstuk 2) is geen onderscheid gemaakt tussen obligate en facultatieve hygropyten, en zijn alle soorten die tenminste voor 70% zijn ingedeeld bij groepen die kenmerkend zijn voor natte standplaatsen meegerekend als hygropyten. Daarbij is rekening gehouden met het aantal soortengroepen waarbij de soort is ingedeeld en de volgorde waarin de soortengroepen worden vermeld (bij de indeling door Runhaar et al. 2004 worden de groepen die betrekking hebben op standplaatsen waarin de soort het meest voorkomt als eerste gemeld). Er zijn een paar uitzonderingen gemaakt op bovenstaande regel:

- *Sphagnum tenellum*, *Campylium stellatum*, *Gymnocolea inflata*, *Kurzia pauciflora*, *Juncus gerardii* en *Carex panicea* zijn voor iets minder dan 70% ingedeeld bij soortengroepen kenmerkend voor natte standplaatsen maar zijn hier alsnog meegeteld als hygropyt;
- *Rorippa sylvestris*, *Epilobium tetragonum* en *Polytrichum longisetum* zijn voor meer dan 65% ingedeeld bij soortengroepen kenmerkend voor natte standplaatsen maar zijn hier niet meegeteld als hygropyt.

Binnen de hygropyten is onderscheid gemaakt tussen helofyten, verdrogingsgevoelige mossen en overige hygropyten. Tot de helofyten zijn plantensoorten gerekend die door middel van luchtwoefsels in staat zijn om zuurstof naar de plantenwortels te transporteren. Voor de indeling van soorten is gebruik gemaakt van gemeten planteigenschappen in combinatie met de taxonomische indeling. Voor de gemeten planteigenschappen is uitgegaan van gegevens over de porositeit van plantenwortels afkomstig uit de database met functionele eigenschappen van wetlandsoorten van de VU (Peter van Bodegom, ongepubliceerde gegevens). Daarbij is als criterium genomen een porositeit van de plantenwortels van meer dan 15%. Lang niet voor alle in de opnamen aanwezige plantensoorten zijn meetgegevens beschikbaar. Voor de overige soorten is een schatting gemaakt. De taxonomische indeling is daarbij een belangrijk uitgangspunt geweest omdat de aanwezigheid van luchtwoefsels sterk is gekoppeld aan bepaalde taxonomische groepen (zeggen, grassen, russen). In tabel B2.1 wordt een overzicht gegeven van de soorten die in deze studie als 'helofyten' zijn beschouwd. Ter vergelijking is in de tabel ook de groeivorm volgens het Botanisch Basisregister (CBS, 1997) aangegeven. In het Basisregister worden ook 'helofyten' onderscheiden, waarbij echter niet duidelijk is welke criteria zijn gebruikt voor de indeling. Onder helofyten zijn in het Basisregister ook soorten opgenomen die géén luchtwoefsels hebben. Voor de bepaling van maximale hoogte van helofyten is gebruik gemaakt van het Botanisch Basisregister.

In de tabellen B1.1 t/m B1.4 wordt aangegeven welke soorten zijn ingedeeld in de verschillende groepen.

Tabel B1.1 Hydrofyten (inclusief amfifyten) met het aantal keren dat de soorten voorkomen in het gebruikte opnamenbestand.

PlantNr	Naam	Nopn
184	Callitriche platycarpa	1
429	Echinodorus ranunculoides	1
644	Hypericum elodes	1
753	Littorella uniflora	2
866	Nymphaea alba	1
925	Lythrum portula	2
1000	Potamogeton polygonifolius	4
1241	Spirodela polyrhiza	1
1324	Utricularia minor	5
1350	Veronica catenata	1
2131	Draadwier	1
2490	Hydrocotyle ranunculoides	1

Tabel B1-2 Overzicht helofyten. zoals gedefinieerd in deze studie, met aanduiding van het aantal keren dat soort voorkomt in opnamenbestand en de indeling naar levensvorm en maximale hoogte plant (cm) volgens Botanisch Basisregister, en de porositeit van de wortels op basis van de wetlanddatabase van de VU.

Plantnr	Plantnaam	Nopn	Levensvorm*		HoogteMax	Porositeit
7	Acorus calamus	1	B		120	
28	Alisma plantago-aquatica	2	A	B	170	
1215	Berula erecta	1	B		60	
1156	Bolboschoenus maritimus	1	B	G	150	
2338	Caltha palustris	3	B	H	50	15.9
211	Carex acuta	28	B	H	150	16.3
212	Carex acutiformis	13	G	B	100	
213	Carex appropinquata	1	H		80	
214	Carex aquatilis	5	H	B	90	
217	Carex buxbaumii	1	G	B	70	
219	Carex curta	6	H		50	22.2
221	Carex diandra	1	H		70	
225	Carex disticha	23	H	B	100	
228	Carex echinata	16	H		30	
237	Carex elata	2	H	B	100	33.5
236	Carex hostiana	13	H	G	50	
239	Carex lasiocarpa	5	H	B	100	
244	Carex nigra	101	B	H	70	32.2
261	Carex oederi subsp. oederi	13	H		30	
1464	Carex oederi subsp. oederi	7				
220	Carex oederi subsp. oedocarpa	13	H		30	
248	Carex panicea	68	H	B	40	
249	Carex paniculata	3	H		100	
254	Carex pseudocyperus	4	H	B	100	
255	Carex pulicaris	7	H		25	
259	Carex riparia	3	B	H	120	15.6
260	Carex rostrata	31	B	H	60	31.1
266	Carex trinervis	18	H	B	30	
267	Carex vesicaria	2	H	B	100	
326	Cicuta virosa	1	B		120	
337	Cladium mariscus	1	H	B	180	
436	Eleocharis multicaulis	7	B	H	50	
437	Eleocharis palustris	13	B	G	60	
1914	Eleocharis palustris s.l.	1				
438	Eleocharis quinqueflora	7	H	B	25	
440	Eleocharis uniglumis	3	B	G	40	
463	Equisetum fluviatile	28	B		100	

Plantnr	Plantnaam	Nopn	Levensvorm*		HoogteMax	Porositeit
466	Equisetum palustre	33	G	B	60	
470	Equisetum trachyodon (x)	1	C		50	
471	Equisetum variegatum	1	G		40	
476	Eriophorum angustifolium	58	B	G	60	49.4
479	Eriophorum vaginatum	9	H		60	41.5
584	Glyceria fluitans	9	B	H	120	
585	Glyceria maxima	8	B		200	26.4
665	Iris pseudacorus	9	G	B	120	
670	Juncus acutiflorus	50	G	B	90	
1929	Juncus alpinoarticulatus	2	H		70	
682	Juncus alpinoarticulatus subsp. alpinoa	1	H		60	
672	Juncus alpinoarticulatus subsp. atricap	16	H		60	
673	Juncus articulatus	42	H	B	60	
2343	Juncus bulbosus	8	B	A	T	20
679	Juncus conglomeratus	66	H		100	
680	Juncus effusus	53	H		100	36.8
681	Juncus filiformis	3	H		50	
683	Juncus gerardii	11	G		50	
684	Juncus inflexus	1	H		100	52.9
685	Juncus maritimus	2	G		120	
688	Juncus subnodulosus	5	G	B	120	28.8
783	Lysimachia thyrsiflora	10	B		60	
785	Lythrum salicaria	38	G	B	120	23.9
821	Menyanthes trifoliata	11	B		30	
858	Narthecium ossifragum	16	H	B	30	19.0
869	Oenanthe fistulosa	1	H	B	70	21.7
929	Peucedanum palustre	26	H	B	150	
930	Phalaris arundinacea	9	H	B	200	30.8
933	Phragmites australis	78	H	B	300	49.8
346	Potentilla palustris	34	B	H	90	
1048	Ranunculus flammula	61	B	H	45	21.6
1058	Ranunculus sceleratus	1	T		70	16.2
1068	Rhynchospora alba	11	B		50	
1069	Rhynchospora fusca	8	H	B	30	
1099	Rumex hydrolapathum	6	B		150	21.5
1100	Rumex maritimus	1	T	H	50	18.9
1949	Schoenoplectus lacustris + tabern.	3				
1150	Schoenus nigricans	5	H	B	45	26.4
1160	Scirpus sylvaticus	4	G	B	90	
1216	Sium latifolium	1	B		120	19.8
1229	Sparganium erectum	3	B		100	
1310	Triglochin maritima	1	H	B	50	20.7
1311	Triglochin palustris	6	H	B	60	
1317	Typha angustifolia	2	B		300	
1557	Carex x fulva	1				
1561	Carex x timmiana	1				
1562	Cirsium x forsteri	1	H			

*) Levensvorm: A = hydrofyt B = helofyt C = kruidachtige chamaefyt G = Geofyt H = Hemi-cryptofyt

Tabel B1-3 Overzicht verdrogingsgevoelige mossen zoals gedefinieerd in deze studie, met aanduiding van het aantal keren dat soort voorkomt in opnamenbestand en het percentuele voorkomen in resp. natte en vochtige ecotootypen op basis van de indeling van Dirksen en Kruijsen(1993)

Soort	Nopn	nat	vocht
2512 Amblystegium riparium	5	93	6
2544 Aulacomnium palustre	20	89	11
2603 Bryum pseudotriquetrum	3	100	0
2618 Calliergon	3		
2619 Calliergon cordifolium	8	100	0
2623 Calliergon stramineum	4	100	0
2620 Calliergonella cuspidata	82	79	21
3321 Calypogeia fissa	9	75	25
2628 Campylium polygamum	4	100	0
2629 Campylium stellatum	1	68	32
3330 Cephalozia connivens	4	79	21
3332 Cephalozia macrostachya	1	100	0
3340 Chiloscypus polyanthos	1	100	0
3344 Cladopodiella fluitans	3	100	0
2673 Dicranum bonjeanii	1	100	0
2705 Drepanocladus fluitans	6	100	0
2709 Drepanocladus sendtneri	3	100	0
2732 Eurhynchium speciosum	1	100	0
3364 Gymnocolea inflata	4	68	32
3374 Kurzia pauciflora	5	68	32
3425 Odontoschisma sphagni	4	100	0
3429 Peltia	1		
3432 Peltia neesiana	1	80	20
2865 Philonotis caespitosa	1		
3143 Plagiomnium ellipticum	2	100	0
2890 Plagiothecium d. var. undulatum	4	71	29
2922 Polytrichum alpestre	1	100	0
3455 Riccardia chamedryfolia	2	76	24
2706 Scorpidium lycopodioides	1	100	0
2707 Scorpidium revolvens	1	86	14
2995 Sphagnum	3		
2997 Sphagnum auriculatum var. auriculatum	10	100	0
2998 Sphagnum auriculatum var. inundatum	2	100	0
3000 Sphagnum capillifolium	2	100	0
3004 Sphagnum cuspidatum	18	100	0
2996 Sphagnum denticulatum	2	100	0
3006 Sphagnum fimbriatum	10	100	0
3011 Sphagnum magellanicum	9	100	0
3013 Sphagnum molle	4	80	20
3015 Sphagnum palustre	30	100	0
3016 Sphagnum papillosum	16	100	0
3018 Sphagnum pulchrum	1	100	0
3005 Sphagnum r. var. brevifolium	8	100	0
3007 Sphagnum r. var. recurvum	1	100	0
3239 Sphagnum recurvum	18	100	0
3174 Sphagnum rubellum	4	100	0
3023 Sphagnum squarrosum	6	100	0
3024 Sphagnum subnitens	3	100	0
3026 Sphagnum subsecundum	1	100	0
3027 Sphagnum tenellum	5	64	36

Bijlage B1.4 Overige hygrofyten met aantal malen dat soorten voorkomen in het gebruikte opnamenbestand

PlantNr	Naam	Nopn	PlantNr	Naam	Nopn
1544	Agrostis canina	87	1135	Samolus valerandi	2
36	Alnus glutinosa	7	1173	Scutellaria galericulata	5
40	Alopecurus geniculatus	10	1183	Senecio aquaticus	10
53	Anagallis tenella	6	1218	Solanum dulcamara	7
55	Andromeda polifolia	9	1254	Stellaria palustris	13
6078	Bidens	3	1265	Taraxacum palustre	13
144	Bidens tripartita	1	427	Thelypteris palustris	5
173	Calamagrostis canescens	33	1332	Valeriana dioica	8
175	Calamagrostis stricta	1	1333	Valeriana officinalis	18
2338	Caltha palustris	3	1362	Veronica scutellata	1
187	Caltha palustris subsp. palustris	15	1385	Viola palustris	35
332	Cirsium dissectum	33	1389	Viola persicifolia	2
335	Cirsium palustre	68			
373	Crepis paludosa	9			
884	Dactylorhiza incarnata	10			
886	Dactylorhiza majalis subsp. majalis	7			
890	Dactylorhiza majalis subsp. praetermissa	21			
417	Drosera intermedia	10			
416	Drosera longifolia	2			
418	Drosera rotundifolia	25			
455	Epilobium obscurum	1			
456	Epilobium palustre	13			
457	Epilobium parviflorum	1			
461	Epipactis palustris	18			
526	Filipendula ulmaria	40			
2376	Galium palustre	65			
556	Galium uliginosum	22			
562	Gentianella amarella	2			
581	Glaux maritima	3			
641	Hydrocotyle vulgaris	67			
651	Hypericum tetrapterum	12			
1159	Isolepis setacea	3			
671	Juncus ambiguus	3			
714	Lathyrus palustris	4			
748	Liparis loeselii	1			
763	Lotus pedunculatus	57			
772	Lychnis flos-cuculi	40			
777	Lycopodiella inundata	4			
780	Lycopus europaeus	14			
784	Lysimachia vulgaris	55			
813	Mentha aquatica	45			
817	Mentha pulegium	2			
1922	Myosotis laxa + Myosotis scorpioides	2			
841	Myosotis laxa subsp. cespitosa	10			
844	Myosotis scorpioides	16			
849	Myrica gale	17			
858	Narthecium ossifragum	16			
870	Oenanthe lachenalii	3			
912	Oxycoccus macrocarpos	7			
913	Oxycoccus palustris	16			
1717	Parentucellia viscosa	1			
921	Parnassia palustris	14			
923	Pedicularis palustris	9			
967	Persicaria amphibia	6			
972	Persicaria hydropiper	5			
942	Pinguicula vulgaris	2			
1048	Ranunculus flammula	61			
1058	Ranunculus sceleratus	1			
1074	Rorippa amphibia	1			
1100	Rumex maritimus	1			
1117	Salix aurita	5			
1119	Salix cinerea	27			

