# Preadvies kleine ecotopen in de hydrologische gradiënt

R. Bobbink
J.H. Bouwman
E. Brouwer
F.H. Everts
M.A.P. Horsthuis
H.H. van Kleef
A. Klimkowska

*Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur Augustus 2013*

© 2013 Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken

Rapport nr. 2013/OBN173-NZBE
Den Haag, 2013

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

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap onder vermelding van code 2013/OBN173-NZBE en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling
R. Bobbink (Onderzoekcentrum B-WARE)
J.H. Bouwman (Unie van Bosgroepen)
E. Brouwer (Onderzoekcentrum B-WARE)
F.H. Everts (Everts & de Vries, Ecologen Groep Groningen)
M.A.P. Horsthuis (Bosgroep Midden Nederland)
H.H. van Kleef (Stichting Bargerveen)
A. Klimkowska (Stichting Bargerveen)

Druk Ministerie van EZ, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

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

# Voorwoord

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

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. In het natte zandlandschap en aangrenzend beekdallandschap komen naast de grotere eenheden natuur ook ecotopen voor met een relatief klein oppervlak. Deze kunnen zowel in nationaal als internationaal opzicht belangrijke levensgemeenschappen bevatten. Zo zijn hellingvenen, vochtige heischrale graslanden, gradiëntvennen met trilveen, alkalische laagvenen (incl. kalkmoerassen) en berkenbroekbossen onderscheiden als Natura-2000 habitattype. Deze kleine ecotopen staan centraal in dit rapport.

Dit rapport is een weerslag van twee uitgevoerde fasen. Het resultaat van de eerste fase is een overzicht en indeling van relevante kleine ecotopen. Hieruit is vervolgens een selectie opgesteld van die ecotopen met de grootste kennisleemten en de meest urgente knelpunten. In de tweede fase zijn voor elk geselecteerde cluster van kleine ecotopen kennisinventarisaties opgesteld. Naast de aanwezige natuurwaarden en sleutelprocessen zijn ook knelpunten en herstelmaatregelen, potentieel of al uitgevoerd, in kaart gebracht.

Er is vaak nog te weinig bekend over het functioneren van kleine ecotopen (‘zogenaamde assepoesters’), zowel op standplaats- als op landschapsniveau. Tot op heden is er daarnaast ook nog geen samenhangende aandacht besteed aan hun functioneren, net zo min als dat de belangrijkste knelpunten en kennishiaten voor behoud en herstel van deze systemen bekend zijn. Dit rapport geeft invulling aan deze kennishiaten.

Aan het einde van elk besproken cluster van kleine ecotopen is er een overzicht opgenomen van al uitgevoerde en nog te ontwikkelen herstelmaatregelen.

Ik wens u veel leesplezier.

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

# Dankwoord

Het opstellen van een preadvies met zo veel verschillende onderdelen is niet mogelijk geweest zonder de adviezen, bijdragen en kennisoverdracht van vele onderzoekers, natuurbeheerders en overige deskundigen. Wij willen hen allen hiervoor danken, speciaal willen wij hier noemen (in alfabetische volgorde): Erwin Adema (SBB), Jos von Asmuth (KWR), Gert Jan Baaijens (Baaijens advies), Dick Bal (PD Natura 2000, min. EZ), Theo Bakker (Ten Haaf & Bakker; bijdrage aan H2 & H3), Frits van Beusekom, Rob van der Burg (Unie van Bosgroepen), Rob van Dongen (Waterschap Regge en Dinkel), Gert-Jan van Duinen (St. Bargerveen), Fons Eysink (Unie van Bosgroepen), Ab Grootjans (RU Groningen & Radboud Universiteit Nijmegen), Corine Geujen (Natuurmonumenten), Mark Jalink (KWR), André Jansen (Unie van Bosgroepen), Robert Ketelaar (Natuurmonumenten), Rebi Nijboer (Nijboer advies), Han Runhaar (KWR), Loekie van Tweel-Groot (Landschap Overijssel), Uko Vegter (Drents Landschap), Michiel Wallis de Vries (Vlinderstichting/Wageningen Universiteit) en de overige leden van de O+BN-deskundigenteams “Nat zandlandschap” en “Beekdallandschap”.

# Summary


**Introduction**
Within the wet areas of the sandy regions of the Netherlands, raised bogs, moorland pools and wet heathlands are the dominant ecosystems in nature reserves. However, a significant part of the biodiversity in these regions depends on a range of small and groundwater dependent habitats that can be found in a gradient from the more elevated parts towards small river valleys. These small habitats are characterized by wet, more or less acid, sometimes highly buffered, nutrient poor to moderate nutrient rich conditions. The position of these small habitats is often isolated. Distances between similar small habitats are large, making species exchange difficult. Sometimes the systems are quite large, for example wet birch woodlands, but more often sizes are small. The smallest of the small habitats – springs - sometimes measure a few square meters. Small habitats are often characterized by high biodiversity. Because of these high biodiversity levels slope bogs, humid mat grass swards, moorland pools with floating fen, alkaline fens and wet birch woodlands are designated as Natura 2000-habitat types. Conservation objectives and objectives for area expanding have been formulated for many of these small habitats.

Due to large scale reclamation of land, drinking water production, desiccation and the intensified agricultural activities around nature sites many small habitats are deteriorated in number and quality. The scale and species richness of small habitats make them vulnerable to modifications in both land- en ground water use and isolation. The past years small habitats in the wet sandy areas receive more and more attention, but focus on and knowledge about the functioning in a broad perspective is still missing. Also the most important knowledge gaps of these systems concerning conservation and restoration are not known. Conservation site managers using trial and error methods in order to preserve en restore small habitats have not always been successful. Due to these lacks of knowledge the expert teams of Wet sandy areas and Brook valleys have put together an overview of small habitats with a focus on environmental threats and possible restoration measures.

**Report structure and overview of small habitats**
Two approaches were applied in order to complete a list of small habitats; using the landscape or using site characteristics. For the landscape approach, the wet, sandy regions were divided into sub regions. For every sub region, all small habitats were listed. These lists were merged into a general list for the sandy regions as a whole. For the second approach, all possible combinations of the dominant soil- and water conditions were compared with a complete list of vegetation types from the wet, sandy regions. The resulting list was compared with the list from the landscape approach and both were merged into a final list of small habitats. From this list, we selected habitats associated with large knowledge gaps or urgent environmental problems. This resulted in five groups of small habitats with a high priority for further research: 1) Springs and wells with alkaline or weakly buffered water, 2) groundwater fed mires at (the foot of) small slopes, 3) seepage and infiltration zones of local groundwater systems on a non-permeable soil layer,

4) shrubs dominated by *Myrica gale* or *Salix* species (in particular for faunistic reasons) and 5) wet birch forests.

For each group, the current knowledge was summarized, starting with a general description. Characteristic plant and animal species were listed, as well as site conditions. The driving ecological processes were described, as well as possible and actual environmental threats. Special attention was paid to possible restoration measures and to the evaluation of existing restoration measures. In particular for this last action, nature managers were interviewed. The major knowledge gaps were identified, in particular with regard to management and restoration. The identification of knowledge gaps enables the organisation to do future research on these habitats that can directly contribute to the conservation and/or restoration of their characteristic biodiversity.

**Degradation and threats**

In this report many different small habitats are identified and listed. Describing all these habitats would double this summary. All five clusters of small habitats do have in common that they all are under influence of ground water, due to their position in the landscape. Modifications in the hydrological situation, both qualitative and quantitative, are the biggest threats to the functioning of all listed small habitats. In situations where ground water meets the surface local drainage (ditches) is an example of such a hydrological modification. Drainage in close by areas, drinking water production, lowering of the water table in brooks and large scale afforestation in infiltration areas have led to reduction of ground water flow. This reduction leads to a loss of biodiversity. These hydrological modifications could be of major influence for all five clusters. Willow shrubs and wet birch woodlands are less vulnerable.

Also modifications in ground water quality (nitrate, sulphate) or eutrophic surface water supply (mostly concerning willow shrubs and wet birch woodlands) could have contributed to the loss of biodiversity of small habitats. How the small habitats are positioned in the landscape and the specific type at stake are important conditions leading to more of less loss of biodiversity. Measuring chemical parameters of ground water and infiltration water is necessary to quantify hydrological modifications leading to loss of biodiversity. Most of the identified small habitats in this report, like seepage/infiltration zones, base poor slope bogs, bog myrtle shrubs and wet birch woodlands are sensitive to atmospheric nitrate deposition. Finally the management of the nature sites could influence the functioning and quality of the different small habitats.

**Possible restoration measures**

As described in the previous paragraph small habitats are all under influence of ground water. As a consequence desiccation is in many situations the main cause of loss of biodiversity in small habitats. Eco hydrological analysis for each specific situation is needed in order to define the exact cause. However the abilities for restoration could be considerable. If local hydrological systems are at issue, restoration measures could be taken rather easy. When sub regional ground water flows are present instead of local ground water flows, restoration measures are much harder to imply. Restoration management has been carried out successfully for some small habitats in situations with local ground water flows. Successful restoration management is much more difficult when springs or slope bogs are desiccated or if ground water quality is modified due to large scale afforestation or drinking water production. In

these cases a lot of knowledge gaps need to be filled. For restoration of shrubs and wet birch woodlands it is sometimes better to carry out no management and to put less focus on low vegetation types. In these cases the hydrological situation must be restored. As the previous paragraphs show in the wet sandy areas en neighbouring brook valley areas a multitude of small habitats can occur, in better or worse conditions. In the future these beautiful habitats hopefully receive the attention they deserve, so that these 'Cinderella's' could reach outstanding habitat quality.

# Samenvatting

**Aanleiding**
In het nat zandlandschap komen naast de grotere, goed onderzochte ecosystemen zoals hoogvenen, vennen en natte heiden ook minder bekende ecotopen met een relatief klein oppervlak voor. Ook op de grens met het beekdallandschap zijn deze te vinden, met name in hoog-laag gradiënten die onder invloed staan van (lokale) grondwatersystemen. Ze zijn gekenmerkt door vochtige tot natte, min of meer zure, soms zwak tot zelfs sterk gebufferde, voedselarm- tot matig voedselrijke omstandigheden. Een ander kenmerk is hun geïsoleerde positie in het landschap: de afstanden tussen gelijke ecotopen is doorgaans groot, wat uitwisseling van soorten niet eenvoudiger maakt. Het kan gaan om wat grotere systemen, zoals berkenbroekbossen, maar veel vaker zijn de locaties klein. De kleinste van de kleine ecotopen – bronnen – meten soms slechts enkele vierkante meters. De kleine ecotopen bezitten vaak een hoge biodiversiteit. Niet voor niets zijn de hellingvenen, vochtige heischrale graslanden, gradiëntvennen met trilveen, alkalische laagvenen en berkenbroekbossen onderscheiden als Natura 2000-habitattype. Voor veel van de locaties gelden daarom instandhoudings- en/of uitbreidingsdoelen.

Door de grootschalige ontginningen, waterwinningen, ontwatering en de sterke intensivering van het landbouwkundig gebruik rondom natuurgebieden zijn veel van de kleine ecotopen in aantal en kwaliteit ernstig gedegradeerd. Hun schaal en rijkdom maakt de ecotopen extra kwetsbaar voor ingrepen van buitenaf, voor de gevolgen van isolatie en voor verandering van het grond- en watergebruik. De laatste jaren is er in toenemende mate interesse voor de kleine ecotopen in het nat zandlandschap, maar samenhangende aandacht voor hun functioneren ontbreekt. Evenmin is bekend wat de belangrijkste kennishiaten zijn voor behoud en herstel van deze systemen. En de door terreinbeheerders noodgedwongen gehanteerde 'trial and error' aanpak blijkt niet altijd een succes. Daarom vonden DT Nat zandlandschap en DT Beekdalen het de hoogste tijd voor een overzicht van de kleine ecotopen en een door kennis onderbouwde identificatie van knelpunten en (mogelijke) herstelmaatregelen.

**Opzet preadvies en overzicht kleine ecotopen**
Eerst is een (voorlopig) overzicht en indeling van kleine ecotopen van het nat zandlandschap opgesteld, en een beschrijving gemaakt van de verschillende regio's van het zandlandschap met speciale aandacht voor de positie van kleine ecotopen. Hierbij is zowel aandacht besteed aan een benadering op landschaps- als op standplaatsniveau. Dit heeft geleid tot een "geïntegreerde" lijst van relevante kleine ecotopen en een bruikbaar overzicht van de belangrijkste kleine ecotopen. Hieruit is een selectie opgesteld van die ecotopen met de grootste kennisleemten en de meeste (of meest urgente) knelpunten. De volgende clusters van kleine ecotopen zijn gekozen: 1) mineraalarme en –rijke bronnen, 2) basenrijke en basenarme hellingvenen (en gerelateerd alkalisch laagveen), 3) kwelplekken in het nat zandlandschap (kwelzones en lekzones van schijngrondwaterspiegelveentjes, kwelplekken in

kunstmatige insnijdingen), 4) wilgen- en gagelstruweel (primair geselecteerd voor mogelijke waarde voor de fauna) en 5) berkenbroekbossen.

Voor deze vijf clusters van kleine ecotopen is een kennisinventarisatie uitgevoerd. Per kleine ecotoop is een algemene kenschets gegeven. Daarna zijn de aanwezige natuurwaarden - flora en fauna - beschreven en de standplaatscondities en sleutelprocessen gekarakteriseerd. De bedreigingen en aantastingen zijn daarna beschreven, waarna herstelmaatregelen, potentieel of al uitgevoerd, zijn geïnventariseerd. Hierbij is steeds speciaal aandacht besteed aan het verkrijgen van informatie uit de praktijk, bijvoorbeeld door rondgestuurde vragenlijsten of consultatie van beheerders. Op basis van dit overzicht zijn kennishiaten in relatie tot effectief herstelbeheer of herinrichting benoemd. Dit schept mogelijkheden om in de toekomst gericht onderzoek naar deze kennishiaten uit te voeren, zodat effectieve maatregelpakketten kunnen worden ontwikkeld.

**Aantasting en bedreigingen**
In dit preadvies is een verscheidenheid aan kleine ecotopen gekarakteriseerd, waardoor het niet eenvoudig is de volledige inhoud kort te schetsen. Wat de vijf clusters van kleine ecotopen gemeen hebben, is dat zij door hun landschappelijke positie onder invloed van grondwater staan. Dat betekent dat veranderingen in hun hydrologische situatie, zowel kwantitatief als kwalitatief, de belangrijkste bedreigingen zijn voor het functioneren van al de beschreven kleine ecotopen. Dit kan, afhankelijk van het type ecotoop en de geomorfologische situatie, bijvoorbeeld gebeuren door lokale ontwatering (sloten) op plekken waar grondwater uittreedt. Ook drainage in de directe omgeving, drinkwaterwinning, verlaging van het beekpeil en grootschalige bosaanplant in het inzijggebied hebben vaak geleid tot een (sterk) verminderde toevoer van grondwater met alle gevolgen van dien voor de kenmerkende diversiteit. Deze aantastingen van de hydrologie kunnen voor alle vijf clusters van kleine ecotopen van grote invloed zijn, maar zijn wat minder pregnant voor de wilgenstruwelen en sommige berkenbroekbossen.

Ook veranderingen in de kwaliteit van het grondwater (nitraat, sulfaat) of de toevoer van vermest oppervlaktewater (vooral voor de wilgenstruwelen en berkenbroekbossen) kunnen hebben bijgedragen tot de achteruitgang van de biodiversiteit van de kleine ecotopen. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit alles sterk afhankelijk is van de landschappelijke situatie ter plekke en het type kleine ecotoop. Kortom, metingen van grondwaterchemie en inundatiewater zijn dan veelal nodig om deze aantasting te kunnen vaststellen. Daarnaast zijn de meeste van de beschreven kleine ecotopen, zoals de kwel/inzijgzones, basenarme hellingvenen, gagelstruwelen en berkenbroekbossen ook gevoelig voor aantasting door stikstofdepositie uit de lucht. Tenslotte kan ook het gevoerde beheer grote invloed hebben op het functioneren en de kwaliteit van de verschillende kleine ecotopen.

**Herstelmogelijkheden**
Zoals uit de vorige paragraaf moge blijken, staan de beschreven ecotopen allemaal onder invloed van grondwater. Dit betekent dat in veel situaties verdroging tot de belangrijkste oorzaak van de achteruitgang is te rekenen. Om de precieze oorzaak te achterhalen is natuurlijk wel per situatie een adequate ecohydrologische analyse noodzakelijk. Toch kunnen de potenties voor herstel van verdroogde kleine ecotopen groot zijn. Soms is het zelfs relatief gemakkelijk, want regelmatig gaat het om lokale hydrologische systemen. Die zijn gemakkelijker te herstellen door maatregelen in de directe omgeving dan situaties die gevoed worden door (sub)regionale grondwater. In de praktijk is voor sommige kleine ecotopen dan ook al succesvol

herstelbeheer uitgevoerd. Maar als bronnen of hellingvenen verdroogd zijn door bijvoorbeeld grootschalige bosaanplant of waterwinning, of wanneer de grondwaterchemie ernstig is aangetast, dan is het heel wat moeilijker en moet nog veel kennis ontwikkeld worden. Voor herstel van struwelen en berkenbroekbossen kan soms de keuze gemaakt worden om niets te doen en zich minder te richten op de lage, vervangingsvegetaties, waarbij natuurlijk wel de hydrologische situatie in orde moet zijn (gebracht). Tenslotte kan gesteld worden dat in het natte zandlandschap en het aangrenzende beekdallandschap een veelheid van kleine ecotopen kan voorkomen, soms in optima forma, maar vaak in meer of mindere mate aangetast. Het is te hopen dat in de toekomst deze prachtige gebiedjes de aandacht krijgen die ze verdienen. Opdat de Assepoesters weer tot volle wasdom komen.

# Inhoudsopgave

**Dankwoord**

**Summary**

**Samenvatting**

**1 Inleiding 7**

1.1 Inleiding 7

1.2 Doel en opzet van het preadvies 8

1.3 Fase 1 van het preadvies 8

1.4 Fase 2 van het preadvies 9

**2 Nat zandlandschap in Nederland: een beknopte beschrijving 10**

2.1 Inleiding 10

2.2 Klimaat 11

2.3 Geologische opbouw en reliëf 11

**3 Indeling van kleine ecotopen: een overzicht 26**

3.1 Op zoek naar een zo volledig mogelijk overzicht 26

3.2 Landschapsecologische – chorische - indeling 27

3.3 Kleine ecotopen indeling op topisch niveau 29

**4 Bronnen 33**

4.1 Indeling 33

4.2 Natuurwaarden van Bronnen 37

4.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 42

4.4 Locaties van bronnen in het nat zandlandschap en beekdallandschap48

4.5 Aantastingen en bedreigingen 49

4.6 Herstelmaatregelen 57

4.7 Slot 65

**5 Basenrijke en basenarme hellingvenen 66**

5.1 Inleiding 66

5.2 Belangrijkste natuurwaarden 71

5.3 Standplaatscondities & sleutelprocessen 76

5.4 Voorbeeldgebieden 79

5.5 Bedreigingen en aantastingen 80

5.6 Herstelmaatregelen 81

5.7 Slot 84

**6 Kwelzones in het nat zandlandschap 86**

6.1 Kwelzones van schijngrondwaterspiegelvennen 86

6.1.1 Natuurwaarden van de kleine ecotoop 90
6.1.2 Standplaatscondities en sleutelprocessen 92
6.1.3 Locaties van kwelzones van schijngrondwaterspiegel vennen of veentjes 96
6.1.4 Bedreigingen en aantastingen 97
6.1.5 Herstelmaatregelen 99
6.1.6 Slot 102

6.2 Lekzones van schijngrondwaterspiegelvennen 103

6.2.1 Indeling 103
6.2.2 Natuurwaarden van lekzones 108
6.2.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 109
6.2.4 Voorbeelden van locaties met lekzones 111
6.2.5 Bedreigingen en aantastingen 111
6.2.6 Herstelmaatregelen 114
6.2.7 Slot 115

6.3 Kwel op kunstmatige insnijdingen 116

6.3.1 Indeling 116
6.3.2 Natuurwaarden van kunstmatige insnijdingen met kwel 123
6.3.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 125
6.3.4 Locaties van kunstmatige insnijdingen met kwel 128
6.3.5 Bedreigingen en aantastingen 128
6.3.6 Herstelmaatregelen 130
6.3.7 Slot 132

**7 Wilgen- en Gagelstruwelen 134**

7.1 Inleiding 134

7.2 Natuurwaarden van Wilgen- en Gagelstruwelen 138

7.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 141

7.4 Locaties van wilgen- en gagelstruwelen 145

7.5 Bedreigingen en aantastingen 145

7.6 Herstelmaatregelen 147

7.7 Slot 149

**8 Berkenbroekbossen 151**

8.1 Indeling 151

8.2 Natuurwaarden van berkenbroekbos 158

8.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 162

8.4 Locaties van Berkenbroekbos 166

8.5 Bedreigingen en aantastingen 167

8.6 Herstelmaatregelen 170

8.7 Slot 175

**Literatuur 178**

**Bijlage 1 Schijngrondwaterspiegelvennen en -veentjes 199**

B1.1 Inleiding 199

B1.2 Natuurwaarden 201

B1.3 Standplaatscondities & sleutelprocessen 203

B1.4 Bedreigingen en huidige status 206

B1.5 Herstelmaatregelen 208

**Bijlage 2 Gradiëntvennen 210**

B2.1 Inleiding 210

B2.2 Natuurwaarden 210

B2.3 Standplaatscondities& sleutelprocessen 211

B2.4 Bedreigingen en huidige status 213

B2.5 Mogelijke herstelmaatregelen 214

**Bijlage 3 Bevloeide heide 216**

B3.1 Inleiding 216

B3.2 Natuurwaarden 217

B3.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen 218

B3.4 Bedreigingen 220

B3.5 Herstelmaatregelen 220

**Bijlage 4 Ervaringen van uitgevoerde herstelmaatregelen 221**

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Bij het nat zandlandschap wordt veelal gedacht aan ecosystemen zoals hoogvenen, vennen en natte heiden. Binnen deze grotere eenheden maar eveneens in en op de grens met het beekdallandschap komen ook ecotopen met een relatief klein oppervlak voor, met name in gradiënten onder invloed van lokale grondwatersystemen. Deze kleine ecotopen kunnen zowel in nationaal als internationaal opzicht belangrijke levensgemeenschappen bevatten. Zo zijn hellingvenen, vochtige heischrale graslanden, gradiëntvennen met trilveen, alkalische laagvenen (incl. kalkmoerassen) en berkenbroekbossen onderscheiden als Natura-2000 habitattype. Mede hierdoor zijn veel locaties aangewezen - of aangemeld - als Natura-2000 gebied, waarvoor dus instandhoudingsdoelen gelden, ook voor deze kleine ecotopen. Verder zijn deze ecotopen onderdeel van andere, grotere eenheden natuur in de EHS en komen ze veelvuldig voor in tal van zogenaamde TOP-gebieden verdrogingsbestrijding.

Door de grootschalige ontginningen, waterwinningen, ontwatering en de sterke intensivering van het landbouwkundig gebruik rondom natuurgebieden zijn veel van deze kleine ecotopen in aantal en kwaliteit ernstig gedegradeerd. Veel karakteristieke soorten van deze ecotopen zijn in Nederland (sterk) achteruit gegaan of zelfs verdwenen. Toch zijn in veel delen van het nat zandlandschap nog hoge potenties aanwezig om de natuurkwaliteit van kleine ecotopen te verbeteren en om het oppervlak er van in beperkte tot redelijke mate uit te breiden.

**Kenschets**
Binnen het nat zandlandschap zijn systemen zoals hoogvenen, (zeer) zwak gebufferde vennen, natte heiden en vochtige, zwak zure schraallanden in het kader van EGM/OBN uitgebreid onderzocht en zijn er diverse effectieve herstelmaatregelen of combinaties van maatregelen opgesteld. Zoals zojuist vermeld zijn in het nat zandlandschap ook kleinere en minder bekende onderdelen van het landschap aanwezig, de zogenaamde "assepoesters". Van deze terreinen weten de beheerders nog onvoldoende goed welke soorten hier thuishoren en welke maatregelen nodig zijn voor herstel dan wel verdere ontwikkeling. Deze "assepoesters" kennen een aantal gemeenschappelijke randvoorwaarden. Ze bevinden zich doorgaans op een hoogtegradiënt in een kleinschalig en van nature voedselarm en overwegend (matig) zuur landschap. Ze zijn gekenmerkt door vochtige tot natte, min of meer zure, soms zwak gebufferde tot zelfs sterk gebufferde, oligo- tot oligomesotrofe omstandigheden. Deze omstandigheden maken dat de genoemde ecotopen ondanks hun relatief kleine oppervlak vaak een relatief hoge biodiversiteit herbergen, of,- helaas - herbergden. Een ander gezamenlijk kenmerk van de meeste kleine ecotopen is hun geïsoleerde positie in het landschap; de afstanden tussen gelijke ecotopen zijn vaak groot. Dit is zeer relevant voor de verspreiding van kenmerkende planten- en diersoorten van zo'n ecotoop. Een aantal typen heeft bovendien te maken met een landgebruik dat sinds lange

tijd niet meer wordt toegepast. Hun schaal en rijkdom maakt deze ecotopen extra kwetsbaar voor allerlei ingrepen van buitenaf, voor de gevolgen van isolatie en voor verandering van het grondgebruik. Ze hebben in dit kader dan ook een gemeenschappelijke problematiek. Vanwege hun beperkte oppervlakte en hun ligging in complexe landschappen moet bij de probleemanalyse zeker aandacht besteed worden aan de landschapsschaal. Vermoedelijk liggen op die schaal ook de belangrijkste oplossingen voor het treffen van herstelmaatregelen.

De laatste jaren is er in toenemende mate aandacht gekomen voor deze kleine ecotopen in het nat zandlandschap. Kennis over hun soortensamenstelling, hun functioneren en over herstelmogelijkheden wisselen echter sterk per ecotoop. Er is nog te weinig bekend over het functioneren van deze 'assepoesters', zowel op standplaatsniveau als op landschapsniveau. Vanwege hun grote verscheidenheid en hun verspreide voorkomen is tot op heden geen samenhangende aandacht besteed aan hun functioneren. Evenmin is bekend wat de belangrijkste kennishiaten zijn voor behoud en herstel van deze systemen. De door terreinbeheerders noodgedwongen gehanteerde "trial and error" aanpak is daarom niet altijd succesvol, er is dan ook dringend behoefte aan door kennis onderbouwde identificatie van knelpunten en herstelmaatregelen.

## 1.2 Doel en opzet van het preadvies

Hoofddoel van dit preadvies is om a) een overzicht van kleine ecotopen van het nat zandlandschap en het aangrenzende gedeelte van het beekdal op te stellen – fase 1 -, en b) per geselecteerde kleine ecotoop een inventarisatie te maken van de huidige stand van kennis op de verschillende schaalniveaus (van standplaats tot en landschap), met speciale aandacht voor het vaststellen van knelpunten en mogelijke oplossingen via herstel daarvan – fase 2.

Dit preadvies is opgesteld door een consortium, bestaande uit Onderzoekcentrum B-WARE (projectleiding), Everts & de Vries-EGG, Unie van Bosgroepen, Stichting Bargerveen en Adviesbureau Ten Haaf en Bakker (alleen fase 1). Het projectteam bestond uit de volgende personen, die allen ook auteur zijn van delen van dit rapport:

- Dr. Theo Bakker (fase 1)
- Dr. Roland Bobbink (coördinator fase 2)
- Ing. Jaap Bouwman
- Dr. Emiel Brouwer (coördinator fase 1)
- Dr. Henk Everts
- Ing. Marcel Horsthuis
- Dr. Hein van Kleef
- Dr. Agata Klimkowska

## 1.3 Fase 1 van het preadvies

In fase 1 van het project is eerst een (voorlopige) overzicht en indeling van kleine ecotopen van het nat zandlandschap opgesteld. Tevens is een korte inleiding over de verschillende regio's van het zandlandschap beschreven met speciale aandacht voor de positie van kleine ecotopen in de hydrologische gradiënt en de regionale verschillen daarin (Hoofdstuk 2). Ook is zowel aandacht besteed aan een benadering op landschapsniveau ("chorisch"

niveau) als op standplaatsniveau ("topisch"). De verschillen in deze benadering maar ook hun overeenkomsten heeft geleid tot een "geïntegreerde" lijst van relevante kleine ecotopen beschreven in een apart hoofdstuk, waarbij ook de positie van plantengemeenschappen in deze indeling is behandeld (Hoofdstuk 3). Vervolgens is in deze eerste fase voor een tiental kleine ecotopen een korte beschrijving (5 – 10 pagina's) opgesteld om tot een eerste karakterisering te komen. Fase 1 heeft tenslotte geleid tot een bruikbaar overzicht van de belangrijkste kleine ecotopen. Hieruit is een selectie gemaakt van die ecotopen met de grootste knelpunten en meeste kennisleemten. Hiervoor is input gevraagd en gekregen van de deskundigenteams Beekdalen en Nat zandlandschap. Met behulp van deze input is een definitieve keuze vastgesteld van (clusters van) kleine ecotopen die in fase 2 in detail zijn uitgewerkt. Voor deze selectie zijn uiteindelijk 3 criteria gebruikt: a) Is er inderdaad sprake van een duidelijk afgegrensde, maar kleine ecotoop?, b) Is er sprake van kennisleemten in de standplaatscondities? en c) Is er sprake van kennisleemten in de landschapsecologie? De definitieve selectie is tenslotte gefiatteerd door beide deskundigenteams. De volgende clusters van kleine ecotopen zijn gekozen:

- Bronnen (zowel mineralenarm – als mineralenrijk);
- Basenrijke en basenarme hellingvenen (en gerelateerd alkalisch laagveen);
- Kwelplekken in het nat zandlandschap (kwelzones en lekzones van schijngrondwaterspiegel veentjes of vennen, kwel in kunstmatige insnijdingen);
- Wilgenstruweel (excl. inundatiestruwelen beekdalen) en gagelstruweel (alleen open, lage struwelen) (beide typen primair geselecteerd voor mogelijke waarde voor de fauna);
- Berkenbroek (2 subtypen).
- Van drie niet-geselecteerde kleine ecotopen zijn de basisteksten opgenomen in bijlage I t/m III van dit preadvies.

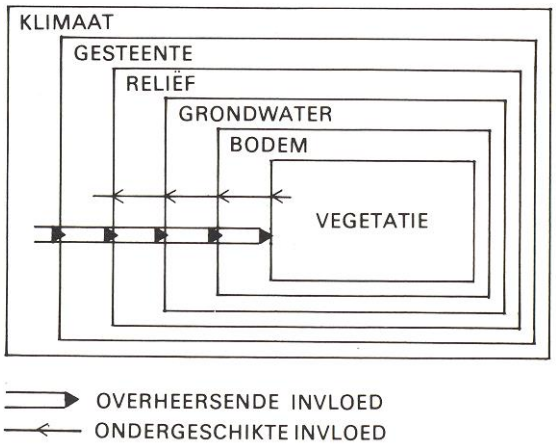
## 1.4 Fase 2 van het preadvies

Fase 2 van dit project bestond uit het opstellen van de uiteindelijke kennisinventarisatie. Per cluster van kleine ecotopen (Hoofdstuk 4 t/m 8) is een algemene kenschets gegeven, inclusief aansluiting bij andere indelingen. Vervolgens zijn de aanwezige natuurwaarden beschreven en de standplaatscondities en sleutelprocessen op verschillend schaalniveau geïdentificeerd. De bedreigingen en aantastingen komen daarna aan bod, waarna herstelmaatregelen, potentieel of al uitgevoerd, zijn geïnventariseerd. Hierbij is steeds speciaal aandacht besteed aan het verkrijgen van informatie uit de praktijk, bijvoorbeeld door rondgestuurde vragenlijsten of consultatie van beheerders. Op basis van dit overzicht zijn hiaten in kennis ("kennislacunes") in relatie tot effectief herstelbeheer of herinrichting benoemd. Dit schept de mogelijkheid om in de toekomst gericht onderzoek naar deze kennishiaten op te zetten zodat effectieve maatregelpakketten kunnen worden ontwikkeld per kleine ecotoop. De basistekst per kleine ecotoop is altijd opgesteld door twee leden van het schrijfteam, waarna de basisversie van commentaar is voorzien door de overige auteurs. Daarna is een aangepaste versie opgesteld, die vervolgens door minimaal 3 deskundigen (uit de beheerorganisaties en/of uit de twee deskundigenteams) van aanvullend commentaar en verbeteringen is voorzien. Dit heeft tenslotte geleid tot de definitieve teksten over deze kleine ecotopen, inclusief knelpuntenanalyse, kennishiaten en (mogelijke) herstelopties.

# 2 Nat zandlandschap in Nederland: een beknopte beschrijving

## 2.1 Inleiding

Bij een systematische en voor het beheer toegankelijke landschapsecologische indeling van kleine ecotopen wordt veelal gebruik gemaakt van het rangordemodel (Figuur 2.1) (zie voor de theoretische achtergronden bijv. Bakker, e.a., 1979, Everts & de Vries, 1991). Bij het eerste niveau van ordening worden de aspecten klimaat, geologische opbouw (gesteente) en reliëf van het landschap gebruikt. Een volgende nadere detaillering vindt plaats op basis van (grond)water, bodem en ten slotte landgebruik. Bodem en landgebruik bepalen in belangrijke mate successiestadia en de trofiegraad binnen de kleine ecotopen. De drie niveaus geven het raamwerk aan waarbinnen kleine ecotopen een plaats hebben en dat een weerslag heeft op de vegetatie en soortensamenstelling. De indeling van kleine ecotopen vraagt dan ook nog om meerdere uitwerkingen. Zo kunnen bijvoorbeeld voor de verschillende kleine ecotopen degradatiestadia – of zelfs reeksen - worden opgesteld, die samenhangen met verdroging, vermesting en veranderend landgebruik (Hoofdstuk 3).




*Figuur 2.1: Vereenvoudigde rangordemodel.*

*Figure 2.1: Simplified ranking model*

## 2.2 Klimaat

Klimatologische verschillen tussen het zuiden van ons land - minder neerslag, een kleiner neerslagoverschot en lagere temperaturen– en het noorden (Bosatlas van Nederland 2007) zijn wel gebruikt ter verklaring van verschillen in het aantal en botanische samenstelling van vennen. Zo vindt men in Noord-Brabant 1 ven per 160 ha gronden buiten de beekdalen, in Drenthe 1 per 25 ha. Het stroomgebied per ven of veentje is in het zuiden dus groter en de vegetatie vertoont in het zuiden vaker een rheofiel karakter (Baaijens, 1992). De klimatologische verschillen in ons land lijken overigens gewijzigd te zijn als gevolg van de verzoeting van de delta en het IJsselmeer en de afname van het wateroppervlak. De brakke Zuiderzee had een dempende invloed op temperatuurverschillen rondom. Mogelijk vormt luchtverontreiniging hierop een uitzondering omdat daarin juist wel grote regionale verschillen aanwezig zijn. Met name in het noordoosten van Noord-Brabant, het noorden van Limburg en in de Gelderse Vallei kwamen zeer hoge en nu nog hoge deposities van stikstof voor. De Achterhoek en Twente nemen een tussenpositie in, en het Drents Groningse Friese zandlandschap kent de laagste depositie. Dit is mogelijk een onderscheidende factor in de aanwezigheid van degradatiestadia van kleine ecotopen over Nederland. Overige factoren laten we hier buiten beschouwing.

## 2.3 Geologische opbouw en reliëf

Binnen het Pleistocene zandlandschap van Nederland zijn, op basis van de geologie, in het kader van kleine ecotopen zeven hoofdregio's onderscheiden. Hoewel ook andere indelingen mogelijk zijn denken we op deze wijze een representatief beeld te schetsen van de in dit kader relevante geo(morfo)logische variatie in ons land.

- Noordelijk keileemplateau
- Vechtdalsysteem
- Twente
- Het Veluwe massief
- Utrechtse heuvelrug en Gelderse vallei
- De Achterhoek
- Het Noord-Brabants en Limburgsche zandlandschap

De zeven regio's worden in deze paragraaf in het kort besproken. Vooral de bijzondere geologische opbouw en reliëf die van invloed zijn op (de waterhuishouding) van kleine ecotopen, komen daarbij aan de orde. In dit hoofdstuk komen vaak ook inzichten aan bod, die vanaf 1987 zijn ontwikkeld in landschapsecologische studies. Een samenvatting daarvan is te vinden in Baaijens & Van der Molen (2011). In deze samenvatting en de hier volgende paragrafen worden vaak geomorfologische structuren beschreven die niet voorkomen in de legenda van de geomorfologische kaart van ons land, en derhalve niet eerder zijn beschreven. Dat impliceert ook een uitnodiging naar geologen en geomorfologen om deze structuren nader te beschouwen en de achtergrond nader te duiden of zonodig te weerleggen. De landschaps-ecologen worden gemotiveerd doordat er een samenhang is met bijzondere verspreiding van plantensoorten en derhalve met kleine ecotopen.

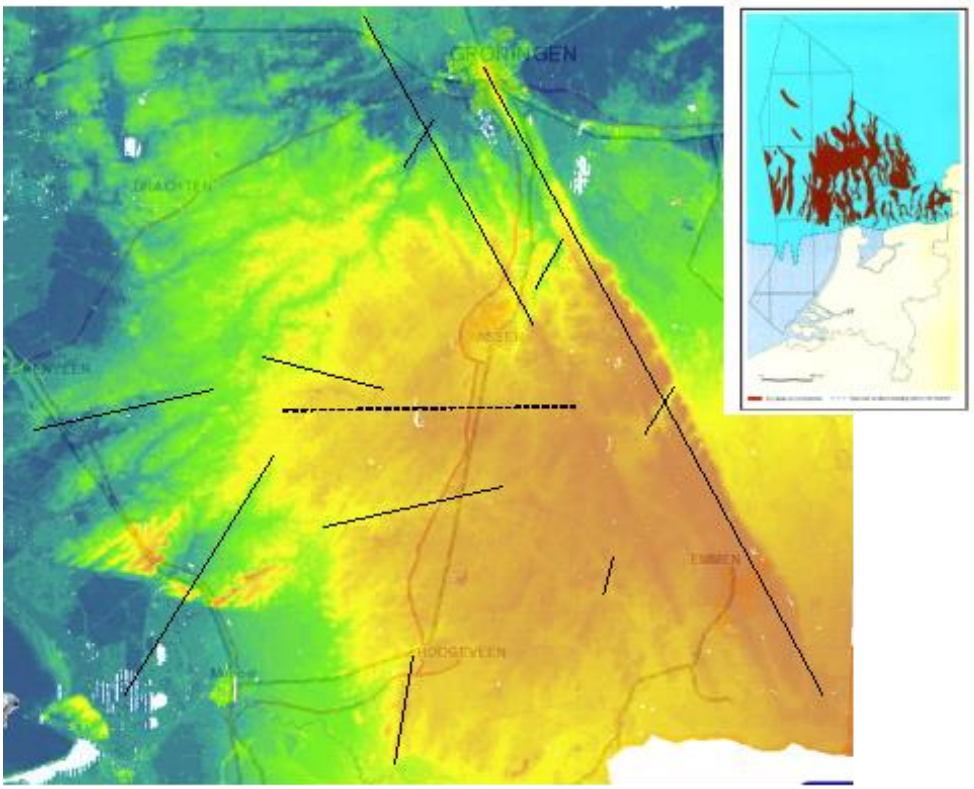
**a. Het Noordelijk keileemplateau**

Hoewel keileem plaatselijk ook in Twente en de Achterhoek voorkomt is een belangrijk onderscheid van het Noordelijke keileemplateau met de andere

zandlandschappen de omvangrijke aanwezigheid van keileem in de ondergrond (Figuur 2.2). Keileem is veelal slecht doorlatend en arm aan basen. Soms is het geërodeerd tot keizand door verspoeling van de leem. Keileem zorgt voor een grotere dynamiek van het grondwater met in de winterperiode soms grootschalige natte situaties, waarbij het water tot in de wortelzone of op het maaiveld staat. 's Zomers kunnen vochttekorten optreden als het watervoerend pakket zeer dun is (Bakker e.a., 1986).

Keileem kan soms dagzomen bij verstuiving en zo van invloed zijn op de vegetatie. Op plaatsen waar keileem zeer dik is en de laag vrijwel ondoorlatend is, is de keileem niet uitgespoeld en vaak nog basenhoudend. Ook geulsystemen op de keileem zijn belangrijke fenomenen. Deze kunnen deels zijn dicht gestoven, waarbij het landschap zich kenmerkt door een afwisseling van dekzandruggen en veentjes (bijv. kleine ecotoop zuur ven of schijngrondwaterspiegel). Op andere plaatsen kan de keileem ontbreken, bijvoorbeeld bij pingoruïnes of op de flank van beekdalen waar de ondergrond van de veentjes kan bestaan uit rijkere sedimenten, die de oerdalen hebben opgevuld. Op deze plaatsen kan zich kwel van basenhoudend grondwater manifesteren (bijv. kleine ecotoop kwelzone schijngrondwaterspiegel). Bij andere reliëfrijke situaties op de flanken van beekdalen komen bronnen voor die ook tot de kleine ecotopen kunnen worden gerekend (bijv. kleine ecotoop open bron of hellingveen). Deze bronnen zijn gebonden aan beekdalen die relatief diep liggen ingesneden in het omringende dekzand landschap waarbij op de flank veel hoogteverschil is tussen het dal en de zandgronden. Op de flanken van beekdalsystemen gevoed door kwel van grotere regionale hydrologische systemen, kan de aanzienlijke kwel ervan ook de ondiepere lokale systemen beïnvloeden. Dat leidt er toe dat ondiepere lokale systemen hier water verliezen middels bronnen, zeker als sprake is van slecht doorlatende lagen (bijv beekleem) met daarin gaten.

Door Bakker e.a. (1986) is reeds beschreven dat er gaten in de keileem kunnen voorkomen. Recent zijn aanwijzingen gevonden dat de gaten samenhangen met mogelijke scheuren in de keileem (Baaijens e.a., 2012) (zie ook figuur 2.2). Die zijn vermoedelijk het gevolg van dikte verschillen in het landijs van het Saalien. Met deze gaten en scheuren zijn pingoruïnes geassocieerd maar ook plaatsen waar al dan niet in het verleden sprake is of was van grondwaterinvloed uit diepere aquifers. Dergelijke plaatsen vinden we niet alleen maar langs beekdalranden maar ook midden op de plateaus (Baaijens, e.a., 2011 en 2012). Op dergelijke plaatsen op de plateaus vinden we vaak sporen van vroegere grondwaterinvloed. De grondwaterinvloed heeft ook geleid tot inversieruggen en – kopjes dan wel combinaties hiervan. Kenmerk van deze ruggen is dat relatief rijk grondwater tot hoog in het profiel aanwezig kan zijn terwijl in dekzandgebieden met infiltratie dat water dieper zit. Met de ruggen kunnen laagtes zijn geassocieerd die zich meer of minder venig konden ontwikkelen. Men kan hier dus wat rijkere dopheidegemeenschappen tot aan rijker mesotrofe veentypen verwachten en ook gagelstruweel (is een kleine ecotoop). Dit type fenomeen kan van betekenis zijn voor andere kleine ecotopen als schijngrond-waterspiegelveentjes met toestroom en ook de basenarme doorstroom venen, basenarme bronnen, wilgenstruweel, kwelzone van schijngrondwaterspiegelveentjes, lekzones van schijngrondwaterspiegel-veentjes, alsmede zompzegge berkenbroek en vochtig zwak zure bossen.




*Figuur 2.2: Op het Drents-Fries keileemplateau komen op de schaal van het plateau meerdere ruggen voor met daar tussen de beekdalen. Rappol (1985) associeert deze ruggen met flutings in verschillende gletsjerfasen van het Saalien. Hij onderscheidt in Drenthe in Twente zeker 4 richtingen (Rappol e.a., 1993). Ook op de AHN en kwelkaarten van Drenthe (Werkgroep van de Drentse Flora, 1999) kunnen de richtingen worden gezien, daarbij komt nog een 5de richting in beeld. De richting van de ruggen en dalenstelsels herhaalt zich over het keileemplateau in een regelmatig patroon, met nagenoeg vaste afstanden. In de figuur zijn enkele voorbeelden gegeven van de 5 hoofdrichtingen. Uit patroononderzoek van Baaijens zijn aanwijzingen naar voren gekomen dat op de overgang van ruggen en dalen zogenaamde versmeringsvlakken in de geologische opbouw zijn ontstaan. Dit leidt in de praktijk tot anisotropie (afwijkende doorlatendheid in verticale en horizontale richting) en tot bijzondere veelal lokale kwelsituaties langs deze vlakken die zich op de randen van beekdalen als ook op de hogere delen voorkomen. Versmeringsvlakken kunnen in zeker opzicht vergeleken worden met wijstverschijnselen in het zuiden van ons land, die samenhangen met breuken. Deze vormen een barrière voor grondwaterstromen en veroorzaken kwel, vaak op hogere delen in het gebied (De Gans, 2008). Versmeringsvlakken hebben in zeker opzicht een zelfde werking, doch minder prominent en vager en zijn moeilijker waarneembaar, maar toch ecologisch relevant, in de zin dat het leidt tot bijzondere verspreidingspatronen van planten. Anisotropie wordt in Drenthe ook veroorzaakt doordat tunneldalen (zie inzet) gevormd in de eerste ijstijd (Elsterien), opgevuld zijn met fijner materiaal (waaronder potklei) dan de omgevende grofzandige rivierzanden. Ten noorden van de Boswachterij Hooghalen en Grollo (zie horizontale stippellijn = zuidelijk begrenzing tunneldalen) zien we hierdoor veel bijzondere kwelverschijnselen, vaak zelfs door de keileem heen, omdat het regionale grondwater hier gedwongen wordt vroegtijdig om hoog te komen. Ook het uitgestrekt kwelgebied in de bovenloop van de Drentse A hangt met deze anisotropie samen (vgl. Everts & de Vries, 1991).*

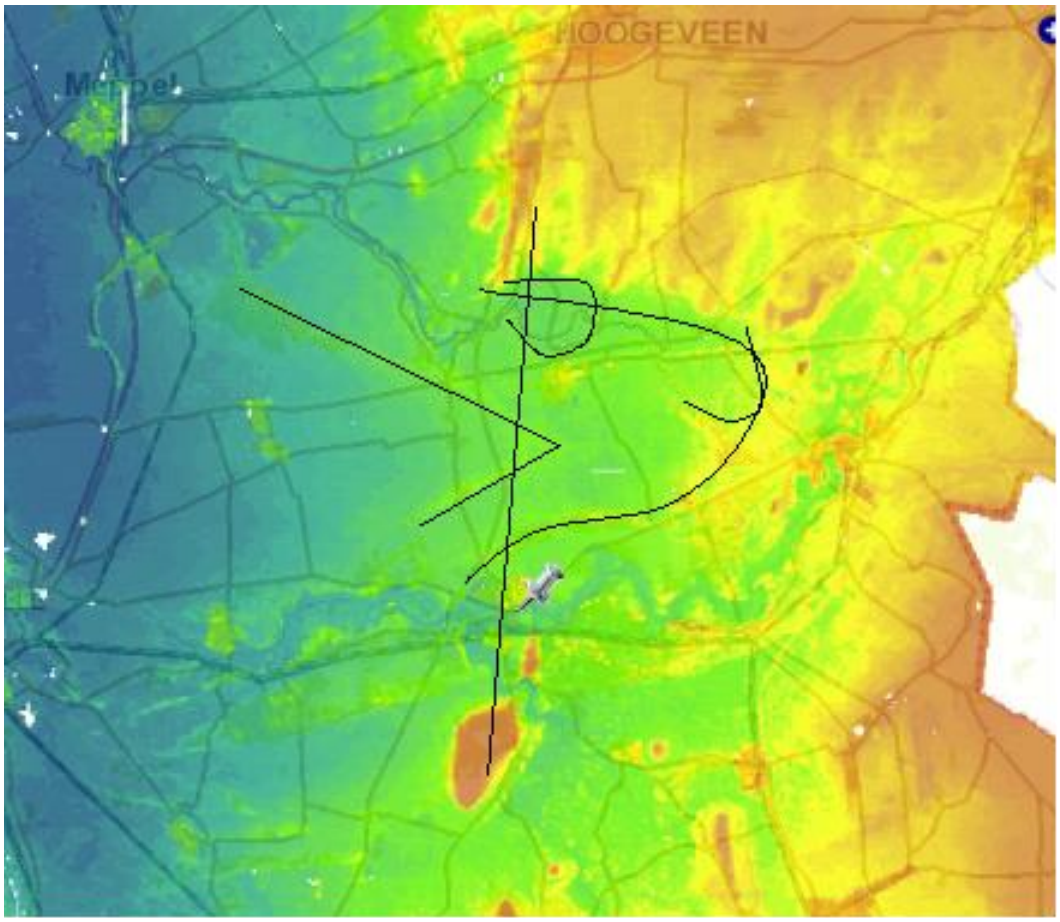
*Figure 2.2: On the Drents-Frisian boulder-clay (till) plateau several ridges occur with in between brook valleys. Anisotropy leads to seepage on a local scale.*

**b. Vechtdalsysteem**

Het Vechtdalsysteem wordt vermoedelijk doorsneden door een fluting (Rappol e.a., 1993) tussen de Sallandse Heuvelruggen en de ruggen van Zuidwolde in Drenthe. Men zou deze rug in navolging van de Sallandse heuvelrug ook als een stuwwal kunnen aanduiden (Figuur 2.3). Afgaande op het oppervlakkig reliëf fungeert ze als een slecht doorlatende verticale zone. Achter deze zone, dus in het oostelijk deel van het Vechtdalsysteem, is van tektonische verschijnselen sprake (mond. med. A. Bosch, RGD). We vermoeden dat een enorme hoefijzervormige structuur rondom Dedemsvaart daar verband mee houdt. Oostelijk hiervan zijn enkele kleinere hoefijzers zichtbaar voornamelijk met openingen naar het westen gericht. Eén hoefijzervormige structuur heeft de opening ruwweg naar het noorden. Dit wijst erop dat het niet om paraboolduinen gaat. De grootste structuur met een diameter van ca. 20 km vertoont vanuit het centrum twee bijna haaks op elkaar staande ruggen, die we als inversie ruggen opvatten. De noordelijkste daarvan reikt tot in de boswachterij Staphorst en wordt ter plekke begeleid door een reeks veentjes (kleine ecotoop Zuur ven en Schijngrondwaterspiegelveentje). De zuidelijke tak was zo nat dat de Ommer wijk er in is aangelegd. Tussen beide takken in laat de bodemkaart bij de Kievitsbuurt beek- en gooreerdgronden zien zonder dat van een beek sprake is. Daarmee wordt hier een situatie weergegeven die vermoedelijk voor de middeleeuwen buiten gewoon algemeen is geweest in het Pleistocene deel van ons land en door de aanleg van beken extreem zeldzaam is geworden (Baaijens e.a., 2011). Het ontstaan van hoefijzervormige structuren hangt vermoedelijk samen met het dalingsbekken bij Coevorden (mond. med. A. Bosch, RGD) en de daarin periodiek optredende drukverschillen in het onderliggende hydrologische systeem. Dit proces lijkt tijdens het Weichselien, toen het dekzand werd afgezet, versterkt te zijn geweest. Het is niet ondenkbaar dat dit mechanisme ook verantwoordelijk is voor de tamelijk abrupte zuidwaartse loop van de Vecht ter hoogte van Hardenberg. Het westelijk deel van het "Oervechtdal" was tot begin vorige eeuw vooral gekenmerkt door heide en hoogveen en omvatte het gebied tussen Reest en Vecht dat in westelijke richting overliep naar Staphorst en Rouwveen. Deze dorpen waren aanvankelijk gevestigd langs respectievelijk het Meppeler diep en het Zwarte water en hebben zich helling opwaarts verplaatst (Ebbinge Wubben, 1835). De oostgrens van deze dorpen werd gevormd door een leidijk, die het zure water vanuit het oosten moest weren. Binnen dit oostelijk gebied kwam, zoals we zagen, een wat basenrijker gebied voor en de overgang naar de zuurdere omgeving moet in ecologisch opzit buitengewoon interessant zijn geweest.

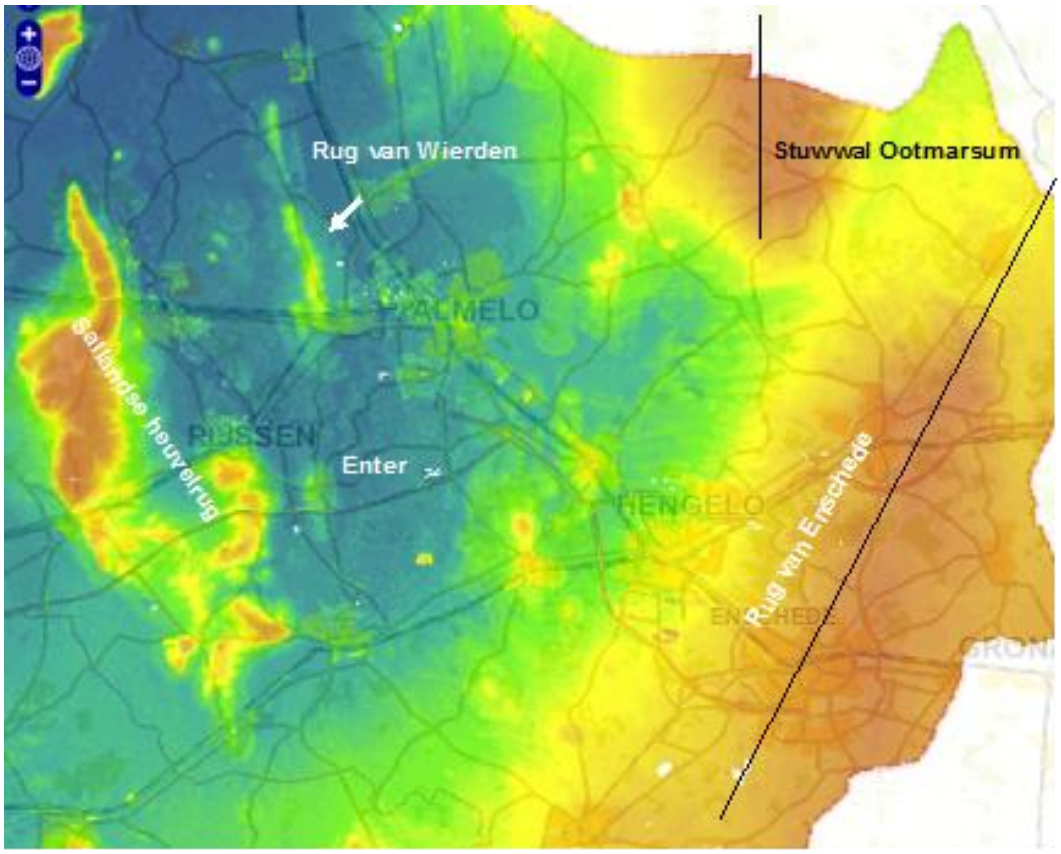
Binnen het Vechtdalsysteem is het dal zelf in hoofdzaak opgevuld met kalkhoudende sedimenten van het Rijnsysteem. Deze sedimenten zijn vaak afgedekt met dekzand. Kleine ecotopen komen onder meer voor in de contactzones van armere en rijkere plekken die samenhangen met omkering van reliëf maar ook met stuwing van dieper grondwater. Praktisch alle veentjes bevinden zich in met ruggen geassocieerde laagtes. Binnen het hoefijzer rond Dedemsvaart heeft zich een enorm hoogveen ontwikkeld. Een zeer bijzondere positie binnen dit stelsel wordt gevormd door het Reestdal. De Reest verbind een aantal verschillende hydrologische systemen en fungeert als een belangrijk bevloeiingstelsel waarvan de meest oostelijke bronnen praktisch tot aan de Vecht reikten. In de overgangszones van dit dal naar de hogere gronden komt een aantal bijzonder veentjes voor maar ook bijzondere heide.

Een ander fenomeen zijn al of niet door de mens gegraven plassen die reiken tot in de basenrijke sedimenten. Daardoor ontstaan bijzondere gradiënten waarbij plantengemeenschappen van zuurdere standplaatsen zijn gebonden aan het dekzand en basenhoudende gemeenschappen op plaatsen tot waar de invloed van met basen verrijkt grondwater uit de diepere sedimenten reikt (kleine ecotoop kwelzone kunstmatige insnijding).




*Figuur 2.3: Hoefijzervormige structuren en ruggenstelsels alsmede de noordzuid georiënteerde fluting in het Vechtdal.*

*Figure 2.3: Horseshoe shaped structures and ridges and north-south oriented fluting in the valley of the Vecht.*




*Figuur 2.4: Stuwwallen en ruggen in Twente.*

*Figure 2.4: Moraine tills and ridges in Twente.*

**c. Twente**

Twente wordt vooral gekenmerkt door ruggensystemen die deels als stuwwal deels als drumlin moeten worden opgevat (Römer, 1956). Het laatste geldt voor de rug waarop Enschede ligt (Figuur 2.4). Tussen de rug van Ootmarsum en die van Enschede heeft naar onderzoekers van Alterra aannemen, een stuwwal gelegen die door oprukkend landijs opzij gedrongen is en verheeld met de rug van Enschede. Op de ruggen wordt vaak keileem aangetroffen en naar het zich laat aanzien heeft ook hier fluting een rol gespeeld. Op de ruggen kunnen bronnenstelsels (kleine ecotoop open bronnen) vrij hoog liggen als gevolg van scheefgestelde ligging van lagen in de stuwwallen. Voor de bronnen op de rug van Enschede kan die verklaring niet opgaan omdat daar niets is scheefgesteld. De verschillen in basenrijkdom in het gebied zijn deels primair. Dat gaat op voor de Rug van Enschede waarvoor Staring al kalkrijke afzettingen beschreef. Als gevolg daarvan is bijvoorbeeld de contactzone met het Aamsveen mesotroof. Voor een ander deel hangt basenrijkdom samen met diepere stroombanen. Voor zuidelijk Twente lijkt het vermoeden gerechtvaardigd dat ook hier verticale anisotropie als gevolg van drukverschillen in het landijs daarbij een rol spelen. Elders is de basenrijkdom soms een neveneffect van menselijk handelen. Zo is bekend dat het water van de Buurser beek dat uit het zeer kalkrijke Münsterse bekken kwam voor 70 % over de ten noorden van de beek gelegen heide en veengronden werd geleid. De rijkdom van soorten uit alkalisch laagveen in dit gebied hing dan ook met deze bevloeiingwerken samen (Baaijens e.a, 2011). Plaatselijk was zelfs het voorkomen van grote zeggen in heide aan de orde (kleine ecotoop bevloeide heide).

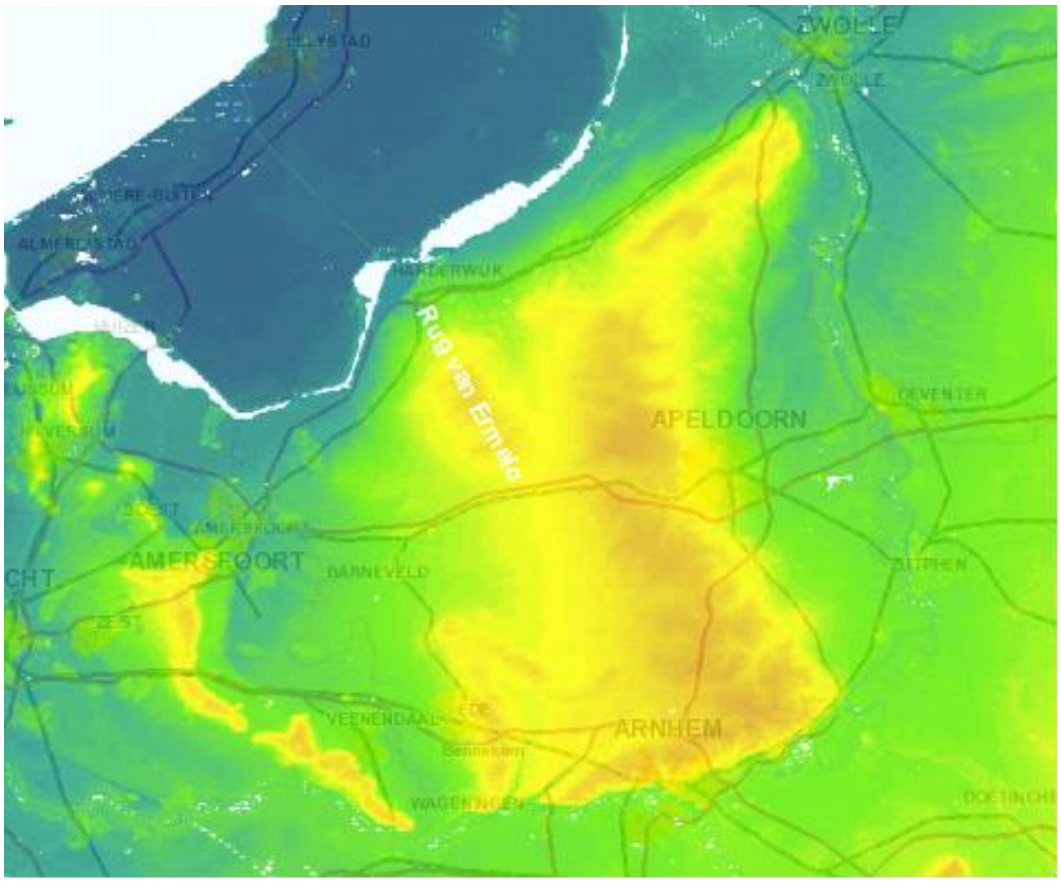
In Noord Twente speelt ook de noord-zuid gerichte stuwwal van Ootmarsum een belangrijke rol alsmede de goeddeels op Duits grondgebied gelegen oost west gerichte stuwwal van Uelsem. Binnen de haakse structuur van de hoogten die dat oplevert, vond men de venen van Vroomshoop, Vriezenveen en de Engbertsdijkvenen. Uit de vroegere kolonisatie van Vriezenveen valt af te leiden dat het hier niet alleen maar om hoogveen ging maar dat ook basenrijk veen een rol speelde. Hoog op de flanken overheerste het hoogveen, dat zich in noordelijke richting om de stuwwal van Uelsem heen nagenoeg tot aan de Vecht toe uitstrekte. De westelijke grens van deze venen werd bepaald door de rug van Wierden. Ook aan de westzijde van deze rug kwam overigens nog hoogveen voor (Wierdense veld). Halverwege de stuwwal van Ootmarsum en de Sallandse heuvelrug (de laatste vormt de westgrens van Twente) komt een wat kleinere stuwwal voor waarop onder meer Enter is gelegen. De Regge stroomt rond de noordrand van dit stuwwalletje, en vermoedelijk ligt hier een begraven stuwwal (= afgetopt en overdekt) onder het Reggedal. De woelige hydrologische geschiedenis vindt zijn neerslag in het Mokkelengoor wat ooit een alkalisch laagveen is geweest (kleine ecotoop klakmoeras) (Grootjans e.a., 2004).

De Dinkel ligt oostelijk van de stuwwallen van Ootmarsum en Uelsem en eveneens oostelijk van de Rug van Enschede. Hoewel de meeste Nederlandse beken gegraven zijn is in elk geval de benedenloop van de Dinkel zowel als de Regge in dat opzicht onverdacht: deze beken werden al in de Romeinse tijd bevaren en de meandering is er vermoedelijk gewoon natuurlijk (Baaijens et al., 2007). Het contrast tussen het gebied westelijk van de stuwwal en dat ten oosten ervan schuilt vooral in een verschil in het voorkomen van veen: zeer algemeen ten westen en zeer zeldzaam ten oosten. De zeldzaamheid aan de oostrand van Twente hangt samen met het contact met het Münsterse Bekken dat er direct aan grenst en veel kalkrijke sedimenten bevat en waarvan uit vele beken en de Vecht ontspringen (Baaijens e.a.l, 2011: pag. 24). De bovenloop van de Dinkel, ook op Nederlands grondgebied, wordt gekenmerkt door reeksen inversieruggen. Die ruggen zijn de basis voor diverse mesotrofe systemen op en naast de ruggen met andere woorden wat rijkere vochtige heide systemen en mesotrofe plassen zoals de Bergvennen (Jansen, 2000).

**d. Het Veluwe massief**

Dit landschap is gekenmerkt door de aanwezigheid van stuwwallen en soms zeer massieve voorkomens van zandlichamen (Figuur 2.5). In de stuwwallen komen soms grote grondwaterstandsprongen voor (bijvoorbeeld 14 meter bij Apeldoorn (Wartena, 1969) en op verschillende niveaus komen sprengen voor; dat wil zeggen de kunstmatig geopende bronnen van bekenstelsels (kleine ecotoop open bron). De grondwaterstandsprongen worden veroorzaakt door opgestuwde oudere afzettingen die kunnen leiden tot de aanwezigheid van schuingestelde klei en leemlagen die als hydrologische barrière fungeren. Door deze constellatie kunnen bronnen hoog op de flanken van de stuwwallen voorkomen. Daar danken we ook onze kunstmatige waterval bij Beekbergen aan. Op kleiner schaal heeft deze opstuwing van water ook tot hellingveentjes geleid waaronder het bij botanici beroemd Wisselse veen. De bekenstelsels zijn gegraven voor bevloeiing dan wel voor opwekking van energie (watermolens) en wasserijen. Omdat de functie van bevloeien bij tijd en wijle onverenigbaar was met de andere functies zie je soms gescheiden beken stelsels dan wel voorzieningen in een beek die menging van watertypen onmogelijk maakte (zie Sprengen Hartensche beek bij Vaassen). IJzer en kalkrijk water was ongeschikt voor wasserijen, maar kon wel worden gebruikt voor andere functies.

Op de overgang naar het IJsseldal zien we een vergelijkbaar verschijnsel als in Salland: een west-oost gericht bekenstelsel maakt abrupt plaats voor een zuid-noord gericht stelsel.  De beken maken plaats voor 4 weteringen die evenwijdig aan de IJssel stromen. Belangrijk beginpunt voor de weteringen was het voormalige Beekbergerwoud en het nabijgelegen Elsbos. Om te voorkomen dat dit water tussentijds afstroomt naar de IJssel had men de Veluwe bandijk aangelegd. Deze dijk diende dus niet om primair IJsselwater buiten te houden maar om beekwater binnen te houden (Baaijens e.a., 2011).




*Figuur 2.5: De stuwwallen van de Veluwe en Utrechts Heuvelrug met daartussen de Gelderse Vallei*

*Figure 2.5: Moraine tills of the Veluwe and Utrechtse Heuvelrug and in between the Gelderse Vallei.*

De Veluwe zelf kent aan de westrand nog een tweetal stuwwallen namelijk de rug waarop Ermelo ligt en die waarop Wageningen, Ede en Lunteren liggen. Tussen de noordelijke vertegenwoordiger en de grote oostelijke stuwwal ligt het dal van de Hierdense beek. De beek begon in het Blekemeer en het Uddelermeer. Het Blekemeer dankt haar naam vermoedelijk aan moeraskalk (blek) (Polak, 1959) en inderdaad is in de ondergrond een kalkgyttja gevonden (kleine ecotoop kalkmoeras). Recent is hier nog Veenmoszegge (*Carex limosa*) gevonden.
Westelijk van de beek kwamen uitgebreide leemafzettingen voor, die voor een deel zijn geëxploiteerd. Ze staan nu bekend als de Staverdense leemputten. Noordelijk stroomt de beek door zandverstuivingen.  Bij Nunspeet is door uitstuiven het Mosterd veen in feite kunstmatig vergroot. In dit vergrote veen is nog steeds Veenbloembies (*Scheuchzeria palustris*) te vinden.

Op de zuidelijk grens van de Veluwe liggen opnieuw het IJsseldal en het Rijndal (Figuur 2.5). Zeer bijzonder is hier het Faisantenbos in het Landgoed Middachten. Dit bos heeft vermoedelijk het meeste weg van het voormalige Beekbergerwoud. Er zijn krachtig ontwikkelde bronnen en Knikkend nagelkruid (*Geum rivale*) kwam hier nog in een natuurlijk setting voor, namelijk rondom elzenstoven die als eilandjes boven een zandige bodem uitsteken. Dit systeem watert af op de voormalige uiterwaard.

**e. Utrechtse heuvelrug en Gelderse vallei**

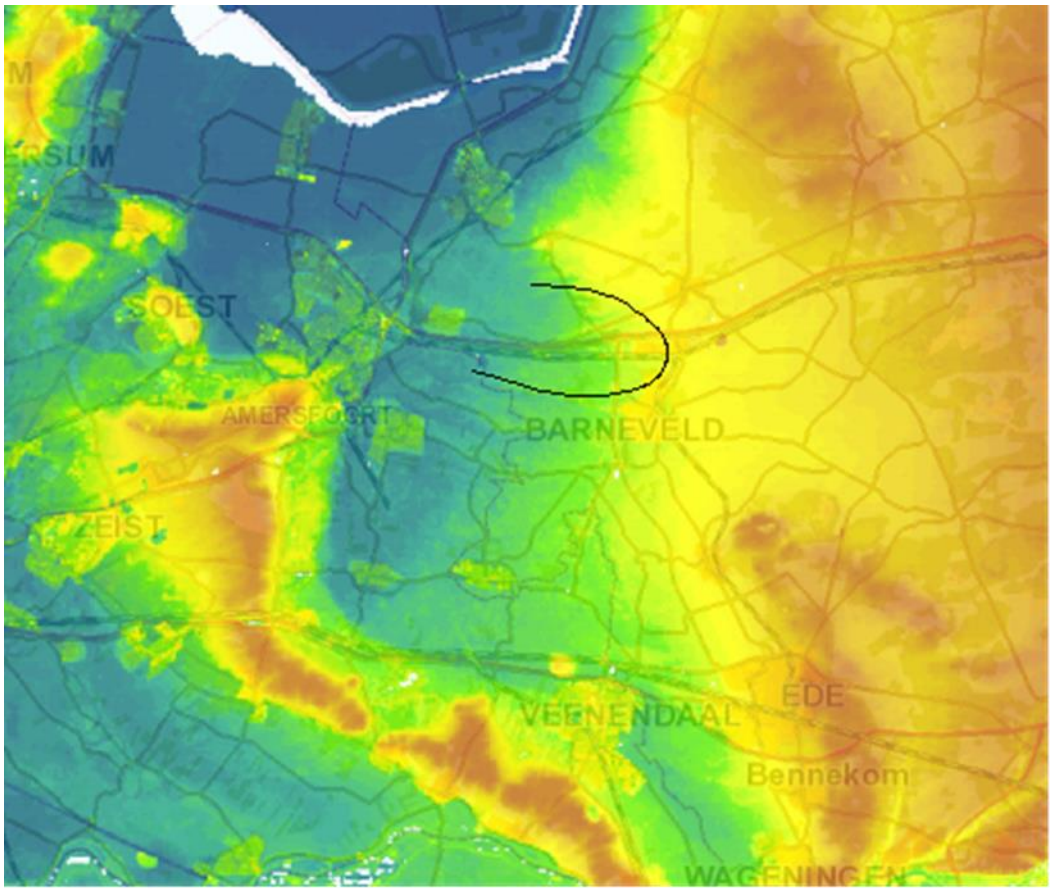
De Utrechtse heuvelrug is vergeleken met andere stuwwallen opvallend arm aan bronnen. Tussen deze stuwwal en het complex van de Veluwe strekt zich een vlak gebied uit dat in het algemeen wordt aangeduid als de Gelderse vallei (Figuur 2.5 en 2.6). Uit de ondergrond van deze vallei is als eerste de Eemklei beschreven (zie o.m. Baaijens e.a. 2003). Gewoonlijk stelt men zich daar een uniforme kleilaag bij voor. Uit het patroon van het bovenliggende dekzand kan echter worden afgeleid dat er lokaal beter doorlatende afzettingen in de formatie voorkomen en uiteraard is dat logisch omdat de Eemklei een waddenafzetting is. Dat betekent dat er ook geulenstelsels en zandige oeverwallen aanwezig zijn.

De vallei valt in een aantal deelgebieden uiteen. In het uiterste zuiden lag bij Achterberg en Wageningen vanouds grasland. Iets noordelijker lag aan de westzijde een hoogveen waaraan Veenendal zijn naam te danken heeft, en aan de oostzijde ruwweg tussen Wageningen en Lunteren kwam bevloeid grasland voor, afgewisseld met smalle lange complexen bouwland. Op de grens tussen het vroegere hoogveen en het bevloeide grasland lag de Haarwal. Die wal lag geheel op Gelders gebied en vormde dus geen grenswal in politieke zin, maar wel een grens in hydrologisch zin. We vermoeden dat ze aanvankelijk diende om het zure water van het hoogveen te weren en na de afgraving van dat veen een nieuwe functie kreeg, namelijk om het basenrijke water exclusief voor de boeren van Wageningen, Bennekom, Ede en Lunteren te behouden.
Noordelijk van dit gebied belanden we in het stroomgebeid van de Lunterense beek. De beek begon aanvankelijk aan de oostrand van de stuwwal van Lunteren, boog om de stuwwal heen naar het zuiden en kwam uiteindelijk aan de westkant van het dal uit op de Eem. Deze merkwaardige loop diende om een aantal beken zuidelijk van de Barneveldse beek te voorzien van water.

Barneveld zelf ligt op de achterrand van een ca 7 kilometer lange en 5 kilometer brede hoefijzervormige dekzandrug (Figuur 2.6). Zowel in het centrum daarvan als langs de verhoogde randen komen tientallen bronnen voor. Binnen deze structuur vinden we een aantal beken waarvan een tweetal namelijk de Grote Barneveldse beek en de Esvelder beek, door de achterrand breken naar bronnenniveaus die feitelijk met de stuwwallen samenvallen. Het meest noordelijk deel van de vallei heeft een afwatering richting die noordwest is georiënteerd. Lokaal was ooit binnen de Gelderse vallei sprake van aan Giethoorn herinnerende vaarpoldertjes rond Zwartbroek. Brakke afzettingen uit de Eemperiode bieden nog steeds de basis voor binnendijks voorkomende brakwater gemeenschappen in Eemland en Arkemheen.

Vroeger kwamen in de Gelderse vallei ook alkalisch laagveen, of zelfs kalkmoeras s.l. voor. Een laatste staartje daarvan is te vinden in het Meeuwenkampje of in Groot Zandbrink, een diffuse bronlocatie op de waterscheiding (Van den Broek e.a., 2009). Niet uitgesloten is dat deze samenhangt met een beter doorlatende plek in de onderliggende Eemklei, bijvoorbeeld voormalige zandige oeverwallen. Groot Zandbrink kent in

horizontale richting op zeer korte afstanden niet alleen kwel maar ook wegzijging. Dat betekent dat op zeer korte afstanden sterk basische en zure omstandigheden elkaar afwisselen waarbij pH sprongen van 2-3 eenheden mogelijk zijn bij zeer geringe hoogteverschillen (10-20 cm) (Everts, 2001) . Dit verschijnsel hangt samen met de hoge stijghoogten van het diepe grondwater, bepaald door het Veluwe massief. De Eemklei zelf moet doorlatende plekken kennen: lokaal immers komt zeer basenrijk water aan de oppervlakte. In combinatie met een geremde oppervlakkige afvoer leidt dat tot het geschetste beeld. In hoeverre dit systeem is aangetast door onder meer de aanleg van zandwinputten en vooral de Zuiderzee polders is feitelijk nog steeds onduidelijk.




*Figuur 2.6: Gelderse Vallei met hoefijzervormige dekzandrug rond Barneveld (naar Baaijens e.a, 2003).*

*Figure 2.6: Gelderse Vallei with horseshoe shaped cover sand ridges around Barneveld (Baaijens e.a., 2003)*

**f. De Achterhoek**

Een grote natuurlijke grens in de Achterhoek wordt gevormd van de steilrand Aalten-Neede die goed op de digitale hoogtekaart van Nederland (AHN) zichtbaar is (Figuur 2.7). Oostelijk van deze grens liggen oudere afzettingen (Tertiair en ouder) aan of nabij het oppervlak. Westelijk daarvan ligt een betrekkelijk vlak gebied, dat alleen bij Lochem en Zelhem wat opvallende hoogtes kent. Deze hoogten markeren een afgeslepen stuwwal die zich tot aan het Montferland uitstrekte. Hoewel het deel tussen Lochem en Montferland aan het oppervlak niet meer herkenbaar is, is het nog steeds bepalend voor de waterhuishouding van de westelijke Achterhoek. Oppervlakkig hydrologisch contact tussen het oostelijk daarvan gelegen deel

en het westen was feitelijk slechts mogelijk bij een tweetal laagtes bij Ruurlo (Ruurlosche beek en Veengoot).

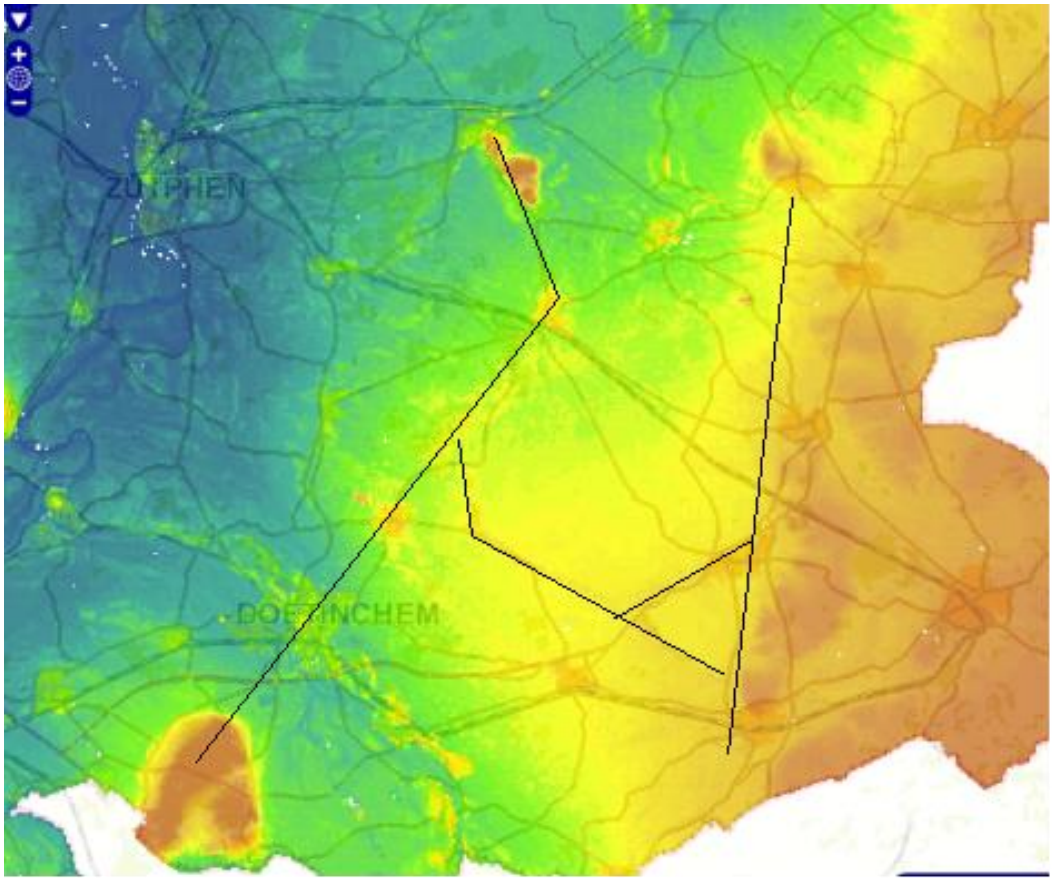
Binnen het oostelijke deel valt een tweetal ruggen op. De langste is min of meer zuidoost noordwest georiënteerd en wordt wel als Romeinen diek, Helweg of Heelweg aangeduid. De eerste naam dankt ze aan kaarsrechte beloop dat als een erfenis van de Romeinen wordt beschouwd, de tweede aan de ligging tussen venen. De rug hangt vermoedelijk samen met een breuk in de ondergrond die heeft geleid tot een opwaarts waterbeweging en een daarmee samenhangende invang van zand tijdens het Weichselien. Een wat korte rug vinden we tussen Vragender en Lichtenvoorde. Ze staat schuin op de Helweg en sluit ook aan op de Helweg. Beide ruggen en de steilrand omsluiten het Aaltense goor.

Zuidelijk vinden we langs de Oude IJssel een wat verbrokkelde rug die zich uitstrekt tot aan Doesburg. Ze hangt samen met een verlaten tak van de Weichselien Rijn. We zouden haar hier niet noemen als niet in het Landgoed Hagen, westelijk van Doetinchem, vennen voorkwamen waarin Canadees hertshooi (*Hypericum canadense*) groeit (mond. med. T. Roozen, Het Geldersch Landschap). Tussen deze rug en de Heelweg ligt een serie dekzandruggen. De tussen gelegen laagten werden bevloeid met water uit de Aaltense slinge, het surplus aan water werd ook afgelaten naar het gebied ten westen van de begraven stuwwal. Dit vroegere veengebied dat zich uitstrekte tussen Doesburg (is heuvel in het veen) en Zutphen (is zuidveen), bestond uit ijzerrijke en kalkrijke venen, hier respectievelijk aangeduid als rode blek en blek (Polak, 1959; Baaijens, 2003). Kalkmoerassen komen echter ook pal westelijk van de begraven stuwwal voor, waaraan een naam als Blekweg nog herinnert. De kalkrijkdom pal naast een hoge plek is hier bepaald door opstuwing van grondwater tegen de begraven stuwwal. Het achterliggende veen was daarom ook niet allemaal basenarm zoals blijkt uit een 15de eeuwse bron die gewag maakt van bescherming van Wilde appel (*Malus sylvestris:* basenminnende soort) (Baaijens & Van der Molen, 2006).

Het Winterwijks plateau wordt doorsneden door enkele dalen die althans ten dele als tunneldalen onder het Saalien landijs worden beschouwd. Bij de vorming van het landschap zijn ook breuken in hoge mate bepalend geweest. Het meest duidelijk is dat bij de afsnoering van het tunneldal Haaksbergen-Dinxperlo ter hoogte van de weg Groenlo - Winterswijk. In het hart van het tunneldal is een hoge rug gevormd en tussen deze rug en Vragender kon in een restlaagte het Korenburgerveen ontstaan. Voor een deel bestond dit uit hoogveen, maar getuige het vroeger voorkomen van Muggenorchis (*Gymnadenia*) was ook basenrijk veen aanwezig. Dit water stamde uit de hiervoor genoemde rug die we als een inversierug opvatten en die kennelijk met basenrijk water gevoed werd. Ook dit is een verschijnsel dat met breuken samenhangt (Grontmij, 1994) .

Het al lang bekend alkalisch laagveen van ons land is op het Winterwijkse plateau gevonden. Dat is het Blekkinkveen op de grens met Duitsland. Dit water is vermoedelijk verrijkt door ondiepe kalkrijke formaties uit het Tertiair. Hoewel dit veen van nature een overlaat naar het zuiden heeft is de Stortelerse beek door hoge ruggen heen gegraven om dit waardevolle water naar het noorden af te leiden. De ondiepe ligging van het Tertiair met slechts doorlatende lagen leidt op meerdere plaatsen tot bijzonder hydrologische omstandigheden en de aanvoer van basenrijk water. Door de opduikingen kan het bovenliggende watervoerend pakket uitwiggen op de slecht doorlatende lagen en tot (zeer) basenrijke kwel, waarvan het oorspronkelijk alkalisch

laagveen in de Willinks Weust voor de verdroging afhankelijk was (Westhoff & de Miranda, 1938).

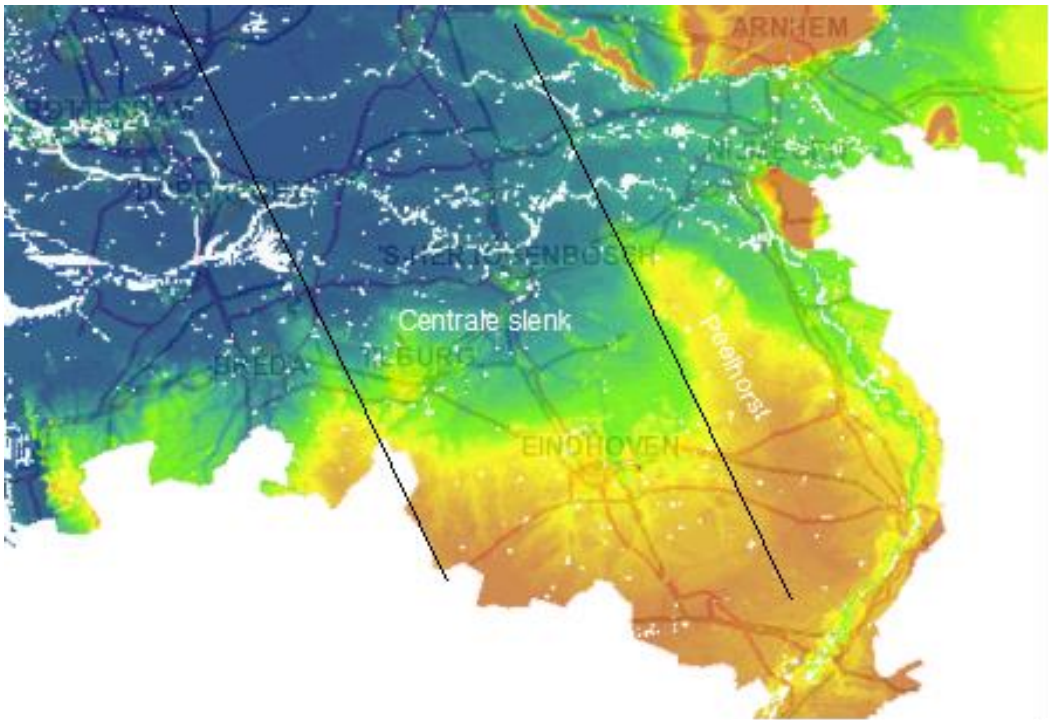



*Figuur 2.7: De Achterhoek. Rechts de steilrand van Aalten-Neede. Links de afgeslepen stuwwal van Zelhem – Montferland. Midden min of meer van west naar oost de Heelweg en de verbindende oostelijke rug tussen Vragender en Lichtenvoorde.*

*Figure 2.7: The Achterhoek. On the right the steep slope of Aalten - Neede. On the left the degraded moraine tills of Zelhem – Montferland. In the middle from west to east the Heelweg and the connecting ridge between Vragender and Lichtenvoorde.*

**g. Het Noord-Brabants / Limburgse zandlandschap**

Dominant in dit gebied is de centrale slenk (figuur 2.8). In dit dalingsbekken stroomde voorheen de Maas. Vermoedelijk door tektonische bewegingen heeft die haar loop verlegd waardoor ze nu dwars op de centrale slenk stroomt. Ter weerzijde wordt de slenk begrensd door hogere gebieden. Aan de oostzijde is dat de Peelhorst en aan de westzijde de hoogte waarop Dorst is gelegen. De Peelhorst is bij hydrologen en ecologen bekend geworden door de overgang naar de Centrale slenk, de daar optredende sterke grondwaterstandsprongen en daarmee geassocieerde tegenstellingen tussen natte hoogten en droge laagten. Deze zogenaamde wijstverschijnselen zijn voor het eerst beschreven voor de omgeving van Uden en de Meinweg (Gonggrijp, 1977).



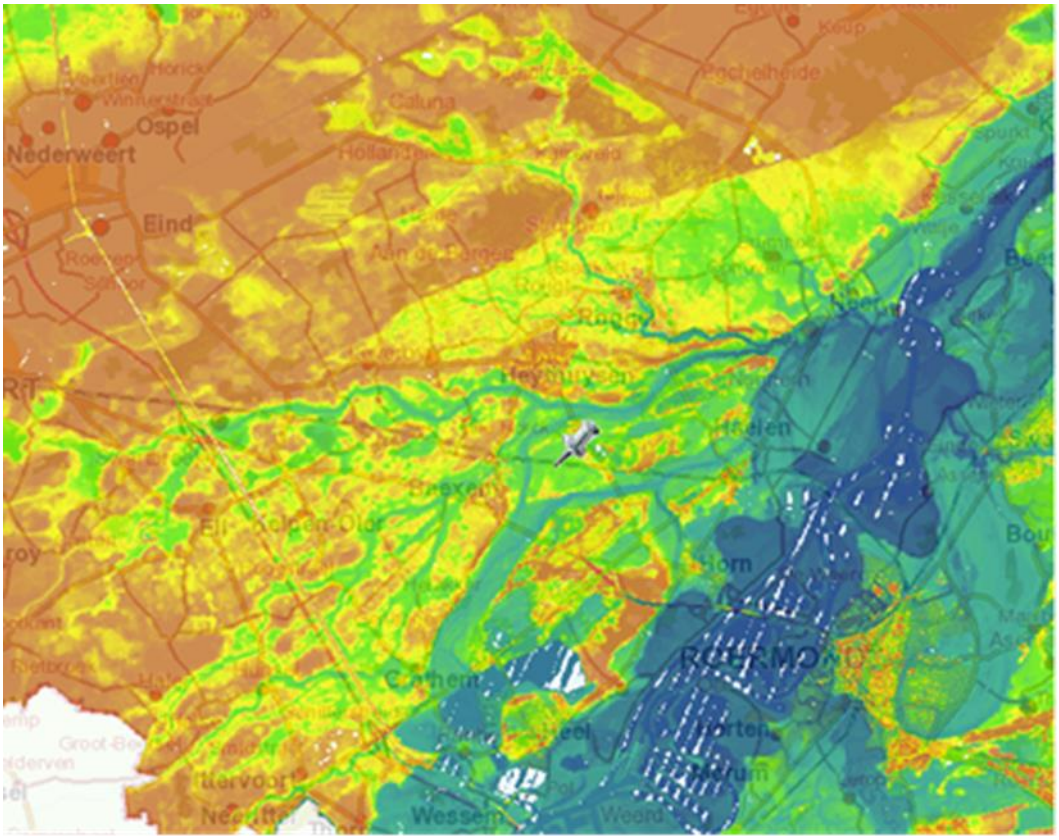

*Figuur 2.8: Noord-Brabant met de Centrale slenk en de Peelhorst.*

*Figure 2.8: The province of Noord-Brabant with the Centrale slenk (trench) and the Peelhorst.*

Verticale anisotropie blijkt echte een zeer algemeen verschijnsel te zijn en uit zich zowel in de centrale slenk als boven op de Peelhorst in de vorm van steilrandjes, haakse knikken in zandverstuivingen, ijzeroervoorkomen in randen van vennen e.d. Wat betreft dat laatste: behalve ijzer wordt gewoonlijk ook basen (bicarbonaat en calcium) mee aangevoerd, en de mate waarin dat gebeurt is sterk verschillend. Juist die verschillen maken vermoedelijk dat de Brabantse vennen hoewel geringer in getal dan veentjes in Drenthe, toch een veel grotere soortenrijkdom te zien geven met name in de vorm van zwakgebufferde soorten (Baaijens, 1992). Van bijna alle Brabantse vennen is bekend dat oorspronkelijk hoogveen bevatten. Toch denken we dat de aanvoer van bufferstoffen oorspronkelijk is, zij het aanvankelijk beperkt tot de randen van de systemen. De buffering en mesotrofie werd in een later stadium bevorderd door het gebruik van verveende plassen als spaarbekkens voor basenrijk grondwater. Voor de aanvoer daarvan getrooste men zich soms grote moeite. Zo is de Peelrijt gegraven om daarmee een reeks laagtes waaronder het Beuven met dit water te vullen. Het basenrijke karakter van dit water blijkt nog uit de naam van het afvoer kanaaltje uit het Beuven, de Witte loop (Baaijens et al., 2011).

De oostzijde van de Peelhorst geeft een verschijnsel te zien dat in ons land betrekkelijk zeldzaam is, namelijk terugschrijdende erosie (Leudal en omgeving). Oorzaak daarvan is de verlegging van de Maas van de centrale slenk naar het noordoosten. Ze is daarbij door de Peelhorst heen gebroken en dit leidde tot verlaging van de ontwatering basis zowel op de Peelhorst als aan de oostrand daarvan (Figuur 2.8) (Baaijens & Van der Molen, 2004). Als gevolg daarvan kon op de Peelhorst op den duur een groot oppervlak hoogveen worden gevormd terwijl op de oostflank op overgang naar het Maasdal beken insneden. Dat maakt de situatie met betrekking tot beken en beekdalen in dit gebied uitzonderlijk ingewikkeld. Niet voor niets gaf Chris van Leeuwen het gebied tussen Weert en de Maas als het meest gradiëntrijke

gebied van Nederland aan. Het AHN laat hier op veel plaatsen zeer ingewikkelde patronen van  beekdalen en oude hogere liggende lopen van de Maas zien (Figuur 2.9). In ieder gevel komen in de diep ingesneden beekdalen veel (diffuse) bronsituatie voor die basenrijk zijn maar vaak ook weer zijn verdroogd door recente beekverbeteringen (bijv. Leudal).




*Figuur 2.9:  Leudal en omgeving. Het Leudal ligt ten zuiden van Heythuysen en Rogge.*

*Figure 2.9: Leudal and surroundings. The Leudal is situated south of Heythuysen en Rogge.*

In het westelijk deel van Noord-Brabant vormt de Mark c.s. de grens tussen het plateau van Dorst en de hogere gronden van de Brabantse wal. Het stelsel van de Chaamse beken was het grootste zijdal van de Mark, en feitelijk gaat het hier om dwars door ruggen heen met elkaar verbonden stelsels van voor de bevloeiing gegraven beken met een overloop in tijden van grote afvoeren naar de Strijbeekse heide.  In de hogere gronden van de Brabantse wal is vroeger op grote schaal hoogveen afgegraven. Deels lag dat op een kalkgyttja en ook hier werden toponiemen met Blek of Blik gevonden.  Elders in Brabant sprak men wel van bleek maar uit de ligging van deze bleken op kilometers afstand van naburige dorpen kan worden afgeleid dat eerder sprake van "kalkmoerassen" dan van bleken in de betekenis van het bleken van de was. De overgang naar de Grote Peel  was door dergelijke bleken gekenmerkt en uit beschrijvingen van Hugo de Vries, weten dat het hier om zeer orchideeënrijke vegetaties ging. Bijzonder element van het Brabantse waren de matig gebufferde vennen, waarvan  mag worden aangenomen dat zij ook door basenrijk water werd beïnvloed.

Ook aan de oostzijde van het Maasdal komen bijzondere kleine ecotopen voor. In het noorden begint dat met de bronnen op de Jansberg, het meest

zuidelijk puntje van de stuwwal van Nijmegen (Figuur 2.8) . Direct grenzend aan de stuwwal lag vroeger een hoogveen op Weichselien klei, het Herenveen. In de zandruggen van de oostzijde van de maas ten zuiden hiervan, trokken de Bergervennen vanouds de aandacht. Hun doorlatendheid werd hier bepaald door de afzetting van humus op het contactvlak van infiltrerend regenwater en basenrijk grondwater. Als gevolg van waterwinning zijn ze lek geraakt en gedegradeerd. Nog zuidelijker was het gebied van de Meinweg vanouds beroemd om zijn vochtige heide en vennen en hellingveentjes met veel Beenbreek *(Narthecium ossifragum*). In Zuid Limburg tenslotte ligt in een voormalige bruinkoolgroeve een van de mooiste hoogveentjes van Nederland. Dit hoogveen rust op zilverzand (Tertiair strandzand) en het voortbestaan daarvan is direct afhankelijk van de winning van dit materiaal in een aangrenzend gebied. In een nabij gelegen natuurlijke laagte op de Brunsummer heide is eveneens sprake van vochtige heide en hoogveengemeenschappen, en zelfs een helling (doorstroom) veentje.

# 3 Indeling van kleine ecotopen: een overzicht

## 3.1 Op zoek naar een zo volledig mogelijk overzicht

In de natte delen van de hogere zandgronden, het "nat zandlandschap", zijn met name de hoogvenen, vennen en natte graslanden goed onderzochte ecosystemen. Een deel van de biodiversiteit in het nat zandlandschap bevindt zich echter buiten deze ecosystemen. Het kan hierbij gaan om grotere ecosystemen, zoals vochtige bossen, maar ook om locaties van slechts enkele vierkante meters zoals een bron of een hellingveentje. Deze kleinere vochtige systemen worden wel "Assepoesters" genoemd. Van de meeste van deze systemen is nog onvoldoende bekend hoe zij functioneren en of ze na degradatie hersteld kunnen worden en hoe dat dan moet. Ook ontbreekt vaak inzicht in de ruimtelijke samenhang van deze systemen met de omgeving, en de toegevoegde waarde die dit heeft voor het functioneren van het nat zandlandschap als geheel.

In de offerte-aanvraag zijn kleine ecotopen als volgt gedefinieerd:
"Ecotopen met een relatief klein oppervlak die voorkomen in gradiënten van lokale grondwatersystemen. Ze bevinden zich allen op een hoog-laag gradiënt in een kleinschalig en van nature voedselarm en overwegend zuur landschap, waarvan ze sterk afhankelijk zijn en waardoor ze beïnvloed worden. Ze zijn gekenmerkt door vochtige tot natte, min of meer zure, soms zwak gebufferde tot neutrale, oligo- tot oligomesotrofe omstandigheden".

Zowel afzonderlijke soorten als de ecotopen als geheel zijn niet alleen afhankelijk van de standplaats, maar ook van de omgeving. Voor veel diersoorten gaat het dan om landschappelijke afwisseling en dus om de samenhang met andere ecotopen. Voor veel plantengemeenschappen is de kwaliteit van de ecotoop van primair belang en deze wordt in belangrijke mate gestuurd door de hydrologische relatie met de omgeving. De landschappelijke inbedding is dus een factor die vanaf het begin moet worden meegenomen. Een zelfde ecotoop met een andere landschappelijke inbedding kan immers weer voor andere plant- en diersoorten belangrijk zijn en zal mogelijk een ander beheer vragen bij het herstel van waarden.

Om te komen tot de ordening van ecotopen kunnen in principe twee ingangen worden gekozen, namelijk op topisch of standplaatsniveau (dan wel plantengemeenschappen), en op chorisch of landschapsecologisch niveau (functionele eenheid van samenhangende levensgemeenschappen). Beide benaderingen hebben hun voor- en nadelen. Als deze evenwel in samenhang worden gebruikt komt de focus bij het bepalen van herstelmaatregelen zowel op standplaatsniveau als op landschapsecologisch niveau te liggen waarmee wordt geborgd dat het hele palet aan inrichting- en beheersmaatregelen voor de instandhouding van kleine ecotopen in beeld komt.

De topische benadering is uitgewerkt op basis van het overzicht van de plantengemeenschappen van Nederland (Schaminée e.a., 1995, 1996, Stortelder e.a., 1999). Voor alle plantengemeenschappen die voor kunnen komen in het nat zandlandschap is nagegaan in welke ecotopen deze aanwezig zijn (Tabel 3.3).

De chorische benadering is uitgewerkt door eerst te verkennen welke geografische eenheden kunnen worden onderscheiden in het (nat) zandlandschap en vervolgens binnen deze eenheden te kijken welke hydrologische gradiënten daarin voorkomen en welke ecotopen daarvoor kenmerkend zijn. De uitwerking van deze hydrologische gradiënten heeft deels in een ander, maar gelijktijdig lopend, project plaatsgevonden waarin herstelstrategieën voor gradiënten zijn opgesteld (Everts e.a., 2011). Vervolgens levert de integratie van beide benaderingen een lijst op met ecotopen van het nat zandlandschap. Uit deze lijst kunnen de grote, goed onderzochte systemen worden geschrapt, zoals de hoogvenen en een aantal ventypen. Vervolgens blijft een lijst met systemen over, die in het vervolg "kleine ecotopen" worden genoemd. Deze lijst wordt aan het einde van dit document gepresenteerd.

## 3.2 Landschapsecologische – chorische - indeling

Binnen de eerste lijst van chorische Kleine ecotopen kunnen een aantal (hoofd)groepen worden onderscheiden die hydrologische grondslag hebben. Het overzicht van deze kleine ecotopen met voorbeelden staat in tabel 3.1.

*Tabel 3.1: Overzicht van Kleine ecotopen in het nat zandlandschap, op basis van een landschapsecologische benadering.*

*Table 3.1. Overview of small habitats in the wet sandy areas, based on a landscape ecological approach. A division has been made in atmotrophic systems with a perched water table (A/C), atmotrophic systems depending on the water table (D/G) and lithotrophic systems depending on the water table (H/R).*

| ***Indeling van Kleine ecotopen op landschapsecologische grondslag*** | | |
|---|---|---|
| | | |
| **atmocliene systemen met schijnspiegel** | | **voorbeeldgebieden** |
| **A** | hellingveentje | Bosoord, Leuvens ven |
| **B** | schijnspiegelveentje | Zandveen, Kliplo (Dwingelderveld) |
| **C** | schijnspiegelveentje met toestroom van atmoclien grondwater | Holtveen (Dwingelderveld, Gerritsfles |
| | | |
| **atmocliene systemen grondwaterspiegel afhankelijk** | | |
| **D** | pingo o.i.v. lithoclien grondwater | Uddelermeer, Papedobbe (Bakkeveensduinen) |
| **E** | zuur heideven grondwaterspiegelafhankelijk nabij waterscheiding | Lankheet |
| **F** | zwak gebufferd heideven grondwaterspiegelafhankelijk | Andremedaveen/Mosterdveen (Nunspeet) |
| | op afstand waterscheiding of met leemlagen | |
| **G** | bevloeide heide | Lankheet |
| | | |
| **lithocliene systemen grondwaterspiegel afhankelijk** | | |
| **H** | beekdalrandveentje | IJsbaan Ansen |
| **I** | oorsprong beekdal (stroet) | Balloerveld |
| **J** | bron in beekdal gevoed met zuur tot zwak gebufferd grondwater | Springedal |
| **K** | bron in beekdal gevoed met basenrijk grondwater | Duivelsberg (Nijmegen) |
| **L** | spreng | Veluwe |
| **M** | bron in beekdal gevoed met basenrijk grondwater; | Burgvollen (Drentsche AA) |
| | puntbronnen met diffuse verspreiding kwelwater | |
| **N** | plas met bodem in basenrijk sediment | Boswachterij Staphorst |
| **O** | heideplas doorstroom met beekwater | Bergvennen, Beuven |
| **P** | alkalisch laagveen | Willinks Weust |
| **Q** | basenarm hellingveen | Brunsemerheide |
| **R** | basenrijk hellingveen | Mosbeek |

**Atmocliene systemen met schijngrondwaterspiegel**
Deze groep van kleine ecotopen zijn geïsoleerd van het (sub)regionale systeem en kennen een eigen lokaal grondwatersysteem. Het zijn lage plekken in het nat zandlandschap met een schijngrondwaterspiegel waarbij de voeding (vrijwel) uitsluitend uit regenwater bestaat. Daarin is nog de volgende onderverdeling aan te brengen:

- Uitsluitend gevoed door regenwater (klein ecotooptype: A en B)
- In natte perioden mede gevoed door grondwater uit de omgeving (klein ecotooptype: C)

**Atmocliene systemen grondwaterspiegel afhankelijk**
Deze kleine ecotopen hebben een eigen grondwatersysteem. Het zijn lage plekken in het nat zandlandschap waarvan de waterstand met de grondwaterspiegel in de omgeving meebeweegt. De voeding bestaat zowel uit regenwater als basenhoudend grondwater uit de omgeving.

- Voornamelijk gevoed door regenwater en regenwaterachtig grondwater, bijvoorbeeld door ligging op of nabij waterscheiding (klein ecotooptype: E)
- Gevoed door regenwater en (licht) met basen verrijkt grondwater (klein ecotooptype: F en D).
- Gevoed door regenwater en kunstmatig ingelaten (licht) verrijkt grondwater (bevloeiing) (klein ecotooptype: G).

**Lithocliene systemen grondwaterspiegel afhankelijk**
Deze groep van kleine ecotopen is onderdeel van een (sub)regionaal grondwaterstromingstelsel. Dit zijn natte plekken die permanent of periodiek onderdeel zijn van een groter grondwatersysteem. Veelal is dit een ecotoop die ligt in de oorspong of tegen de flank van beekdalen dan wel een ecotoop die grenst aan een beekdal (klein ecotooptype: H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R).

**Korte toelichting**
Binnen de zandlandschappen komen allerlei lokale stromingsstelsels voor. De waterscheiding van lokale of subregionale hydrologische systemen ligt veelal ongeveer in het midden tussen de beekdalen in. Natte ecotopen op of nabij de waterscheiding worden uitsluitend gevoed door de neerslag en zijn hoofdzakelijk zuur (atmoclien) van karakter. Dit type natte ecotopen treffen we ook aan op plekken waar, onder invloed van slecht doorlatende organische lagen schijngrondwaterspiegels zijn ontstaan. Bij de schijnspiegels stagneert het grondwater op een ondoorlatende laag in een overigens relatief droge omgeving. De schijngrondwaterspiegels komen veel voor in Drenthe, maar ze zijn ook bekend van Twente, de Veluwe, Noord-Brabant en het Vechtdal. Dergelijke grondwaterafhankelijke systemen komen vooral voor in laagten waar de grondwaterspiegel meebeweegt met de omgeving en kennen over de seizoenen grotere extremen dan de schijnspiegels (Bakker e.a, 1984).

Binnen de schijngrondwaterspiegelveentjes kan een onderverdeling worden gemaakt naar de mate van beïnvloeding van grondwater uit de omgeving. Deze beïnvloeding is afhankelijk van de positie van het veentje ten opzichte van de waterscheiding of de longitudinale positie in het geulstelsel, waarbinnen de veentjes veelal in ketens liggen, belangrijk is. Indien ze niet beïnvloed worden door grondwater uit de omgeving hebben ze een atmoclien karakter en is de hoogveenontwikkeling traag. Naarmate ze meer beïnvloed worden door grondwater komen ook meer mesotrofe elementen voor en wordt de hoogveenontwikkeling door toevoer van koolzuurrijk grondwater versneld. Een bijzondere vorm van atmocliene veentjes zijn de zogenaamde hellingveentjes of, beter, stuifzandfortveentjes. Deze komen voor op de

helling van Forten; bulten die ontstaan zijn doordat laagten zijn overstoven door opwaaiend zand. De overstoven, slecht doorlatende lagen in de ondergrond zorgen ervoor dat inzijgend regenwtaer weer uittreedt aan de rand van deze bulten, wat leidt tot veenmosgroei.

Meer naar de flanken van de plateaus of infiltratiegebieden, aan de rand van het eigenlijke beekdal liggen natte ecotopen die vooral gevoed worden door afstromend en opkwellend grondwater. Deze ecotopen hebben een min of meer lithoclien karakter. Dergelijke systemen zijn veelal afhankelijk van een lokaal sterke toestroom van grondwater (bronnen). In sommige regio's zijn deze bronnen gebonden aan beekdalen die relatief diep liggen ingesneden in het omringende landschap. Het grote potentiaalverschil tussen de grondwaterstanden in het beekdal zelf en de aangrenzende infiltratiegebieden vormt hiervoor de motor. Niet alleen Noordoost-Twente en de flanken van de Veluwe en de Maas in Noord-Limburg en Oost-Brabant kennen een dergelijk sterk reliëf, maar ook plaatselijk op het Drents plateau komen deze situaties voor, zoals langs de middenloop van de Drentsche Aa. De samenstelling van het grondwater kan verschillend zijn (kleine ecotoop J, K) eveneens kunnen slecht doorlatende lagen van invloed zijn op de waterhuishouding en daarmee op de vegetatiesamenstelling van kleine ecotopen, zoals het voorkomen van beekleem, waarin gaten kunnen zitten en bronnen vormen (kleine ecotoop M). Bijzonder elementen zijn de sprengen en natuurlijke beekjes die een stelsel van bronnen vormen (kleine ecotoop L) en voorkomen op een anorganische ondergrond. Alkalisch laagveen is veelal ook gebonden aan bronnen waarbij het hoge basengehalte van het grondwater er voor zorgt dat in het kleine ecotoop kalk wordt afgezet. Dit type bron komt bijvoorbeeld nog voor in kalkgroeves in de Achterhoek, maar waren vroeger algemener in ons land. Soms leidt de kwel op een reliëfrijke situatie tot veenvorming en tot kleine doorstroomsystemen, die afhankelijk van de samenstelling van het grondwater basenarm of basenrijk zijn (kleine ecotoop Q en R).

Op de basisregels bestaan allerlei uitzonderingen vanwege een afwijkende geohydrologie in verschillende hoofdregio's. Op het Drents plateau komen bijvoorbeeld pingo's voor waar de keileemlaag ontbreekt en dieper grondwater het overwegend atmocliene milieu beïnvloedt (kleine ecotoop D). Ook zijn er voorbeelden van historisch landgebruik (bevloeiing) ter verhoging van de productie en de voedingswaarde van heide. In die situaties werd beekwater (lithoclien) opgeleid (kleine ecotoop G). In het Brabantse komt in heideplassen op plekken met enige grondwatertoever veenvorming voor, terwijl aanvoer van beekwater zorg draagt voor input van bufferende stoffen en nutriënten in deze veentjes (kleine ecotoop O).

## 3.3 Kleine ecotopen indeling op topisch niveau

In het voorgaande hebben we een landschapsecologische indeling gepresenteerd. De indeling op topisch niveau, waarvan we hier de eerste opzet presenteren, is geënt op twee andere indelingen. Dit is allereerst een indeling op de belangrijkste standplaatsfactoren zoals deze kunnen voorkomen in het nat zandlandschap (Tabel 3.2). Deze standplaatsfactoren sturen in belangrijke mate de variatie in plantengemeenschappen.
De belangrijkste standplaatsfactoren (Tabel 3.3) zijn hieronder aangegeven, inclusief de gehanteerde klassen.

- Hydrologie: inzijging, grondwatervoeding, uittredend grondwater, aanvoer oppervlaktewater

- Buffercapaciteit: zuur, zwak gebufferd, sterk gebufferd;
- Vocht: aquatisch, amfibisch, terrestrisch nat, terrestrisch vochtig;
- Successie: niet climax, climax.

Door een gebruik van de klassen per standplaatsfactor kan een hiërarchische indeling worden gemaakt van kleine ecotopen. De resulterende lijst is vergeleken met een andere lijst, en wel een lijst van alle plantengemeenschappen die kunnen optreden in het nat zandlandschap. Over het algemeen kan er een goede verbinding gemaakt worden tussen beide lijsten; de meeste combinaties van standplaatsfactoren kennen hun eigen plantengemeenschap(pen) (Tabel 3.3). Wel komen per combinatie van standplaatsfactoren vaak meerdere plantengemeenschappen voor. Voor deze onderverdeling zijn additionele standplaatsfactoren of subtiele verschillen in de al benoemde standplaatsfactoren verantwoordelijk, die in bijgaande tabel zijn benoemd als "differentiërende factor". Er is doorgegaan met het benoemen van differentiërende factoren totdat elke plantengemeenschap in het systeem kon worden ondergebracht. Daarbij is er vanuit gegaan dat al de belangrijkste standplaatsfactoren die leiden tot verschillen in vegetatie in beeld zijn gebracht.

In de laatste kolom van tabel 3.3 zijn ook de kleine ecotopen aangegeven zoals deze via de landschapsecologische benadering zijn gevonden. Lang niet elke combinatie van standplaatsfactoren kan gekoppeld worden aan zo'n ecotoop. De overblijvende combinaties zijn verschillend van karakter. Het gaat deels om systemen die al vrij goed onderzocht zijn (natte heide, zuur ven, blauwgrasland), deels om latere successiestadia (gagelstruweel, broekbossen) en deels om plantengemeenschappen die altijd slechts een klein en/of tijdelijk onderdeel van een ecotoop zijn (dwergbiezengemeenschappen). De controle met behulp van standplaatsfactoren en met behulp van plantengemeenschappen wijst uit dat de lijst met ecotopen die via de landschapecologische benadering (tabel 3.1) is gevonden dus voldoet, indien alle vegetatie-eenheden uit deze ecotopen worden meegenomen. Voor een aantal ecotopen is geen relatie aangegeven. Deze verdienen nadere aandacht waarbij de vraag moet worden gesteld of deze tot de kleine ecotopen, zoals bovenstaand gedefinieerd, moeten worden gerekend.

*Tabel 3.2: Overzicht van Kleine ecotopen op basis van standplaatsfactoren en vegetatie, en de relatie met de via de Landschapsecologische (LE) benadering aangetroffen ecotopen.*

*Table 3.2: Overview of small habitats based on habitat conditions and vegetation, as well as the relation to all listed small habitats. An division has been made in infiltration areas, areas fed by groundwater, seepage areas and areas with surface water.*

***Indeling van Kleine ecotopen op standplaatsfactoren***

| | | **Relatie met LE indeling** | |
|---|---|---|---|
| **Inzijgend regenwater** | | | |
| 1 | Zuur ven | B | Schijnspiegelveentje |
| | | C | Schijnspiegelveentje met toestroom |
| 2 | Hoogveen | B | Schijnspiegelveentje |
| 3 | Berkenbroek | | meerdere LE typen/successies |
| 4 | Soortenarme natte heide | E | zuur heideven |
| **Grondwatervoeding** | | | |
| 5 | Hoogveen | E | zuur heideven |
| | | C | schijnspiegelveentje met toestroom |
| 6 | Mineraal hoogveen | A | hellingveentje |
| 7 | Berkenbroek | | meerdere LE typen/successie |
| 8 | Soortenrijke natte heide | F | zwak gebufferd heideven |
| | | H | beekdalrand veentje |
| | | I | oorsprong beekdal |
| 9 | Zeer zwak gebufferd water | D | pingo |
| | | F | zwak gebufferd heideven |
| 10 | Kleine zeggen | H | beekdalrandveentje |
| | | I | zwak gebufferd heideven |
| | | Q | basenarm doorstroomveen |
| 11 | Zwak gebufferd water | N | plas met basenrijke bodem |
| 12 | Rietland | | meerdere LE typen/successie |
| 13 | Nat heischraal | F | zwak gebufferd heideven |
| | | H | beekdalrand veentje |
| | | I | oorsprong beekdal |
| 14 | Wilgenbroek/Gagelstruweel | | meerdere LE typen/successie |
| 15 | Alkalisch laagveen | P | alkalisch laagveen |
| 16 | Elzenbroek | | meerdere LE typen/successie |
| 17 | Nat schraalgrasland | M | bron beekdal met diffuse verspreiding |
| | | Q | basenarm doorstroomveen |
| | | R | basenrijk doorstroomveen |
| **Uittredend grondwater** | | | |
| 18 | Zwak gebufferde bosbron | L | spreng |
| 19 | Syterk gebufferde bosbron | K | basenrijke bron in beekdal |
| | | M | basenrijke diffuse bron in beekdal |
| 20 | Zwak gebufferde open bron | J | zuur tot zwak gebufferde bron in beekdal |
| 21 | Sterk gebufferde open bron | K | basenrijke bron in beekdal |
| | | M | basenrijke diffuse bron in beekdal |
| **Oppervlaktewater** | | | |
| 22 | Zwak gebufferd (gradient-)ven | O | heideplas doorstroomd met beekwater |
| 23 | Wilgenbroek/Gagelstruweel | | meerdere LE typen/successie |
| 24 | Rietland | | meerdere LE typen/successie |
| 25 | Bevloeide heide | G | bevloeide heide |

*Tabel 3.3: Integratie van de landschapsecologische en topische benadering bij het opstellen van een lijst met Kleine ecotopen van het nat zandlandschap. In de eerste 3 kolommen zijn de belangrijkste standplaatsfactoren hiërarchisch gerangschikt, in de laatste twee kolommen staan een volledige lijst met de plantengemeenschappen van het nat zandlandschap, respectievelijk de lijst met Kleine ecotopen uit de landschapsecologische benadering (Tabel 3.1). De kolom "differentiërende factor" bevat extra standplaatsfactoren die nodig zijn om een volledige koppeling tussen standplaatsfactoren en plantengemeenschappen te kunnen maken.*
*Uitleg per kolom:*
*Hydrologie: het klassieke onderscheid tussen gebieden met inzijging, kwel of dominante invloed van oppervlaktewater is toegevoegd. Plekken waar het grondwater niet alleen tot in maaiveld reikt, maar waar ook daadwerkelijk kwelwater uittreedt zijn als uittredend grondwater onderscheiden.*
*Buffercapaciteit: Omschrijving van de buffercapaciteit van het water dat de standplaats beinvloedt.*
*Vocht: vochttoestand van de bodem. Vochtig = in de zomer oppervlakkig uitdrogend, nat = permanent waterverzadigd.*
*Successie: successiestadia die op deze standplaats kunnen voorkomen.*

*Table 3.3: Integration of a landscape ecological and a topical approach has been applied in setting up a list with small habitats of wet sandy areas.*

| | Kleine ecotopen op basis van standplaatsfactoren | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hydro-logie** | **Buffercapaciteit, Vocht** | **Successie** | **Ecotoop** | **Differentierende factor** | **Vegetatiegemeenschappen** | **Overeenkomende ecotopen Landschapsecologische benadering** |
| Inzijgend regenwater | **Zuur** | | | | | |
| | Aquatisch, amfibisch | | Zuur ven | | Sphagnetum cuspidato-obesi | |
| | Terrestrisch nat | Climax | Hoogveen | Bulten | Erico-Sphagnetum magellanici | **B: Schijnspiegelveentje** |
| | | | | Slenken | Sphagno-Rhynchosporetum | **B: Schijnspiegelveentje** |
| | Terrestrisch vochtig | Climax | Berkenbroek | | Erico-Betuletum pubescentis | |
| | | Niet climax | Soortenarme natte heide | | Ericetum tetralicis | |
| Grondwatervoeding | **Zuur** | | | | | |
| | Aquatisch, amfibisch | | Hoogveenven | | Sphagno-Rhynchosporetum | **E: Heideven bij waterscheiding** |
| | | verlanding | Drijftillen | | Eriophoro-Caricetum lasiocarpae | **C: Schijnspiegelveentje met grondwater** |
| | | | | Doorstroom | Caricetum limosae | |
| | Terrestrisch nat | Climax | Mineraal hoogveen | | Erico-Sphagnetum magellanici | **A: hellingveen H: beekdalrandveentje** |
| | Terrestrisch vochtig | Climax | Berkenbroek, Gagelstruweel | | Erico-Betuletum pubescentis | **A: hellingveen** |
| | | Niet climax | Natte heide | | Ericetum tetralicis | |
| | | Pionier | Open, natte heide | | Lycopodio-Rhynchosporetum | |
| | **Zwak gebufferd** | | | | | |
| | Aquatisch | | Zeer zwak gebufferd water | Koolstofarm water | Isoeto-Lobelietum | **D: Pingo F: heideven op flank** |
| | | | | Koolstofrijk water | Scirpetum fluitantis | |
| | Amfibisch | | Oevers, zwak gebufferd | | Eleocharitetum multicaulis | |
| | Terrestrisch nat | Niet climax | Kleine zeggen | | Carici curtae-Agrostietum caninae | **H: Beekdalrandveen Q: basenarm dsveen** |
| | | | Ruigte, Rietland | | Pallavicinio-Sphagnetum | |
| | | verlanding | Drijftillen | | Caricetum limosae | |
| | | | | Eutrofiering | Caricetum elatae | |
| | Terrestrisch vochtig | Climax | Berkenbroek | | Carici-curtae-Betuletum pubescentis | |
| | | Niet climax | Nat heischraal | | Gentiano pneumonanthes-Nardetum | |
| | **Sterk gebufferd** | | | | | |
| | Aquatisch | | Zwak gebufferd water | Koolstofrijk water | Echinodoro-Potametum graminei | **N: plas met basenrijke bodem** |
| | | | | Idem, eutroof | Callitricho-Hottonietum | |
| | | | | Idem, ondiep | Sparganietum minimi | |
| | | | | Eutrofe bodem | Potametum obtusifolii | |
| | | Pionier | Zwak gebufferd water | | Nitelletum translucentis | |
| | Amfibisch | | Zwak gebufferd water | | Cicendietum filiformis | |
| | Terrestrisch nat | Niet climax | Alkalisch laagveen | Niet beheerd | Cladietum marisci | **P: kalkmoeras R: basenrijk ds.veen** |
| | | | | Gemaaid | Campylio-Caricetum dioicae | |
| | Terrestrisch vochtig | Climax | Elzenbroek | | Carici-elongatae-Alnetum | |
| | | | Wilgenbroek | Eutroof | Salicetum cinereae | |
| | | Niet climax | | Ruigte | Scirpetum sylvatici | |
| | | | Nat schraalgrasland | | Cirsio dissecti-Molinietum | |
| | | | | Zuurder | Crepido-Juncetum acutiflori | |
| | | Pionier | | | Cicendietum filiformis | |
| Uittredend grondwater | **Zwak gebufferd** | | | | | |
| | Terrestrisch nat | | Zwak gebufferde bron | In bos | Pellio epiphyllae-Chrysosplenietum | **L: spreng I: stroet J: kalkarme bron** |
| | | | | In lage vegetatie | Philonotido fontanae-Montietum | **I: stroet J: kalkarme bron** |
| | **Sterk gebufferd** | | | | | |
| | Terrestrisch nat | | Sterk gebufferde bron | In bos | Pellio epiphyllae-Chrysosplenietum | **K, M: kalkrijke bron** |
| | | | | In lage vegetatie | Pellio epiphyllae-Chrysosplenietum | **K, M: kalkrijke bron** |
| | | | | idem, eutroof | Ranunculetum hederacei | |
| Oppervlaktewater | **Zwak gebufferd** | | | | | |
| | Aquatisch | | Zwak gebuf. (gradient-)ven | | Littorello-Eleocharitetum acicularis | **O: heideplas met beekwater** |
| | Amfibisch | | Zwak gebufferde oever | | Cicendietum filiformis | |
| | Terrestrisch nat | Climax | Wilgenbroek | | Salicetum cinereae | |
| | | Niet climax | Rietland | | Typho-Phragmitetum | |
| | Terrestrisch vochtig | Climax | Wilgenbroek | | Salicetum auritae | |
| | | Niet climax | Bevloeide heide | | o.a. Ericetum tetralicis | **G: Bevloeide heide** |

# 4 Bronnen

## 4.1 Indeling

**Omschrijving ecotoop**
Bronnen zijn plaatsen waar op natuurlijke wijze, op een (relatief) klein oppervlak, gedurende het hele jaar of een groot deel van het jaar grondwater uittreedt. Het bronwater kan op verschillende manieren uitstromen: als puntbron (akrokreen), als snelstromende bron op een klein oppervlak (rheocreen), als langzaam stromende bron op een groot oppervlak (helocreen) en in de vorm van een poel die op de bodem gevoed wordt door bronwater (limnocreen). Het uittredende water heeft een constante temperatuur en een constant debiet. Het zuurstofgehalte is bij de uittreding relatief laag maar door de relatief hoge stroomsnelheid, de dunne waterlaag en de zuurstofproductie van fotosynthetiserende algen (diatomeeën) raakt het water snel met zuurstof verzadigd. De chemische samenstelling is constant en hangt nauw samen met de geologische opbouw van het inzijg- en doorstroomgebied. Bronnen kunnen ook in de vorm van een spreng (een achterwaarts verplaatste bron), bronvijver (ontstaan door het afdammen van een bronlocatie) of artesische put (door een ondergronds bekken aan te boren komt grondwater onder hoge druk in maaiveld) door menselijk ingrijpen ontstaan (Maas, 1959; Verdonschot, 2000; Weeda e.a., 2000). Dit zijn

bronsystemen met een duidelijk herkenbaar cultuurhistorisch aspect. Met name sommige sprengsystemen vertonen grote overeenkomsten met de natuurlijke bronsystemen (www.natuurkennis.nl).
Bronnen komen voor op de flanken van de grondwatersystemen zoals aan de randen van stuwwallen, rivierterrassen of diep ingesneden beekdalen in de reliëfrijke dekzandgebieden en (lokaal) langs de binnenduinrand. Vaak speelt een afwisseling van goed en slecht doorlatende bodemlagen en hun positie – al of niet hellend - in de ondergrond, soms in samenhang met breuken, een doorslaggevende rol. Kortom, bronnen zijn aanwezig in meerdere landschapstypen: het beekdallandschap, het nat zandlandschap, het duinlandschap en het Limburgse heuvellandschap.
De nadruk ligt in deze rapportage op de bronsystemen van de hogere zandgronden zoals die hierboven gedefinieerd zijn: plekken waar op natuurlijke wijze, op een (relatief) klein oppervlak, gedurende (bijna) het hele jaar grondwater uittreedt en waar typische bronsoorten voorkomen. Voor de volledigheid wordt ook aandacht besteed aan de bronsystemen met dezelfde kenmerken die voorkomen in het Heuvellandschap.

Op basis van de mate van beschaduwing wordt een onderscheid gemaakt in niet beschaduwde weidebronnen en beschaduwde bosbronnen. Hier ligt een duidelijke relatie met het landgebruik of beheer. Verder zijn bronnen op basis van de chemische samenstelling van het grondwater in drie typen te onderscheiden namelijk mineraalarme bronnen, matig mineraalrijke bronnen en mineraalrijke bronnen. Deze twee indelingen worden als leidraad gebruikt bij de bespreking van de verschillende brontypen.

**Aansluiting bij andere indelingen**
Bronnen worden gekenmerkt door de soortenarme brongemeenschappen die over relatief kleine oppervlakten voorkomen in een mozaïek met heide-, grasland-, moeras- of bosvegetaties (zie ook Aggenbach e.a. 2009).

**Plantengemeenschappen**
De mineraalarme bronnen worden gekenmerkt door vegetaties uit het Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid (*Cardamino-Montion*) met de Bronkruid-associatie (*Philonotido fontanae-Montietum*) (7Aa1) en Kegelmos-associatie (*Pellio-Conocephaletum*) (7Aa3) en het Verbond van Grote Waterranonkel (*Ranunculion peltati*) met de Associatie van Klimopwaterranonkel (*Ranunculetum hederaceae*) (5Ca2). Deze vegetaties komen in een mozaïek voor met vegetaties van het Verbond van Zwarte zegge (*Caricion nigrae*) en het Dotterbloemverbond (*Calthion*), het Verbond van Wilgenbroekstruwelen (*Salicion cinereae*), het Verbond van Elzenbroekbossen (*Alnion glutinosae*) en overgangen hiertussen. De matig mineraalrijke bronnen worden gekenmerkt door het Verbond van Bittere veldkers en Bronkruid (*Cardamino-Montion*) met de Associatie van Paarbladig goudveil (*Pellio epiphyllae-Chrysosplenium oppositifolii*) (7Aa2) en de Kegelmos-associatie, het Verbond van Elzenbroekbossen (*Alnion glutinosae*) met het Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bittere veldkers (*Carici elongatae-Alnetum subass. cardaminetosum amarae*)(39Aa2b) en het Verbond van Els en Vogelkers (*Alno-Padion*) met het Goudveil-Essenbos (*Carici remotae-Fraxinetum*) (43Aa4). Deze vegetaties kunnen voorkomen in een mozaïek met vegetaties van het Knopbies-verbond (*Caricion davallianae*) inclusief de Associatie van Vetblad en Vlozegge (*Campylio-Caricetum dioicae*) (9Ba2) het Verbond van Biezenknoppen en Pijpenstrootje (*Junco-Molinion*), het Dotterbloemverbond (*Calthion*), het Verbond van Wilgenbroekstruwelen (*Salicion cinereae*), het Verbond van Elzenbroekbossen (*Alnion glutinosae*) en overgangen hiertussen (Schaminée e.a., 1995, Stortelder e.a., 1999).

Overigens kunnen de hierboven genoemde brontypen en de daarbij horende vegetatietypen op korte afstand van elkaar voorkomen. De mineraalrijke bronnen worden gekenmerkt door de kalktufbronvegetatie (*Cratoneurion commutati*). Dit brontype is beperkt is tot het Heuvellandschap. Deze vegetaties komen voor in een mozaïek met vegetaties van het Verbond van Elzenbroekbossen (*Alnion glutinosae*) met de Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bittere veldkers (*Carici elongatae-Alnetum subass. cardaminetosum amarae*)(39Aa2b) en het Verbond van Els en Vogelkers (*Alno-Padion*) met het Goudveil-Essenbos (*Carici remotae-Fraxinetum*) (43Aa4). In tabel 4.1 wordt een overzicht gepresenteerd van de kenmerkende vegetatietypen met een kenschets van het systeem en de plaats van het vegetatietype in het landschap.

*Tabel 4.1: Kenschets en plaats in het landschap van de kenmerkende vegetatietypen in het beekdallandschap, nat zandlandschap en heuvellandschap.*

*Table 4.1: Characterization and habitat description of typical vegetation types in the brook valley areas, wet sandy areas and the colline landscapes*.

| **Naam** | **Plaats in het landschap** | **Kenschets systeem** |
|---|---|---|
| Associatie van Paarbladig goudveil (*Pellio epiphyllae-Chrysosplenium oppositifolii*) (7Aa2) | Beschaduwde plaatsen in bronnetjes en langs (steile) bronbeekoevers in de reliëfrijke delen met een lemige, zandige, grindrijke of venige bodem in het beekdal- en nat zandlandschap | Bronnen waarin het grootste deel van het jaar neutraal tot zwak basisch, matig mineraalrijk water uittreedt. In vergelijking met 7Aa1 heeft dit type een iets geringere amplitude in grondwaterstanden. |
| Bronkruid-associatie (*Philonotido fontanae-Montietum*) (7Aa1) | Onbeschaduwde bronnetjes, bronbeken, sprengen en kwelplekken op een zandige tot venige bodems in reliëfrijke delen van het beekdal- en nat zandlandschap | Een voordurende aanvoer van water met een zwak zuur tot bijna neutraal, en tamelijk mineraalarm karakter |
| Kegelmos-associatie (*Pellio-Conocephaletum*) (7Aa3) | Sterk beschaduwde steile zandige tot lemige oevers van bosbeken (met name middenlopen) in het beekdallandschap | Snelstromend, mineraalarm tot wat mineraalrijker water waarbij de vegetatie alleen in het voorjaar onder water komt te staan |
| Associatie van Klimopwaterranonkel (*Ranunculetum hederaceae*) (5Ca2) | Onbeschaduwde bronnetjes, bronbeekjes of kwelrijke sloten met uittreden van zuurstofrijk opwellend grondwater in reliëfrijke gebieden van het beekdal- en nat zandlandschap | Voortdurend stromend, zuurstofrijk, voedselarm tot voedselrijk water |
| Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bittere veldkers (*Carici elongatae-Alnetum subass. cardaminetosum amarae*)(39Aa2b) | Opgaande bossen met een goed ontwikkelde boomlaag waarin Zwarte els domineert en een matig ontwikkelde struiklaag in brongebieden en de daarop aansluitende bronbeekjes op veen, zand, leem of keileem in het beekdal- en nat zandlandschap | Voortdurend uitreden van matig mineraalrijk (soms ook ijzerrijk) grondwater met een constante temperatuur en samenstelling |
| Goudveil-Essenbos (*Carici remotae-Fraxinetum*) (43Aa4) | Opgaande bossen met een goed ontwikkelde boomlaag en een zwak ontwikkelde struiklaag in brongebieden en de daarop aansluitende bronbeekjes op zand, leem of keileem in het beekdal- en nat zandlandschap | Voortdurend uitreden van matig mineraalrijk (soms ook ijzerrijk) grondwater met een constante temperatuur en samenstelling |
| Kalktufbron (*Cratoneurion communtati*) | Bronnetjes op beschaduwde plaatsen (zoals bossen en overhangende rotsen) in de reliëfrijke delen met een kalkhoudende lemige, zandige, grindrijke bodems in het heuvellandschap | Voortdurend uitreden van mineraalrijk grondwater dat (over)verzadigd is met kalk zodat zich kalkkorsten vormen. |

**Natura2000**

De beschaduwde vorm van de bronnen, de zogenaamde bosbronnen, is opgenomen in het Natura 2000-habitattype -Bossen op alluviale grond met *Alnus glutinosa* en *Fraxinus excelsior*- (H91E0), kortweg Vochtige alluviale bossen (www.synbiosys.alterra.nl). Dit habitattype wordt onder andere gevormd door de zelfstandige vegetatietypes Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bittere veldkers en Goudveil-Essenbos. De Associatie van Paarbladig goudveil en de Kegelmos-associatie kunnen in een mozaïek met

het Goudveil-Essenbos, Vogelkers-Essenbos en Elzenzegge-Elzenbroek (*Carici elongatae-Alnetum*) voorkomen. De zogenaamde weidebronnen (met de Bronkruid-associatie en Associatie van Paarbladig goudveil) kunnen in een mozaïek of subtiele zonering voorkomen met het habitattype alkalisch laagveen (H7230), kortweg aangeduid als kalkmoerassen. De kalktufbron is het enige brontype dat als een zelfstandig habitattype is aangewezen (H7220).

**Natuurdoeltypen**
Bronnen vallen onder de natuurdoeltypen Droogvallende bron en beek (3.1) en Permanente bron (3.2) (Bal e.a., 2001). Het gaat hier om de open, onbeschaduwde bronnen in graslanden en de beschaduwde bronnen langs bronbeken. Daarnaast vallen de bosbronnen met hoog opgaand structuurrijk bos onder het natuurdoeltype Bos van bron en beek (3.67 subtype a: Bronbos).

**Kaderrichtlijn water**
Voor de Europese Kaderrichtlijn Water is een typologie gemaakt van alle oppervlaktewateren in Nederland. Voor bronnen zijn twee typen beschreven: droogvallende bron (R1) en permanente bron (R2). De referentie en doelen voor deze typen zijn beschreven in Van der Molen & Pot (2007). Deze typologie wordt door waterschappen gebruikt.

## 4.2 Natuurwaarden van Bronnen

**Flora**
Bronnen zijn niet soortenrijk maar worden vanwege de specifieke abiotische omstandigheden wel gekenmerkt door een heel eigen soortensamenstelling. Veel van deze soorten komen uitsluitend voor in bronnen of bronbeekjes. Bij de zure tot basen- en mineralenarme bronnen gaat het daarbij onder andere om de volgende planten- en mossoorten: Groot Bronkruid (*Montia fontana*), Beekstaartjesmos (*Philonotis fontana*), Donkergroene bastaardwederik (*Epilobium obscurum*), Klimopwaterranonkel (*Ranunculus hederaceus*), Bittere veldkers (*Cardamine amara*), Paarbladig goudveil (*Chrysoplenium oppositifolium*) en Verspreidbladig goudveil (*Chrysoplenium alterniflorum*) (figuur 4.1). De matig mineraalrijke en mineraalrijke bronnen worden gekenmerkt door Paarbladig goudveil (*Chrysoplenium oppositifolium*), Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*), Bittere veldkers (*Cardamine amara*), Boswederik (*Lysimachia nemorum*), Gewoon plakkaatmos (*Pellia epiphylla*) en Kegelmos (*Concephalum conicum*). De mineraalrijke bronnen worden gekenmerkt door Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*), Geveerd diknerfmos (*Palustrielle communtata*) en Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*)(Van Gennip e.a., 2007; Schaminée e.a., 2010).

*Figuur 4.1: Verspreidbladig goudveil, Gewone dotterbloem en Bittere veldkers in het Moerbekkedal bij Ootmarsum (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.1:* Chrysosplenium alternifolium*,* Caltha palustris *and* Cardamine amara *in the Moerbekkedal nearby Ootmarsum (photo M. Horsthuis).*

**Paddenstoelen**
In bronnen komt een beperkt aantal karakteristieke en bedreigde paddenstoelen voor. Op plekken met permanente kwel van zuurstofhoudend grondwater is Mijtertje (*Mitrula paludosa*) kenmerkend. Op permanent natte plekken zijn enkele Zwavelkoppen (*Psilocybe spp*.) en Wasplaten (*Hygrocybe helobia, Hygrocybe coccineocrenata*) kenmerkend. Bronbossen kunnen uiterst rijk zijn aan bedreigde soorten, vooral soorten die mycorrhiza vormen met Zwarte els *(Alnus glutinosa)*, Zachte en Ruwe berk *(Betula pubescens; B. pendula)*, wilgensoorten *(Salix ssp.)* en Zomereik *(Quercus robur)*, houtbewonende soorten en strooiselafbrekers. Veel van deze soorten staan genoemd onder de elzenbroekbossen en de berkenbroekbossen.

**Fauna**
Bronnen herbergen met hun karakteristieke, geconcentreerde en (semi) permanente (hoge) afvoer van water eveneens unieke faunakwaliteiten. Een deel van de kenmerkende macrofauna is aangepast aan de constante temperatuur van het water en de daarmee samenhangende hoge zuurstofbeschikbaarheid; de zogenaamde stenotherme soorten. Voorbeelden hiervan zijn de platworm *Polycelis felina*, de kokerjuffer *Beraea maurus* en de kever *Anacaena lutescens*. In zure bronnen zijn acidofiele soorten te vinden zoals de kever *Hydroporus nigrita*. Ook droogvallende bronnen kunnen bijzondere soorten herbergen. Deze zijn aangepast aan perioden van droogval. Vaak blijft de bodem van de bron gedurende deze periode wel vochtig. Macrofauna overleeft bijvoorbeeld door het afzetten van droogteresistente eipakketten. Voorbeelden van soorten die voorkomen in droogvallende bronnen zijn de platworm *Phagocata vittata* en de kokerjuffer *Crunoecia irrorata*. In de onderstaande tabel 4.2 is een lijst met kenmerkende

macrofauna opgenomen die gebonden zijn aan bronnen en bronbeken. Voor elke soort wordt de mate van zeldzaamheid toegevoegd. (Nijboer & Verdonschot 2001; Verdonschot e.a. 2003; Van der Molen & Pot, 2007)(www.natuurkennis.nl).

*Tabel 4.2: Overzicht van kenmerkende macrofaunasoorten van bronmilieus.*

*Table 4.2: Overview of typical macrofauna of spring habitats.*

| **Soort** | **Groep** |
|---|---|
| Adicella filicornis (zz) | Kokerjuffer |
| Adicella reducta (z) | Kokerjuffer |
| Apatania fimbriata (zz) | Kokerjuffer |
| Beraea maurus (vz) | Kokerjuffer |
| Brillia modesta (va) | Dansmug |
| Chaetocladius laminatus (zz) | Vedermug |
| Crenobia alpina (zz) | Platworm |
| Crunoecia irrorata (z) | Kokerjuffer |
| Dixa maculata (vz) | Meniscusmug |
| Drusus trifidus (zz) | Kokerjuffer |
| Dugesia gongcephala (z) | Platworm |
| Elodes minuta (va) | Waterkever |
| Ernodes articularis (zz) | Kokerjuffer |
| Gammarus fossarum (va) | Vlokreeft |
| Heleniella ornaticollis (z) | Vedermug |
| Hydroporus longulus (zz) | Waterkever |
| Krenopelopia binotata (z) | Vedermug |
| Krenopelopia nigropunctata (z) | Vedermug |
| Laccobius atratus (zz) | Waterkever |
| Lebertia lineata (z) | Watermijt |
| Lebertia stigmatifera (z) | Watermijt |
| Micropsectra roseiventris (zz) | Vedermug |
| Mideopsis willmanni (zz) | Watermijt |
| Nemoura dubitans (zz) | Steenvlieg |
| Nemurella pictetii (vz) | Steenvlieg |
| Niphargus aquilex (z) | Kreeft |
| Niphargus schellenbergi (z) | Kreeft |
| Parametriocnemus stylatus (vz) | Vedermug |
| Phagocata vittata (zz) | Platworm |
| Pisidium personatum (vz) | Erwtenmossel |
| Plectrocnemia conspersa (va) | Kokerjuffer |
| Polycelis felina (vz) | Platworm |
| Proasellus cavaticus (zz) | Zoetwaterpissebed |
| Sericostoma personatum (va) | Kokerjuffer |
| Stempellinella brevis (zz) | Vedermug |
| Thaumalea testacea (zz) | Bronmug |
| (zz) = zeer zeldzaam; (z) = zeldzaam; (vz) = vrij zeldzaam (va) = vrij algemeen. | |

De bronbeekjes in bronbossen maken onderdeel uit van het leefgebied van de bijzondere en zeldzame soort Gewone bronlibel (*Cordulegaster boltonii*). De Beekoeverlibel (*Orthetrum coerulescens*) en Zuidelijke oeverlibel (*Orthetrum brunneum*) komen met name voor in niet beschaduwde bronsystemen (Groenendijk, 2002).

Verder zijn er de Bronzweefvliegen (vijf soorten) waarvan vooral de Beek-bronzweefvlieg (*Sphegina elegans*) een echte bronnensoort is. Vermoedelijk zijn ook een aantal snavelvliegen (*Rhagionidae*) geassocieerd met bronnen (bijvoorbeeld *Atherix ibis*). In Zuid-Limburg komt de Gestreepte molmzweefvlieg (*Chalcosyrphus eunotus*) voor op dood hout in bronnen.

Daarnaast zijn bronbeken (met een stabiele aanvoer van water) een belangrijk leefmilieu voor Beekprik (*Lampetra planeri*) (bijlage 2-soort van de habitatrichtlijn)(zie ook www.natuurkennis.nl). Op de overgang van het Goudveil-Essenbos naar Elzenzegge-Elzenbroekbos komen in de zone met Zeggenmoerassen (*Caricion gracilis, Caricion elatae* en *RG Carex acutiformis [Phragmitetea]*) soms beschermde soorten als Zeggekorfslak (*Vertigo moulinsiana*), een soort van bijlage 2 van de Habitatrichtlijn, voor.

De Vuursalamander (*Salamandra salamandra ssp. terrestris*) komt voor vochtige loofbossen die worden doorsneden met bronbeekjes. De soort is zeker niet specifiek voor kalktufbronnen maar veeleer gebonden aan koele, beschaduwd gelegen bronnen en bronbeken (habitattype 91E0C).
Verder is de Europese rivierkreeft (*Astacus astacus*) geen strikte bronsoort, maar deze soort heeft in Nederland wel in bronachtige milieus kunnen overleven.

*Figuur 4.2a: Adicella reducta een kenmerkende kokerjuffer (foto Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

*Figure 4.2a:* Adicella reducta *is a typical caddisfly (photo Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

*Figuur 4.2b: Sericostoma personatum een vrij algemeen voorkomende kokerjuffer (foto Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

*Figure 4.2b:* Sericostoma personatum *is a commen caddisfly (photo Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

*Figuur 4.2c: Mideopsis willmanni, een voor bronnen kenmerkende en zeer zeldzame watermijt (foto Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

Figure 4.2c: Mideopsis willmanni*, a typical and very rare species of water mite (photo Christophe Brochard; Koeman & Bijkerk).*

## 4.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Belangrijkste standplaatscondities**
De belangrijkste standplaatscondities van bronnen zijn een (redelijk) constant debiet, een constante watertemperatuur, bij uittreden een laag zuurstofpercentage (wat daarna snel oploopt) en een constante chemische samenstelling, die per locatie anders kan zijn.

Het min of meer constant uittreden van grondwater (het debiet of de afvoer) is de sturende standplaatsconditie van deze ecotoop. Door de geohydrologische situatie is er een constante aanvoer van grondwater dat op een puntlocatie, de bron, traag maar gestaag uittreedt. Dit bronwater vloeit over maaiveld als bronbeek verder. Door het constante uittreden zijn de schommelingen in de grondwaterstand in de meeste bronnen van nature gering en blijven de fluctuaties in standen over het jaar binnen de amplitude van tien centimeter (Eysink e.a. 2012). Dit is een belangrijke abiotische factor voor de leefomstandigheden van (semi-) aquatische planten en dieren.

De relatief constante watertemperatuur is ook een karakteristieke eigenschap van bronnen (Maas, 1959; Verdonschot, 2000). Grondwater, en daarmee ook het uittredende bronwater, heeft jaarrond een temperatuur van ongeveer 10 $^{o}$C (in een range van 6-12 $^{o}$C). De amplitudo van de watertemperatuur is gering; in de winter relatief warm en in de zomer relatief koud. Dit temperatuurverloop is bepalend voor de snelheid van allerlei fysiologische processen en daarmee voor de productie en de levenscycli van bronorganismen. Dit verklaart waarom sommige plant- of diersoorten uitsluitend in deze bronmilieus aanwezig zijn.

Bronwater is voordat het uittreedt niet verzadigd met zuurstof. Tijdens de passage door de ondergrond is namelijk zuurstof chemisch en biochemisch geconsumeerd. In Verdonschot (2000) wordt aangegeven dat de zuurstofwaarden tussen 66-91% liggen. Verder heeft Maas (1959) in bronnen, en niet de bronbeekjes, verspreid over Gelderland en Overijssel een zuurstofgehalte van 40-60% gemeten. Na uittreding van het bronwater raakt het water door diffusie van zuurstof vanuit de lucht (bevorderd door de dunne waterlaag en de stroming) en de zuurstofproductie van fotosynthetiserende algen (diatomeeën) echter snel verzadigd of zelfs oververzadigd (Maas, 1959; Verdonschot, 2000). Stenotherme bronsoorten (fauna) hebben vaak een hoge zuurstofbehoefte en komen daardoor op andere plekken minder voor.

Van nature is in ongestoorde situaties de chemische samenstelling van het uittredende water (vrij) constant en een zeer belangrijke standplaatsfactor. Wel kan de waterchemie zeer uiteenlopen tussen verschillende brongebieden (bijv. Maas, 1959; Verdonschot & Keizer-Vlek, 2008; Audorff e.a., 2011). Dit verschil in waterchemie wordt bepaald door de samenstelling van de geologische lagen waar het water door heen stroomt. Die lagen kunnen variëren van zeer mineralenarm tot mineralenrijk. Ook kunnen de verblijftijden sterk verschillen. Op ruimtelijk niveau kunnen drie grondwaterstromingspatronen worden onderscheiden (Dufour, 1998): Lokale, subregionale en regionale stroming. Lokale grondwaterstromingen verbinden inzijggebieden met (zeer) dichtbij gelegen kwel- en brongebieden. De verblijftijd van het grondwater (de tijd tussen inzijging en kwel) is in de orde van grootte dagen tot jaren. Subregionale grondwatersystemen bevinden zich per definitie onder lokale stromingspatronen en het grondwater stroomt doorgaans over een periode van tientallen jaren naar de (meerdere) kwel- en bronzones. De regionale grondwaterstromingen liggen altijd dieper dan lokale

en subregionale stromen. De reis van regionaal grondwater door de ondergrond kan tientallen tot (meer dan) honderd jaar duren.
Dit alles betekent dat qua mineralensamenstelling het bronwater zeer gevarieerd kan zijn, waarbij het in drie typen kan worden ingedeeld:

- mineraalarme bronnen;
- matig mineraalrijke bronnen;
- mineraalrijke (kalkrijke) bronnen.

Bronnen die worden gevoed met grondwater dat (een bepaalde tijd) door zeer mineralenarme zanden stroomt, bevatten lage gehaltes aan macro-ionen, en worden als (matig) zure, mineraalarme (basenarme) bronnen getypeerd. Het bronwater lijkt nog het meest op regenwater; het bronwater van dit brontype is het minst aangerijkt met basische stoffen. Het Ca-gehalte is minder dan 30 mg per liter en de pH ligt tussen 4,5-6,5. Het EGV is dan veelal lager dan 250 µS/cm. Het EGV kan echter door verontreiniging verhoogd zijn! Hoewel in Nederland vrijwel nooit gemeten, is het aannemelijk dat in deze licht zure, weinig gebufferde bronnen de Al-concentraties relatief hoog zijn, zoals is aangetoond voor Duitse bronnen (Audorff, 2009; Audorff e.a., 2011).
Het grondwater dat uittreedt in bronnen, kan ook matig-mineraalrijk zijn: door de langere verblijftijd of de aanwezigheid van mineraalrijker substraat is het gehalte aan macro-ionen (vooral calcium en bicarbonaat) in deze bronnen duidelijk hoger; een langere verblijftijd leidt alleen tot meer mineralen in het bronwater als die ook aanwezig zijn in het doorstroomde substraat. In Nederland ligt het Ca-gehalte, het belangrijkste kation, van deze matig mineraalrijke (matig basenrijke) bronnen tussen de 30-55 mg Ca per liter, terwijl de pH 6,5-7,5 is. Het EGV is hoger dan 250 µS/cm (Maas, 1959; Verdonschot, 2000; Verdonschot & Keizer-Vlek, 2008).
Om het overzicht compleet te maken zijn naast de eerder genoemde bronnen in Nederland ook bronnen met een hoog mineralenrijkdom: de zogenaamde mineraalrijke (of basenrijke of kalkrijke) bronnen, waar het Ca-gehalte nog flink hoger is (70-160 mg/l) (Maas, 1959; Hendrix & Meinardi, 2004; Verdonschot & Keizer-Vlek, 2008). Ook het bicarbonaatgehalte is hoog, terwijl de pH tussen de 7,0-8,5 ligt. Deze sterk gebufferde hardwaterbronnen worden in Nederland alleen aangetroffen in Limburg ten zuiden van Sittard. In sommige situaties kan hier zelfs kalk ($CaCO_3$) bij uittreden neerslaan, waarbij op lange termijn tufsteen wordt gevormd. Dit is een fysisch-chemisch proces dat optreedt indien grondwater dat Ca-rijk en $CO_2$-rijk is, uittreedt, waarbij $CO_2$ naar de atmosfeer ontsnapt en door de verschoven pH-waarde het oplossingsproduct overschreden wordt en kalk neerslaat.
Naast calcium en bicarbonaat, kan het grondwater ook veel gereduceerd ijzer (Fe) bevatten. Als het ijzerhoudende water uittreedt, wordt dit zichtbaar door oranjekleuring van het water, een bacterievlies op het water en/of oranjevlokvorming op de bodem van het watersysteem. In de meeste situaties bevat het bronwater zeer weinig tot weinig ijzer. Maar als het grondwater door meer ijzerhoudende dekzanden of gestuwde lagen is gestroomd, kan het in hoge concentraties (30-100 mg Fe/l) aanwezig zijn.

Naast de juist genoemde mineralen, die heel sterk de buffercapaciteit van het water (en bodem) bepalen, zijn stikstof- en fosfaatverbindingen zeer belangrijk als plantenvoedingsstoffen, en dus mede bepalend voor de standplaats. In ongestoorde bronsituaties, die steeds zeldzamer zijn geworden, zijn de concentraties van fosfaat en ammonium veelal laag tot zeer laag, hoewel soms in diffuse (weide)bronnen met lage afvoer verhoogde waarden worden gemeten. Dit komt doordat het uittredende water hier direct in contact komt met de meer nutriëntenrijke bodem van de bronkop. In ongestoorde situaties is het nitraatgehalte in het bronwater laag,

waarschijnlijk minder dan ca. 5 mg $NO_3$/l, maar deze situatie is in Nederland vrijwel nergens meer aanwezig, en zelfs Maas (1959) heeft in 1955-56 al nitraatwaarden boven de 20 mg/l gevonden.

*Figuur 4.3: Groot bronkruid in een ijzerrijke bronplek in het Dal van de Brunninkhuizerbeek (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.3:* Montia fontana subsp. Fontana *in an iron-rich spring habitat in the valley of the Brunninkhuizerbeek (photo M. Horsthuis).*

Van nature liggen bronnen in Nederland vrijwel altijd in bossen, maar onder de permanent natte omstandigheden waren locaties met broekveen waarschijnlijk open plekken in het bos die zich door (eeuwenlang landbouwkundig) beheer als weidebron hebben ontwikkeld. Voor de macrofauna is bos een belangrijk habitat; het zorgt door schaduw en voedsel (Verdonschot, 2000).

**Sleutelprocessen**

Het belangrijkste sturende proces in bronnen is de stroming van (grond)water. Permanent natte omstandigheden zijn essentieel. Het optimaal functioneren van bronzones is direct gerelateerd aan het infiltratiegebied. Deze geohydrologische relatie bepaalt hoeveel grondwater in de bron (per tijdseenheid) uittreedt, hoe constant de afvoer is en daarmee ook het kenmerkende temperatuurverloop van bronnen. De constante temperatuur (ca. 10 $^{o}$C) is met name essentieel voor de kenmerkende bronmacrofauna. De neerslaghoeveelheid, de grootte van het inzijggebied en de geohydrologische omstandigheden in het ondergrondse doorstroomgebied bepalen de kwantiteit van het aangevoerde water en de constantie van de waterafvoer. Het verloop van de waterafvoer in bronnen wordt daarmee bepaald door de positie van de bron in het landschap. Dit betekent dat er flinke verschillen in de afvoer kunnen voorkomen, want zelfs als de bronnen relatief dicht bij elkaar liggen, kunnen ze in de landschappelijke context toch heel verschillend zijn.

De mineralenrijkdom (of basenrijkdom of buffercapaciteit) van het bronwater is ook van grote invloed op het functioneren van bronorganismen. Dit is

eigenlijk geen sleutelproces in de bron zelf, maar de mineralenrijkdom wordt bepaald door de aard (en omvang) van het inzijggebied, de samenstelling van de doorstroomde ondergrondse lagen en de verblijftijd van het grondwater in de ondergrond voordat het uittreedt (www.natuurkennis.nl). Kortom, ook de chemische kwaliteit van het bronwater wordt sterk beïnvloed door de landschappelijke en geologische context.

**Landschappelijke relaties**
Bronnen liggen op de reliëfrijke plaatsen in Nederland, immers zonder reliëf en hoogteverschillen is geen grondwaterstroming mogelijk. De bronnen treden op de stuwwallen van Overijssel, Gelderland en op de terrassen en plateaus van Limburg zowel hoog op de flank als aan de voet van de steilrand uit, en stromen uit in een bronbeek (Verdonschot, 2000).
De mineraalarme en matig mineraalrijke bronnen van Oost-Nederland worden met name op de stuwwallen aangetroffen. Daarnaast zijn bronnen zeldzaam in diep ingesneden beekdalen in reliëfrijke dekzandgebieden. De voorlaatste ijstijd bepaald in belangrijke mate de aanwezigheid van bronnen. In deze periode zijn sedimenten met een verschillende doorlatendheid (tertiaire klei - keileem – zand – grind) als lagen op elkaar en over elkaar geschoven. Hierover is in een later stadium dekzand afgezet. Deze verschillen in doorlatendheid en de helling zijn bepalend voor de aanwezigheid van de bronnen.
De sprengensystemen zijn kunstmatige mineraal arme tot matig mineraalrijke bronnen en bronbeken die door de mens in de stuwwallen van Utrecht, Gelderland en Overijssel gegraven zijn om schoon water voor drinkwater te verkrijgen, om watermolens aan te drijven en landerijen te bevloeien. Ook bleken dit de vestigingsplaatsen voor de eerste papierfabrieken en wasserijen. Met name in Gelderland is het aandeel sprengen groot.
De mineraalrijke bronnen komen alleen voor in het Limburgse Heuvellandschap. In deze situatie stroomt het grondwater over kalkrijke klei, en leem nadat het geïnfiltreerd is door de boven liggende grove zanden met grind (Van Gennip e.a., 2007). Kalktufbronnen zijn kenmerkend voor heuvelland met kalksteen in de directe ondergrond. In het gedeelte van het Limburgse heuvelland met de kalkplateaus zijn relatief weinig bronnen aanwezig door zijn diepe grondwaterstanden en het ontbreken van slecht doorlatende lagen (Schaminée e.a., 2009). Mogelijk zijn vroeger voor de grote veranderingen in het landschap op meer plaatsen kalktufbronnen aanwezig geweest (Weeda e.a., 2011).

**Beheer van bronnen**
In de bronsystemen van Nederland kan aan de hand van het beheer een tweedeling worden gemaakt. De beweide en/of gemaaide bronnen worden als onbeschaduwde weidebron getypeerd. Hier liggen de bronnen vaak in een mozaïek met vochtige en natte graslandvegetaties. De bronnen waar (zeer) extensief beheer plaats vindt kunnen worden gerekend tot de beschaduwde bosbron. Deze liggen in een mozaïek met vochtige bosvegetaties.
Hieronder wordt een beeld gegeven van de te nemen reguliere beheermaatregelen in zowel een weidebron als een bosbron. Daarnaast wordt ingegaan op het specifieke beheer van bronnen ten behoeve van de fauna (Horsthuis & Eysink, 2010).

**Beheer van niet beschaduwde bronnen**
Het beheer in een niet-beschaduwde bron bestaat in grote lijnen uit twee vormen: het hooilandbeheer en begrazingsbeheer.
Bij het hooilandbeheer wordt de vegetatie meestal gemaaid in de periode juli - september waarna het maaisel wordt afgevoerd. Omdat brongebieden kwetsbaar zijn en slechts een geringe draagkracht hebben, kan niet met

zware maaiapparatuur worden gewerkt. De éénassige messenbalk en/of de rugmaaier, en het 'vliegend tapijt' bieden uitkomst. Om insporing te voorkomen wordt het maaisel niet met een tractor en wagen uit het bron- en beekdalgebied getransporteerd, maar op een groot zeil gelegd. Deze wordt met een lier naar de rand van het gebied getrokken waar de bodem een grotere draagkracht heeft. Van daaruit wordt het maaisel alsnog met groot materieel afgevoerd. Met deze vorm van hooilandbeheer is al op veel plaatsen ervaring opgedaan. Dit in tegenstelling tot het begrazingsbeheer. De schaarse voorbeelden geven echter aan dat door periodieke begrazing en betreding door vee permanent open plekjes en een microreliëf ontstaan waar naast de kenmerkende vaatplanten ook de blad- en levermossen die kenmerkend zijn voor brongemeenschappen van profiteren.
De ervaring leert dat de pionierbegroeiingen van de Bronkruid-associatie en de Klimopwaterranonkel-associatie duurzaam in stand gehouden worden door de inzet van grazers. Van groot belang daarbij is de begrazingsdruk, begrazingsduur en het moment van inscharing. Wordt teveel vee ingeschaard (voor een te lange tijd) dan kan de bronzone worden vertrapt. Bij een hogere begrazingsdruk wordt de eventuele opslag van bomen en struiken wel weggevreten. Wordt te weinig vee ingezet, dan ontstaan geen pioniersituaties en treedt verbossing op. Het vee moet worden ingeschaard bij aanvang van het groeiseizoen (april - uiterlijk begin mei) en stopt pas als het gewas voor 90% is kort geschoren (eind november - begin december). Het is een voorwaarde voor bronvegetaties dat deze kort gemaaid of gevreten de winter in gaat. Daarvoor kan het noodzakelijk zijn om in het najaar aanvullend maaiwerkzaamheden uit te voeren of lang(er) door te weiden.
Rundveerassen die onder schrale natte omstandigheden goed gedijen kunnen hier het beste worden ingezet. Het is daarbij voortdurend zoeken naar de goede balans tussen veebezetting en voedselaanbod.
De beweiding kan ook gecombineerd worden met een maaibeheer door het betreffende perceel na te beweiden met rundvee (in de periode augustus – oktober/december, eigenlijk zolang er grasgroei plaatsvindt). Er is zelfs een voorbeeld van najaar- en winterbegrazing waarbij Schotse Hooglanders in de winterperiode worden ingezet. Deze vorm van nabeweiding zorgt voor (extra) betreding; juist in de ontstane open plekken komen in het vroege voorjaar de kenmerkende soorten van weidebronnen tot ontwikkeling.
Opgemerkt moet worden dat door de inzet van begrazing het verschralend effect minimaal is. Begrazingsbeheer kan dan ook pas worden ingezet als een vergevorderd stadium van verschraling bereikt is (dat wil zeggen aan het eind van de Witbol-fase).
Voor de macrofauna is het inschakelen van grazers in het bronbeheer ongewenst. Met name bij een hoge begrazingsdruk wordt het habitat door vertrapping verstoord. Het is een optie om de bron zelf (of een deel ervan) uit te rasteren. De beweiding kan dan om de bron heen plaatsvinden. Als de afvoer gestremd wordt door teveel vegetatie in de bron zelf, kan ervoor gekozen worden om in de bron handmatig te maaien en het maaisel af te voeren. Gefaseerd maaien waarbij de helft van de vegetatie blijft staan heeft daarbij de voorkeur.

**Beheer van beschaduwde bronnen**
In principe hoeft bij een beschaduwde bron geen intern beheer plaats te vinden; het beheer van de Associatie van Paarbladig goudveil, Kegelmosassociatie, Elzenzegge-Elzenbroek subassociatie met Bittere veldkers en Goudveil-Essenbos is gericht op een duurzame handhaving van de waterkwaliteit en -kwantiteit van het bronwater. Voor de aanwezige kenmerkende macrofauna is beheer evenmin noodzakelijk. Het is voor de macrofauna juist van belang dat dood hout (zoals takken en stammetjes) in

de bron aanwezig blijft (en niet wordt verwijderd zoals nog regelmatig gebeurt).
Wél moeten boomsoorten met slecht verterende bladeren waar mogelijk worden teruggedrongen met de opmerking dat de beschaduwing gewaarborgd blijft. Het gaat hier om Populier *(Populus ssp.)* (in de bronzonde zelf), maar ook Zomereik *(Quercus robur)*, Beuk *(Fagus sylvatica)* en naaldhoutsoorten (op de hogere delen). De genoemde boomsoorten hebben of blad dat rijk is aan stikstof en fosfaat (zoals Populier) waardoor verrijking van het bronmilieu optreedt, of het blad heeft een zuur karakter, waardoor het moeilijk wordt afgebroken. Bij hoge afvoer van de bron en voldoende stroming in de bronbeekjes wordt het organisch materiaal overigens grotendeels weggespoeld. Bij (te) lage afvoer kan het echter lang in de bron aanwezig blijven. Hoewel Zwarte els ook stikstof in het systeem brengt is deze boomsoort van belang omdat het blad een voedingsbron is voor de kenmerkende macrofauna van bronnen en met zijn wortelstelsel ook de bodem vastlegt of natuurlijke drempels in de bronbeek creëert.
Indien bosbeheer (moet) plaatsvinden is het van belang is dat de (vaak venige, humeuze) bodem zo min mogelijk wordt beschadigd. Verder moet worden voorkomen dat te veel zonlicht ineens op de bodem en in bron gaat schijnen.
De koppen en bovenlopen van sprengensystemen kunnen verstopt raken met organisch materiaal. Dit heeft te maken met de mate van afvoer, de vorm van de sprengkop (aangebrachte drempels) en de bomen die vanaf de hogere delen over de spreng hangen. Sprengenbeken met een voldoende continue afvoer en stroming houden zichzelf schoon. Waar noodzakelijk kan een sprengkop gefaseerd en handmatig worden geschoond. Voor macrofauna is het daarbij van belang dat een deel van het organisch materiaal blijft liggen, ten minste de grotere takken en een deel van het blad. Verder kan het noodzakelijk zijn om beschoeiing aan te brengen of te vernieuwen om te voorkomen dat de kanten door het uittredende grondwater worden weggedrukt. Voor macrofauna is een dergelijke kunstmatige oever overigens niet ideaal (Nijboer 2011).

**Beheer ten behoeve van de fauna**
Ten aanzien van de macrofauna is het van belang dat een bronsysteem en bronbeek in een natuurlijke situatie het hele jaar door watervoerend is, het water een constante temperatuur heeft en daarmee samenhangend een hoge zuurstofbeschikbaarheid. Om de constante in temperatuur te borgen en voedingsbronnen ter beschikking te stellen kan het noodzakelijk zijn om in het bronsysteem bos tot ontwikkeling te laten komen, of zelfs actief bomen aan te planten. Spontane ontwikkeling heeft daarbij de voorkeur omdat op deze wijze de juiste soorten op de juiste plaats tot ontwikkeling komen. Zo worden de zaden van Zwarte els *(Alnus glutinosa)* vaak door het water verspreid en precies op de waterlijn afgezet.
Bomen zorgen niet alleen voor beschaduwing maar ook voor organisch materiaal in de beek. De macrofauna gebruikt dit als voedsel of schuilplek. Bovendien zorgen bladeren en takken voor verschillen in stroming in de bron en ontstaan luwe en sneller stromende delen. Dit mozaïek aan habitats zorgt voor een hogere diversiteit aan bronsoorten en de structuren in de bron kunnen bovendien erosie door afvoerpieken tegengaan.
Daarnaast is het belangrijk dat de dispersiemogelijkheden worden hersteld en de waterstroom over het gehele traject passeerbaar wordt voor vissen (bijvoorbeeld Beekprik, *Lampetra planeri*) en macrofauna. Hiervoor moeten stuwen, duikers en watermolens passeerbaar worden gemaakt. Natuurlijke drempels of sprongen in het systeem moeten daarbij met rust gelaten worden of worden hersteld. Het passeerbaar maken van de overgang van een beeksysteem naar een groter water brengt echter ook het risico met zich mee

dat exoten zich in het beeksysteem verspreiden. Isolatie is wat dat betreft een te weinig onderkend belang en zou ook aandacht mogen hebben in beleid en beheer. Een bijzonder voorbeeld hiervan is de populatie van Europese rivierkreeft (*Astacus astacus*) in Nederland, die alleen nog maar voorkomt op het landgoed Warnsborn in Arnhem.

In de weidebronnen speelt het maaibeheer een (grote) rol. Vanuit het handhaven van de openheid is het belangrijk dat dit beheer duurzaam wordt uitgevoerd. Bij de maaiwerkzaamheden moet men echter voorzichtig te werk gaan; handmatig maaien is het beste. In ieder geval moet ervoor gezorgd worden dat de bron zo min mogelijk wordt betreden. Voor macrofauna in de bron is het alleen noodzakelijk om in de bron te maaien als de afvoer teveel dreigt af te nemen door overmatige vegetatiegroei. Dit zal in een bron met voldoende afvoer niet snel gebeuren. Bij het maaien moet altijd een deel van de vegetatie blijven staan, omdat veel soorten zich in de vegetatie schuilhouden.

De graslandpercelen die rondom de bronnen liggen worden in een kort tijdsbestek gemaaid waarbij voedsel en dekking voor terrestrische fauna verdwijnen en eitjes, larven en poppen van insecten worden vernietigd of afgevoerd. Door deze graslanden gefaseerd te maaien blijft een deel van de aanwezige vegetatie staan; dit deel wordt bij de volgende maaibeurt meegenomen. Bij de keuze voor het laten staan van delen van de vegetatie speelt de expositie ten opzichte van de zon een belangrijke rol. Bij voorkeur worden delen van de vegetatie die op het zuiden liggen gehandhaafd. Het handhaven van de vegetatie in de winterperiode is ook belangrijk omdat in deze vegetatie soorten (in welke vorm dan ook) kunnen overwinteren. Een richtlijn kan zijn dat 10% van de aanwezige vegetatie gehandhaafd blijft afhankelijk van de doelstellingen die voor het terrein zijn opgesteld.
Voor de beekdalgraslanden geldt dat het voor flora en fauna gunstig is om het maaisel een paar dagen te laten liggen. Doordat het materiaal een tijdje blijft liggen kunnen de zaden afrijpen en uit het maaisel vallen. Bovendien krijgen dieren die de maaibeurt overleefd hebben, de kans zich te verplaatsen. Als het maaisel echter te lang te laten liggen komen door het afbraakproces voedingsstoffen vrij. Het is daarom goed om het maaisel binnen een week af te voeren.

## 4.4 Locaties van bronnen in het nat zandlandschap en beekdallandschap

**Overzicht van terreinen**

- Overijssel: Sallandse Heuvelrug: Lemelerberg. Stuwwal Ootmarsum: Dal van Hazelbekke, Dal van de Mosbeek, Dal van de Polbeek, Dal van de Springendalse beek en Molenbeekdal. Stuwwal Oldenzaal: Dal van de Stakenbeek, Jufferbeek en Tankenberg.
- Gelderland: Montferland met De Ban, Het Peeske en De Sprung.
- Stuwwal van Nijmegen: Filosofendal en St. Jansberg. Stuwwal Veluwe: Angerenstein, Beekhuizen, Dal van de Renkumse beek, Van Maerlandpark, Middachten, Sonsbeek, Zijpendaal en sprengen bij Vaassen en Epe.
- Limburg: Stuwwal van Nijmegen: St. Jansberg. Terrassenlandschap: Bunderbos.

## 4.5 Aantastingen en bedreigingen

De ecologische toestand van de brongebieden in Nederland is in de tweede helft van de vorige eeuw ernstig achter uitgegaan, en ook nu nog is de situatie zorgwekkend. De aanwezige natuurkwaliteiten in de brongebieden worden door verschillende oorzaken bedreigd en aangetast (o.a. Aggenbach e.a., 2009; Horsthuis, 2007; Verdonschot, 2000). Deze aantastingen kunnen worden onderverdeeld in:

- veranderingen in de hydrologische situatie, in zowel het inzijg- als het brongebied die leiden tot droogval en afvoerpieken;
- veranderingen in de chemische samenstelling van het grondwater en leiden tot verzuring en/of vermesting;
- fysieke verstoring als gevolg van vertrapping of demping;
- het achterwege blijven van geschikt beheer.

**Veranderingen in de hydrologische situatie**
Als gevolg van drainage, kanalisatie, normalisatie en veranderend landgebruik treden veranderingen op in de hydrologische situatie van bronnen en bronbeken (figuur 4.4). De veranderingen in het inzijg- en brongebied hebben tot gevolg dat (lokaal) de grondwaterstanden dalen en de kwelintensiteit afneemt; in sommige gevallen kan uittreden van grondwater zelfs omslaan in (periodieke of permanente) inzijging.

**Veranderingen in het inzijggebied**
Door de aanleg of verdieping van buisdrainage, greppels, sloten en beken, vergraving van een beekloop, ontwikkeling van bebouwing, vergroting van het verharde oppervlak in het inzijggebied, egalisatie, afgraven, waterwinning en verbossing, neemt de infiltratiecapaciteit af in het inzijggebied, waardoor de grondwateraanvoer naar het bronsysteem vermindert. Verder treden er grotere afvoerwisselingen op waardoor meer (voort- en terugschrijdende) erosie in de bron en bronbeek optreedt.

Veranderingen in het grondgebruik leiden er in het inzijggebied toe dat het neerslagwater minder goed tot helemaal niet meer kan infiltreren, maar juist oppervlakkig afstroomt (de zogenaamde run off wordt vergroot). Door aanleg van buisdrainage en/of de aanleg of verdieping van greppels, sloten of beken wordt een deel van het neerslag- en grondwater afgevangen en oppervlakkig afgevoerd. Bij bebouwing en/of verharde oppervlakten vindt in het geheel geen infiltratie van neerslagwater meer plaats. Verder neemt door egalisatie de ruwheid van de bodem af en wordt het neerslagwater oppervlakkig afgevoerd in plaats van dat het infiltreert; dit probleem gaat met name op bij neerslagpieken en is met name in hellende terreinen een probleem. Daarnaast bepaalt het type vegetatie (en de ruwheid/weerstand daarvan) in welke mate de oppervlakkige afstroming van het neerslagwater op een helling wordt afgeremd.
Voor bronnen is de onverzadigde zone van het infiltratiegebied van groot belang omdat in deze zone piekafvoeren bijna volledig kunnen worden geborgen. Deze onverzadigde zone is dan ook een waterbuffer om bronsystemen permanent van water te voorzien en vormt een steeds belangrijker wordende schakel in de klimaatbestendige inrichting van Nederland. Iedere maaiveldverlaging doet dit principe geweld aan. Zeker in systemen waarin een van nature dunne onverzadigde zone aanwezig is, en daarmee een kleine buffercapaciteit, is het effect van maaiveldverlaging groot. Oppervlakkige ontgrondingen in het inzijggebied verkleinen deze natuurlijke onverzadigde zone dan ook en bij diepere ontgrondingen treedt al snel beïnvloeding van de complexe lokale hydrologie op. In beide gevallen is

een negatief effect op de permanent natte bronzones te verwachten door het afromen van die natuurlijke buffer; de onverzadigde zone. Het wordt dan ook ontraden om de inzijggebieden van bronsystemen af te graven. Afplaggen moet ook tot het minimum beperkt worden. De afweging hiervoor wordt bepaald door de haalbaarheid en realisatie van de gestelde natuurdoelen voor zowel het inzijg- als het brongebied; de keuze moet hier op systeemniveau plaats vinden.
Overigens verdampt een deel van het neerslagwater dat op de vegetatie terechtkomt (evaporatie na interceptie) voordat het kan infiltreren: dit water draagt dus niet bij aan de grondwateraanvulling. De interceptie van neerslag is in bossen in onze klimaatzone het hoogst van alle vegetatietypen. Zo is deze in 25-40% van de jaarlijkse neerslag in naaldbossen, en ca. 20-25% in loofbossen (Rhett Jackson, 2006; Gerrits, 2009; Staelens & Mohren, 2010). Overigens speelt ook de dichtheid van het bos een grote rol; een dicht loofbos heeft een aanzienlijk hogere interceptie dan een open loofbos, en kan soms zelfs meer interceptie hebben dan een open naaldbos (Dufour, 1998). Dit alles betekent dat in Nederland bij een gemiddelde neerslag van 800 mm per jaar de gemiddelde grondwateraanvulling in naaldbossen maar ca. 150 mm (150 $l/m^2$) per jaar bedraagt, terwijl dit in loofbos 250-300 mm (250-300 $l/m^2$) en in heide bijna 375 mm (375 $l/m^2$) is (STOWA, 1998). Kortom, de aanplant van bos op voormalige heidestandplaatsen in de inzijggebieden van bronnen kan in kwantitatieve zin bijdragen aan verdroging.
Ook wordt met bebouwing van inzijggebieden en aanleg van bestrating waarbij het rioleringssysteem afvoert naar een waterzuivering de jaarlijkse voeding van het grondwater aanzienlijk verlaagd.

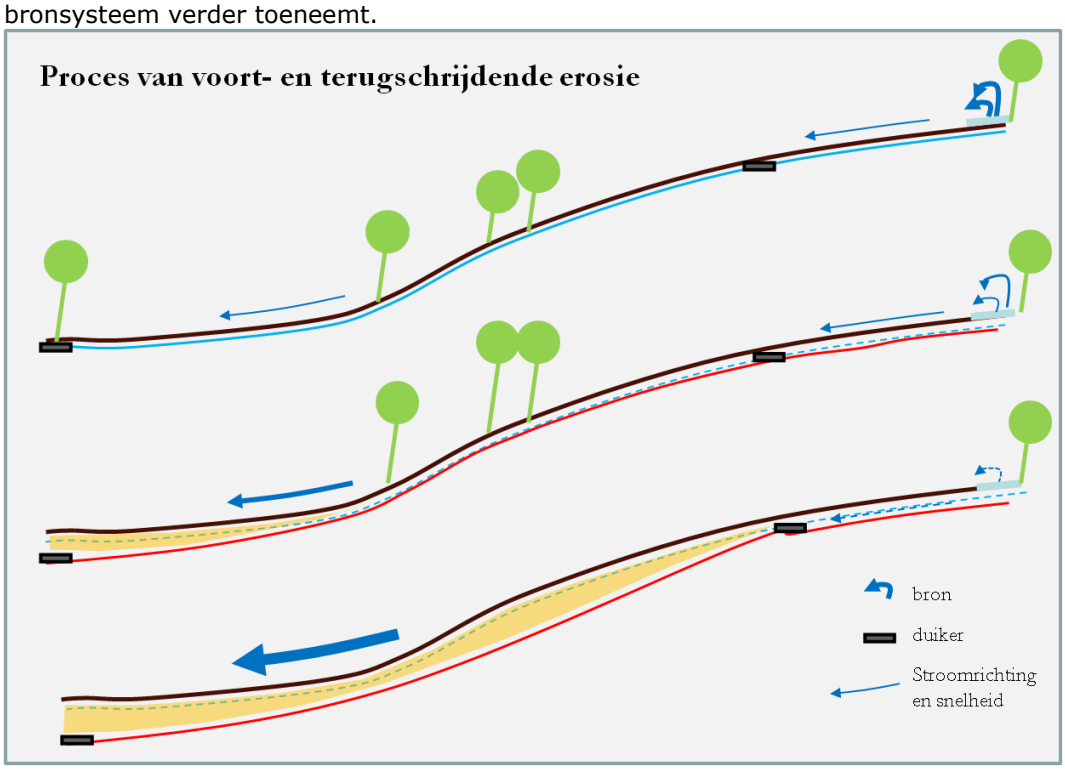
*Figuur 4.4: Drainage in een (potentieel) brongebied in het Dal van de Mosbeek (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.4: Drainage in a (potential) spring area in the Valley of the Mosbeek (photo M. Horsthuis).*

Erosie

Erosie is het proces van slijtage van een vast oppervlak waarbij materiaal wordt verplaatst. Voort- en terugschrijdende erosie is respectievelijk de stroomafwaartse (voortschrijdende erosie) en stroomopwaartse erosie (terugschrijdende erosie) door stromend water met in beide gevallen een (verdere) bodemdaling tot gevolg. De vervallijn van een beekloop is gekoppeld aan de bodemhoogte van de beek. Deze wordt bepaald door de aanwezigheid van "drempels" in het systeem. Deze drempels kunnen bestaan uit boomwortels en vast gesteente, maar ook duikers en stuwen; de beekloop hangt als het ware aan deze drempels. Als in een beekloop veranderingen plaats vinden zoals het verwijderen van bomen, het verdiept leggen van duikers, of de bodem wordt uitgediept, dan zal de vervallijn veranderen. Dit is een natuurlijk proces omdat de beek steeds naar 'evenwicht' zoekt.

In de afbeelding hieronder wordt het proces van erosie in beeld gebracht. De eerste deelfiguur laat een beekloop in een stabiele situatie zien. De diepte van de bodem van de beekloop wordt bepaald door de boomwortels en de duikers. In de tweede figuur is de diepte van de duiker benedenstrooms verlaagd met als gevolg dat in het bovenstroomse gedeelte de vervallijn verandert (rode lijn; de stippellijn is de oorspronkelijke vervallijn). De beek verdiept zich en versterkt de drainage; een groter deel van het grondwater wordt afgevangen. In de derde figuur treedt door kap van de bomen zowel stroomopwaartse als stroomafwaartse erosie op; door de toename van de stroomsnelheid snijdt de beek zich dieper in waardoor de drainage van het bronsysteem verder toeneemt.




*Figuur 4.5. Hier wordt een beeld gegeven van het proces van erosie. De bovenste figuur geeft een evenwichtssituatie. Bij de middelste figuur treedt door verlaging van het beekniveau stroomopwaartse en stroomafwaartse erosie op. Dit wordt met de kap van de bomen die als natuurlijke stuwen functioneerden in laatste figuur versterkt waardoor de beek nog sterker gaat draineren en ook bronwater afvangt. De blauwe lijn geeft de hoogte aan van de ligging en hoogte van de beekdalbodem. De blauwe stippellijn geeft het oorspronkelijke peil aan van de beekbodem. De rode lijn geeft de verdiepte ligging aan van de beekbodem na de ingrepen. Het bruine vlak accentueert de verdiepte ligging van de beekbodem en geeft aan welke extra zone van het beekdal wordt ontwaterd.*

*Figure 4.5: The image shows the process of erosion. The top of the image shows the balanced situation. The second and third situation show an increasing drainage.*

De grondwaterwinningen ten behoeve van de drinkwatervoorziening, industrieel gebruik en/of landbouwkundig gebruik (met name beregening en veedrenking) zijn eveneens oorzaak van hydrologische veranderingen in de brongebieden; deze leidt tot een afname van de stijghoogte van grondwater in het infiltratiegebied en een verminderde aanvoer van grondwater naar de bronzones.

**Veranderingen in het brongebied**
Door de aanleg of verdieping van buisdrainage, greppels, sloten en beken, vergraving van een beekloop in het brongebied treden eveneens veranderingen op in de hydrologische situatie. Als gevolg van hierboven genoemde fysieke aantastingen treedt ontwatering op. Zeker bij de bronsystemen waarvan de natuurlijke fluctuatie van de grondwaterstanden door het jaar heen niet groter is dan tien centimeter kunnen kleine ingrepen grote negatieve gevolgen hebben. Naast ontwatering kunnen fysieke ingrepen zorgen voor grotere afvoerwisselingen (van grond- en oppervlaktewater) waardoor voort- en terugschrijdende erosie optreedt. Als gevolg van deze erosie treedt een verlaging van het bron- en/of beekpeil op waardoor het kwelwater niet via maaiveld in het systeem komt, maar direct in de beek verdwijnt; op sommige plaatsen kan het uittreden van grondwater zelfs omslaan in inzijging (zie ook kadertekst en figuur 4.5).
Uit onderzoek van Verdonschot e.a. (2010) komt naar voren dat een tijdelijke verhoging van de afvoer in een 'normale', ondiepe bronbeek die bijna aan maaiveld ligt en de mogelijkheid heeft om buiten zijn oevers te treden, geen negatief effect heeft op de macrofauna; soortensamenstelling en aantallen blijven ongeveer gelijk. Voor de verwerking van de extra waterafvoer wordt de breedte van het beekdal en een periodieke inundatie gebruikt waardoor de stroomsnelheid veel minder toeneemt als in een beek die verdiept ligt en die ruimte niet heeft. De macrofauna zoekt dan de (door de wateraanvoer tijdelijk platgedrukte) waterplanten als toevluchtsoord op (zoals bijvoorbeeld Kleine watereppe, *(Berula erecta)*).
Een verhoging van de stroomsnelheid zorgt ook voor verandering in het substraat en de beekmorfologie en veroorzaakt drift van (organisch) materiaal. De hypothese is dat verspoeling van organisch materiaal leidt tot verlies van voedsel hetgeen (ook) een secundaire drift van macrofauna veroorzaakt. Herstel lijkt echter weer snel plaats te vinden; dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verplaatsing van het bovenstrooms aanwezige materiaal en de macrofauna. Dit gaat echter niet op voor de bronnen omdat deze het meest bovenstroomse deel vormen.
Er is onderzoek gedaan naar effecten van afvoerpieken in natuurlijke bovenlopen van beken in Limburg en op de Veluwe. Hieruit blijkt dat bij hoge afvoerpieken soorten kunnen wegspoelen en habitats bedekt kunnen raken met zand. Soorten herstellen zich soms pas in het volgende jaar na de nieuwe eiafzet (Nijboer et al. 2005).

**Veranderingen in de chemische samenstelling van het bronwater**
De chemische samenstelling van het grondwater en daarmee ook het bronwater kan sterk veranderd zijn door recente antropogene invloeden zoals:

- vermesting uit de landbouw;
- omwisseling van nitraat naar sulfaat tijdens het transport van nitraat in de bodem;
- atmosferische depositie van sulfaat- en stikstofverbindingen.

De genoemde processen zijn, of kunnen van doorslaggevende betekenis zijn, voor de waterchemie in situaties waar het inzijggebied vooral uit agrarisch gebied bestaat.
Verder is de verwachting dat door de aantasting van het hydrologisch systeem de stroming(richting) van het grondwater kan veranderen met als gevolg dat de chemische samenstelling van het grondwater in de bron verandert. Daarnaast kan door verdroging de mineralisatie van organisch materiaal (versneld) op gang komen. Dit leidt tot verzuring (verlies van buffercapaciteit) waardoor de pH kan dalen en basenminnende planten in de problemen komen, maar ook tot verhoogde beschikbaarheid van nutriënten.

**Vermesting vanuit de landbouw**
Sinds de jaren vijftig tot in de jaren negentig van de 20ste eeuw is het gebruik van stikstof (N) en fosfaat (P) in de landbouw enorm toegenomen. Vanaf de jaren 1990 is een duidelijk dalende trend (van 30-40%) ingezet door een gericht mestbeleid. Door deze overbemesting – een grotere gift van N en P dan de planten kunnen benutten - en het feit dat nitraat zeer mobiel is in de bodem, heeft geleid tot sterk verhoogde nitraatgehaltes in het ondiepe grondwater onder landbouwgebieden (veelal ver boven grenswaarde van 50 mg $NO_3$ per liter) (CBS, PBC & Wageningen UR, 2011). Overigens is de 50 mg $NO_3$ per liter een drinkwaternorm is die voor natuur minder relevant is. Hoewel er voor natuur (nog) geen duidelijke drempelwaarde is, lijkt 10 mg $NO_3$ per liter realistischer als grenswaarde (schriftelijke mededeling Rob van Dongen).
Ook zijn vanuit inzijggebieden in agrarisch gebied nog steeds matig tot sterk vervuilde ondiepe grondwaterstromen met nitraat onderweg naar onder meer bronnen en bronbeekjes, maar ook naar andere kwelzones. Tot nu toe heeft deze sterke stijging van het nitraatgehalte in bronnen met veel agrarisch inzijggebied nog niet geleid tot verhoogde productie van algen of andere waterplanten, aangezien de fosfaatgehaltes in deze bronnen nog steeds zeer laag zijn (Hendrix & Meinardi, 2004; Verdonschot & Keizer-Vlek, 2008). Dit komt doordat fosfaat zeer immobiel is in de bodem en nog vrijwel niet toeneemt in deze grondwaterstromen. Wel moet gezien de gestegen nitraatconcentraties in het bronwater gevreesd worden dat de oever- en ondiepe watervegetaties van deze bronkoppen en bronbeekjes steeds meer gaan verruigen met stikstofminnende soorten als Grote brandnetel (*Urtica dioica*), Liesgras (*Glyceria maxima*) en Reuzenbalsemien (*Impatiens glandulifera*).

**Omwisseling van nitraat naar sulfaat in de bodem**
Het uitgespoelde nitraat kan in de ondergrond ook reageren met pyriethoudende afzettingen, waarbij het nitraat weliswaar verdwijnt, maar sulfaat ontstaat (Smolders e.a., 2010). Sulfaat kan dan indirect tot een eutrofiëring van grondwatergevoede systemen, waaronder bronnen, leiden. Sulfaat reageert onder gereduceerde condities met organisch materiaal waardoor dit wordt afgebroken en nutriënten (P) vrij kunnen komen. Het sulfide dat hierbij wordt gevormd, reageert met ijzerhydroxidecomplexen in de bodem, waardoor het hieraan gebonden fosfaat vrij kan komen. Dit proces wordt interne eutrofiëring genoemd en speelt vooral een rol in systemen met lage ijzergehalten – in verhouding tot sulfaat (S) - in de bodem (Smolders e.a., 2006). Hoewel dit fenomeen nog niet algemeen is in bronnen, zijn er toch al situaties beschreven waarin de sulfaatconcentraties in bronwater sterk zijn gestegen (Hefting e.a., 2006 Lucassen & Roelofs 2005).

**Verzuring en vermesting door atmosferische depositie**
De mogelijke invloed van atmosferische depositie op bronnen is vanaf 1974 tot 1990 onderzocht in sprengen (bovenloop) en bronnen op de zuid- en oostrand van de Veluwe (Meinardi, 1999; Van Dam e.a., 1993). De meeste van deze bronnen liggen in bos- of heideterreinen, en krijgen aanvoer van grondwater uit dergelijke gebieden. Dit betekent dat directe invloed van meststoffen vrijwel is uitgesloten en de enige bron van vervuiling atmosferische depositie is. De onderzochte bronnen zijn van nature zeer zwak tot zwak gebufferd (zure, mineraalarme brontypen), en daarmee gevoelig voor verzuring.
In 1986 zijn chemische metingen verricht en voor een aantal locaties konden deze waarnemingen worden vergeleken met metingen in 1974 en 1981 (Meinardi, 1988). Hierbij is gevonden dat de pH van het water in de periode 1974-1986 gemiddeld met 0,5-1,0 gedaald is. Zo zijn in deze bronlocaties in 1974 geen pH-waarden onder de 5,5 gemeten, terwijl in 1981 bijna 20%, en in 1986 in meer dan 40% van de meetpunten een pH lager dan 5,5 is gemeten. Ook de nitraat- en totaal stikstofgehaltes van het water zijn in deze periode gestegen: het nitraatgehalte is in de twaalf jaar gemiddeld met 3,1 mg $NO_3$/ l toegenomen en de lage nitraatwaarden uit 1974 (< 2,2 mg $NO_3$/l) zijn in 1986 vrijwel niet gemeten. De concentraties van de overige macro-ionen, waaronder die van sulfaat, zijn vrijwel onveranderd gebleven.
In een ander onderzoek zijn in 1990 op 35 meetpunten in 16 bronnen monsters genomen voor analyse van chemie en kiezelwieren (diatomeeën) (Van Dam e.a., 1993). Van 17 meetpunten waren ook gegevens bekend uit 1974 en 1980. De pH van het water was in 1990 gemiddeld 6,4 en daarmee niet significant lager dan in 1974 (gemiddeld 6,5). Aangezien oude pH-metingen in zwakgebufferde wateren veelal minder betrouwbaar zijn, is de pH ook geschat door middel van de kiezelwiersamenstelling. Deze, relatief betrouwbare, methode bracht aan het licht dat er een kleine, maar significante daling in pH (0,3 eenheid) van 1974 tot 1990 heeft plaatsgevonden. De alkaliniteit (= bicarbonaatgehalte) van het bronwater, of te wel het bufferend vermogen, is in deze onderzoekperiode met 30% gedaald: van 21,7 mg $HCO_3$ per l (355 µeq/l) tot 15,3 mg $HCO_3$ per l (251 µeq/l). Naast deze afname van de buffercapaciteit bleek het nitraatgehalte ook duidelijk gestegen: in 1974 gemiddeld 1,1 mg $NO_3$/l en in 1990 meer dan 9,3 mg $NO_3$/l. De concentraties aan overige macro-elementen, waaronder sulfaat, waren onveranderd. Kortom, zelfs in bronnen met vrijwel alleen natuur in het inzijggebied is de waterchemie in de periode 1970 tot 1990 duidelijk verslechterd: het water is (wat) zuurder geworden en duidelijk minder gebufferd, terwijl ook de nitraatgehalten significant zijn gestegen (Bobbink & Lamers, 1999). Sindsdien is echter de toevoer van verzurende depositie sterk terug gedrongen, waardoor dit proces waarschijnlijk een stuk minder snel verloopt waarbij je overigens nog wel te maken hebt een naijleffect als gevolg van reistijden.

**Versnippering**
Brongebieden maakten in het verleden onderdeel uit van een langgerekt netwerk van natte milieus met overgangen naar vochtige en droge habitats; deze terreinheterogeniteit is in de laatste 100 jaar sterk afgenomen. Vaak zijn op landschapsschaal alleen nog natte ecotopen over die door het veranderende landgebruik geïsoleerd zijn geraakt. De (nog) aanwezige gemeenschappen en soorten fungeren als refugia en zijn van groot belang wanneer de abiotische voorwaarden hersteld worden. Vanuit deze refugia kunnen de bronsoorten zich vliegend, via waterstroming, wind of (andere) dieren verspreiden. Voor macrofauna kan de afstand tussen twee bronnen snel te groot zijn. De meeste vliegende soorten (insecten) vliegen maar kleine afstanden en blijven binnen het eigen beeksysteem. Dispersie van vliegende

insecten naar andere gebieden hangt bovendien af van de weersomstandigheden (o.a. wind). Soorten die zich alleen via het water verspreiden kunnen een andere bron alleen bereiken via de beek. Vaak is het beekhabitat echter minder geschikt voor bronsoorten, waardoor dergelijke verspreiding niet over grote afstanden plaatsvindt. Passieve verspreiding van macrofauna of eieren door dieren (o.a. vissen of vogels) vindt ook plaats maar de mate waarin dit gebeurt is niet goed bekend (Nijboer & Verdonschot, 2006). Aangezien verspreiding van dieren van een bron naar een herstelde bron niet snel zal gaan, is het te overwegen om soorten uit te zetten. Voor macrofauna kan hiervoor substraat (inclusief dieren) uit een vergelijkbare bron worden overgebracht naar de herstelde bron (bijvoorbeeld door het inbrengen van grind, zand, detritus, blad en takken). Voor het nemen van deze maatregel zou een protocol moeten worden opgesteld om de verschillende stappen die genomen worden vast te leggen en de keuzes die daarbij gemaakt worden in beeld te brengen.
Ook voor veel planten zijn de afstanden tussen bronpopulaties en herstellocaties vaak te groot om te overbruggen, al hebben een aantal soorten uit het natte milieu een lang levende zaadvoorraad (Aggenbach e.a., 2009). Uit de herstelprojecten in Noordoost-Twente blijkt dat bronsoorten zoals Bittere veldkers *(Cardamine amara)* en Verspreidbladig goudveil *(Chrysosplenium alternifolium)* zich in de eerste jaren na inrichting over een afstand van 25 tot 50 meter kunnen vestigen (zelfs stroomopwaarts van de bronpopulaties) (Eysink e.a., 2012). Bij uitvoering van de werkzaamheden moeten in ieder de bestaande bronsoorten worden gespaard en bij afronding van de werkzaamheden worden teruggeplaatst. Hiervoor is onder andere ervaring opgedaan in de Soerense beek op de Veluwe waar polletjes Goudveil na het uitvoeren van maatregelen (groot onderhoud en plaatsen van beschoeiing) zijn teruggeplaatst. Vanuit deze polletjes heeft de soort zich weer over de hele oevers verspreid (Nijboer 2011). Ook bij herstelwerkzaamheden langs de Polbeek bij Ootmarsum is een populatie Bittere veldkers tijdelijke verplaatst en na uitvoering teruggeplaatst (Eysink e.a., 2012).

**Beheer in bron- en inzijggebieden**
Door het instellen van een ander beheer of het achterwege blijven van beheer kan de kwaliteit van bronsystemen achteruit gaan (zie ook paragraaf 4.3). Indien een weidebron niet meer gemaaid of beweid wordt zal hier een ontwikkeling naar een bronbos worden ingezet. Bij sprengensystemen heeft het achterwege blijven van onderhoud tot gevolg dat het bronsysteem verstopt raakt met organisch materiaal en zand.

**Herkenning van verdroging, verzuring en vermesting**
De (massale) ontwikkeling van Gewone es (*Fraxinus excelsior*) en/of Gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*) in de bronbossen is een belangrijke (eerste) indicatie voor verdroging. Een langere periode van verdroging leidt met name in venige situaties tot een irreversibele (sterke) inklinking en veraarding van bronsituaties. Dit probleem is in bronbossen goed te herkennen aan de stamvoet en wortels van met name Zwarte els die bij de inklinking vrij komen te liggen; de wortels van de boom staan in de zandige ondergrond en de boom komt als het ware op stelten te staan. Wanneer de grondwaterstand in bronsystemen daalt, treedt mineralisatie van organisch materiaal op waardoor ook zuren en voedingsstoffen vrijkomen. Hier reageren met name braam (*Rubus spec.*), Framboos (*Rubus idaeus*) en Grote brandnetel positief op. Overigens zijn deze soorten ook indicatief voor de toegenomen stikstofdepositie. Verdroging van de bron zelf leidt ertoe dat droogteresistente soorten zich in de bron gaan vestigen en dat soorten die permanente aanvoer

van water nodig hebben in aantal afnemen. Als er nog wel water aanwezig is maar het water stilstaat gaat zich een macrofaunagemeenschap ontwikkelen met soorten die kenmerkend zijn voor stilstaande wateren. Bij te weinig afvoer/stroming zal het zuurstofgehalte in het water afnemen en de hoeveelheid slib op de bodem toenemen. Ook dit is funest voor de typische bronsoorten.
Hoge nutriëntengehalten in het grondwater (van N en P) leiden er eveneens toe dat hoogproductieve plantensoorten domineren; deze beconcurreren daarbij de langzame groeiers (vaak de zeldzame en karakteristieke plantensoorten). In geërodeerde en verdroogde situaties zijn de kenmerkende plantensoorten vaak alleen nog maar in het centrum van de bron of in de rand van de bronbeek aanwezig (waar ze het uittreden van grondwater indiceren), terwijl bijvoorbeeld Zwarte els en Wilgensoorten de oorspronkelijk kwelgevoede situatie weergeven.
Hoge voedselrijkdom leidt ook tot meer algen in de bron. Deze veroorzaken een toename van het organisch materiaal en een sliblaag op de bodem. Typische bronsoorten van voedselarm water zullen hierdoor verdwijnen en soorten die leven van algen of soorten kenmerkend voor slib zullen toenemen.

## 4.6 Herstelmaatregelen

Met het herstel en beheer van bronsystemen in het nat zandlandschap en beekdallandschap is in de afgelopen tien jaar veel ervaring opgedaan (Eysink e.a., 2012; Horsthuis, 2007; Horsthuis e.a., 2009 en Nijboer e.a., 2003). Om een zo volledig mogelijk overzicht van de uitgevoerde maatregelen en hun effectiviteit te verkrijgen, is beheerders gevraagd inzicht te geven in de herstel- en beheermaatregelen van brongebieden in hun beheergebied. De ze gegevens hebben betrekking op maatregelen in het bron- en inzijggebied en zijn in bijlage 4 uitgewerkt. Aan de hand van deze ervaringen en de bevindingen in Eysink e.a. (2012) wordt een overzicht gegeven van te nemen herstelmaatregelen. Deze maatregelen hebben betrekking op de volgende vijf onderdelen:

- Herstel hydrologie;
- Herstel morfologie;
- Terugdringen voedingsstoffen;
- Terugdringen verzuring/ophoping organisch materiaal;
- Herstel soortdiversiteit.

**Overzicht van uit te voeren herstelmaatregelen**
Bij het nemen van de maatregelen gaat het in de eerste plaats om het herstel van het hydrologische systeem. Dit kan door het verwijderen of onklaar maken van drainagesystemen, het dicht maken of verondiepen van greppels, sloten en beken, het herstel van het oorspronkelijke reliëf (niet ontgronden, maar alleen afromen van de opgebrachte grond), het kappen of sterk dunnen van (naald)bos en het beperken van de waterwinning. Daarnaast moet er aandacht zijn voor het verbeteren van de waterchemie. Hiervoor kan het noodzakelijk zijn om bemestingsvrije bufferzones aan te wijzen of landbouw om te zetten in natuur (Hefting e.a. 2006). Voordat met de uitvoering van de herstelmaatregelen wordt begonnen moet (al) duidelijk zijn wat het vervolgbeheer is (en hoe dit beheer wordt gefinancierd). Hieronder worden herstelmaatregelen besproken die genomen kunnen worden in het inzijggebied, het brongebied en de bronbeek. Daarnaast wordt maatregelen besproken die bij de inrichting van nieuwe natuur kunnen worden toegepast.

*Figuur 4.6a: Ontwikkeling van bos in een bronsituatie. Voorbeeld in Dal van de Brunninkhuizerbeek direct na inrichting in 2008 (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.6a: Development of forest in a spring habitat. Example of the Valley of the Brunninkhuizerbeek short after restoration in 2008 (photo M. Horsthuis).*

## In het inzijggebied

| Maatregel | Aandachtspunten |
|---|---|
| Dempen van sloot en greppel | Ook in het inzijggebied is het noodzakelijk om de aanwezige sloten en greppels te dempen. Hoewel ze in eerste instantie in de zomerperiode (als de inventarisatie vaak plaatsvindt) geen effect lijken te hebben, kunnen deze (met name in de winter en het voorjaar) water versneld oppervlakkig afvoeren. Een eco-hydrologisch vooronderzoek kan hier meer duidelijkheid verschaffen.<br>Verwijder voor het dempen van de sloot/greppel eerst het organische materiaal. Deze organische laag kan namelijk in een gedempte sloot als een drainagebuis gaan werken. Gebruik bij het opvullen van de sloot/greppel schoon zand van dezelfde granulaire samenstelling als omliggende gronden. |
| Herstel van de morfologie | Om de capaciteit in het inzijggebied te vergroten kan het noodzakelijk zijn om vergraven delen weer op te vullen. Dit moet dan plaatsvinden met schoon zand dat dezelfde granulaire samenstelling heeft als omliggende gronden. |
| Verwijderen drainage | Drainagebuizen moeten in zijn geheel verwijderd worden. Het opvullen van drainagebuizen is daarbij geen optie omdat uit de praktijk blijkt dat het niet (goed) lukt de hele buis te vullen; alleen de beide zijden worden afgestopt. Met name in hellende terreinen is het afstoppen van de drainagebuis met zwelklei geen optie omdat deze (in het middengedeelte) blijven ontwateren.<br>Bij het verwijderen van de drainagebuizen wordt de ontstane geul opgevuld met schoon zand dat dezelfde granulaire samenstelling heeft als omliggende gronden. Met name in hellende terreinen bestaat de kans dat er uitspoeling plaatsvindt van het ingebrachte zand. |
| Afschrapen van vegetatie om kiembed te creëren | In het inzijggebied wordt beheer voorgesteld waarbij voedingsstoffen worden afgevoerd. Het kan hier allereerst gaan om het opheffen van de bemesting of het instellen van evenwichtsbemesting. Daarnaast kan verschralingsbeheer worden ingezet om de geaccumuleerde nutriënten te verwijderen. Tenslotte kunnen terreindelen (ondiep) worden afgeplagd indien het fosfaat- en stikstofgehalte zodanig hoog zijn dat verschralingsbeheer (op korte termijn) geen effect heeft. Overigens moet omzichtig worden omgegaan met de laatst genoemde maatregel omdat hiermee de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone in het inzijggebied wordt verkleind. Bovendien kan door het afplaggen op hellende terreinen (en vermindering van de ruwheid van het terrein) een versnelde afvoer van neerslagwater optreden waardoor erosiegeulen kunnen ontstaan. |
| Verwijderen van meststoffen door afplaggen | |
| Uitmijnen van de bodem | |
| Aanpassen van het landgebruik | In het inzijggebied kunnen gronden worden omgezet van een landbouw- naar een natuurfunctie. Ook kunnen bossen worden omgezet naar heide of grazige vegetaties (in verband met verdamping en grondwateraanvulling). |
| Niet bemesten | Een voorbeeld van het niet meer bemesten van een bufferzone en het effect op de grondwaterkwaliteit in een diffuse bronzone in de beekdalgrasland van het Ribbert (bij Ootmarsum) is uitgewerkt in Hefting e.a. (2006). Gedurende drie jaar zijn de grondwaterstanden en de grondwaterchemie onderzocht in het diffuse brongebied en begin van het beekje in het Dal van 't Ribbert. Dit terrein bestaat uit een smal erosiedal met soortenrijke Dotterbloemhooilanden dat direct grenst aan een enkele meters hoger gelegen maïsakker. In de periode zomer 1998 tot in de zomer van 2011 zijn hier frequent monsters van het grondwater genomen. Hieruit is duidelijk naar voren gekomen dat het grondwater dat deze bronzone bereikt ernstig verrijkt is met nitraat. Tijdens de meetperiode (voorjaar 1999) werd echter een onbemeste bufferzone van twaalf meter van de rand van het reservaat aangelegd. Hoewel geen oorspronkelijk doel van het onderzoek, bleek de aanleg van de bufferzone er voor te zorgen dat er binnen anderhalf jaar een duidelijke reductie van ca. 50% van het nitraatgehalte in het toestromende grondwater te zijn opgetreden. Kortom, reductie van de overbemesting in het droge inzijggebied, en daarmee van de nitraatuitspoeling, kan ook op korte termijn effectief zijn, met name in bronnen die gevoed worden door lokale grondwatersysteem. |

## In de bron

| Maatregel | Aandachtspunten |
|---|---|
| Dempen van sloot en greppel | Belangrijk is dat bij het verhogen van waterpeilen in het bronsysteem een vrije afwatering met een behoorlijke stroomsnelheid kan blijven plaats vinden (zie ook inzijggebied) |
| Verondiepen van sloot en greppel | |
| Aanbrengen drempel | In de uitstroom van de bron kunnen keiendrempels, houten balkjes of dood hout worden ingebracht om de aanwezige (natuurlijke) hoogteverschillen op te vangen. De drempel mag de stroming niet beperken en ook geen stagnerende waterlaag veroorzaken. Het is dan ook van groot belang dat de drempelhoogte maximaal tien centimeter bedraagt om de bron passeerbaar te houden voor (macro)fauna.<br>Voor de langere termijn moeten boomwortels de functie van de drempels overnemen. Daarvoor is het noodzakelijk dat bij de uitstroom plaatselijk Zwarte els wordt aangeplant.<br>Door stagnerend water verzamelt zich organisch materiaal en slib waardoor zich ruigtevegetaties met Rietgras, Liesgras of Mannagras kunnen ontwikkelen, |
| Verwijderen drainage | In sommige gevallen is een bron sterk ontwaterd doordat een ring van drainagebuizen om de bron is gelegd. Deze buizen moeten in zijn geheel worden verwijderd. |
| Afschrapen (zie figuur 4.6a en 4.6b) | In het brongebied kan het afschrapen (= zeer ondiep plaggen) van de aanwezige vegetatie de ontwikkeling naar een gewenst vegetatietype (zoals bijvoorbeeld bos) versnellen. Bedenk hierbij dat een deel van de vegetatie gehandhaafd blijft ten behoeve van de macrofauna. |
| Afplaggen | Afplaggen werkt ontwaterend als tot in de zone met de hoogste grondwaterstand (GHG) wordt geplagd. |
| Verwijderen bos | Voor de ontwikkeling van een niet beschaduwde bron is het noodzakelijk dat de bron vrijgehouden wordt van houtige gewassen. Daarnaast is het voor beschaduwde bronnen noodzakelijk dat bomen met zuur blad (zoals Beuk en Zomereik, maar ook naaldhoutsoorten) niet de overhand krijgen; het bladmateriaal van deze soorten zal zich in de bron ophopen tenzij de afvoer voldoende is om het blad weg te spoelen. |
| Ontwikkelen bos (zie figuur 4.5a en 4.5b) | Om het areaal bronbos te vergroten kunnen delen geschraapt of geplagd worden (indien de hydrologische situatie voldoet aan de noodzakelijke randvoorwaarden). Dit is vaak voldoende; de zaadbronnen van Zwarte els en wilgensoorten zijn al in de directe omgeving aanwezig. Maar ook bronsoorten kunnen zich in deze nieuwe situaties vestigen (indien een groeiplaats in de nabijheid is). |
| Opstuwen van water in sprengensystemen in de winterperiode | Er zijn op dit moment ideeën om het water van de sprengen in de winterperiode door middel van een schotbalk (tot twee meter hoogte!) op te zetten zodat de sprengkop en het achterliggende inzijggebied langer water vasthoudt. Deze methode werd in het verleden ook toegepast. Hoewel deze maatregel vanuit hydrologisch oogpunt interessant zou kunnen zijn, moet dit vanuit ecologisch oogpunt sterk worden afgeraden omdat met het opzetten van het waterpeil de bestaande natuurkwaliteiten met kenmerkende bronsoorten (zoals de wintergroene Goudveil-soorten) maar ook de varens op de steile oevers van de sprengbeek verzuipen. Daarnaast zal deze maatregel ook voor de kenmerken macrofauna negatieve gevolgen hebben omdat de stroming beperkt wordt en het zuurstofgehalte zal dalen. De kenmerkende bronsoorten zijn gebaad met een constante hydrologische situatie. Grote maar ook kleine veranderingen leiden tot negatieve effecten op de aanwezige natuurkwaliteiten. |

## In de bronbeek

| Maatregel | Aandachtspunten |
|---|---|
| Dempen van sloot en greppel | Voordat met het ophogen van de beekdalbodem wordt begonnen is het van belang dat goed beeld verkregen wordt van de aanwezige macrofauna. Aan de hand daarvan kan besloten worden om de herstelmaatregelen in fasen uit te voeren. Daarnaast is het belangrijk om met de stroom mee van boven naar beneden te werken in de periode dat de macrofauna het minst kwetsbaar is (augustus - september). Eventueel kan macrofauna van een nog niet aangepakt traject naar een hersteld traject worden overgebracht om het herstelde deel te 'enten'. Het herstel van de macrofauna vindt dan wellicht sneller plaats.<br>Bij het inbrengen van het zand/klei wordt gekeken naar de opbouw van het bodemprofiel naast de beek. Het kan noodzakelijk zijn om het aanwezige substraat (van bijvoorbeeld grindrijk materiaal) in het opgehoogde deel te brengen (de zogenaamde transplantatie). Hiervoor kan van beeksegment naar beeksegment gewerkt worden (tussen de aangebrachte drempels).<br>Waar terreindelen te kwetsbaar zijn om te berijden kan het zand door verspoeling worden ingebracht (de zogenaamde zandmotor). Hiervoor wordt het zand bovenstrooms op een toegankelijke plaats in de rand van beekbedding gestort waarna het materiaal middels natuurlijke erosie en sedimentatie naar de te verhogen delen wordt gespoeld. |
| Verondiepen van beek, sloot en greppel | |
| Aanbrengen drempels | In de bronbeek kunnen keiendrempels, houten balkjes of dood hout worden ingebracht (maximale hoogte 10 cm), en moet zand/klei worden gebruikt voor verhoging van de sloot of beekdalbodem (zie boven). Voor de langere termijn moeten boomwortels de functie van de drempels overnemen. Daarvoor is het noodzakelijk dat Zwarte els pleksgewijs langs de beekloop wordt aangeplant (op de waterlijn) of moet de natuurlijke ontwikkeling van deze soort worden bevorderd om de aanwezige hoogteverschillen op te vangen door plaatselijk kale plekken te creëren. |
| Verwijderen drainage | Ook in deze zone is het noodzakelijk dat drainagesystemen verwijderd worden (zie ook hieronder). |
| Aanbrengen voorde | In bestaande (zand)wegen kunnen voordes (doorwaadbare plaatsen) worden aangebracht om het 'doorvoerpeil' van de beekloop te verhogen en de passeerbaarheid voor fauna te verbeteren. Op deze wijze wordt het water ook zichtbaar gemaakt voor het publiek. Houdt daarbij wel in het oog dat bij bevriezing gevaarlijke situaties kunnen ontstaan en dat bij bevriezing het water een andere (ongewenste) weg kan gaan zoeken. |

*Figuur 4.6b: Ontwikkeling van bos in een bronsituatie. Voorbeeld in Dal van de Brunninkhuizerbeek in 2012 (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.6b: Development of forest in a spring habitat. Example of the Valley of the Brunninkhuizerbeek in 2012(photo M. Horsthuis).*

**Nieuwe natuur**
Bij de inrichting van nieuw natuurterreinen worden tegenwoordig bijna standaard bodemmonsters verzameld om de fosfaat- en stikstofwaarden op verschillende diepten in de bodem in beeld te brengen. Aan de hand van deze informatie kan bepaald worden in hoeverre (voor)gestelde natuurdoelen kunnen worden gerealiseerd. Bij hoge waarden van met name fosfaat wordt er veelal voor gekozen om het terrein geheel of gedeeltelijk af te graven. Daarbij is over het algemeen het verwijderen van de bouwvoor (20-40 cm dik) voldoende om een (groot) deel van de fosfaat te verwijderen.
De ervaringen bij bronherstel geven aan dat afschrapen en ondiep plaggen (tot maximaal 10-15 cm) in kwelgebieden leidt tot positieve resultaten. Op delen die dieper afgegraven zijn ontwikkelen zich niet de oorspronkelijke en gewenste vegetatietypen. Dit heeft er ook mee te maken dat met het diep(er) afgraven de grondwaterstanden niet tot een optimale hoogte kunnen worden hersteld. Daarnaast wordt met deze maatregel de (vaak nog aanwezige) zaadbank afgevoerd. Het afgraven heeft ook gevolgen voor de ontwikkeling van de vegetatiezones die hoger in de gradiënt liggen; deze zone wordt namelijk gedraineerd door het afgegraven deel.
In de inzijggebieden bestaat de bodem uit een verzadigde en onverzadigde zone. In deze zone bevindt zich capillair hangwater maar is ook ruimte voor opslag van neerslagwater. Als het watergehalte in de onverzadigde zone toeneemt tot een bepaalde waarde (de uitspoeling) stroomt het water naar beneden (de percolatie) en voegt het zich bij het grondwater. Juist de onverzadigde zone zorgt dus voor de (vertraagde) toelevering van vocht aan het grondwater. Het is van belang dat de buffercapaciteit (natuurlijke berging) zo groot mogelijk blijft. Daarom moet er in een aantal gevallen voor worden gekozen om terreindelen die als inzijggebied functioneren de voedselrijke toplaag niet te verwijderen.
Om de gestelde doelen toch te bereiken en in het inzijggebied een afname te realiseren van de aanwezige voedingstoffen in de bodem kan gekozen worden voor de strategie van uitmijnen. Om hier een goede inschatting te kunnen maken is het noodzakelijk om door middel van bodemmonsters een beeld te krijgen van stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalten.
Doordat het landbouwkundig gebruik (en de daarbij behorende bemesting is gestaakt) vindt in deze terreinen een snelle daling van het gehalte aan voor planten beschikbare stikstof plaats. De plantensoorten die zowel veel stikstof als fosfaat nodig hebben, gaan dan in bedekking en aantal achteruit en worden vervangen door soorten die met minder stikstof toe kunnen, maar wel 'gesteld zijn' op veel fosfaat. Het gaat hier onder andere om Gestreepte witbol *(Holcus lanatus)*, Pitrus *(Juncus effusus)*, Jacobskruiskruid *(Senecio jacobaea)* en Fioringras *(Agrostis stolonifera)*, maar ook de vlinderbloemigen zoals Kleine klaver *(Trifolium dubium)*, Witte klaver *(Trifolium repens)*, Rode klaver *(Trifolium pratense)* en Moerasrolklaver *(Lotus pedunculatus)*, die in staat zijn zelf stikstof te binden. Vervolgens wordt de biomassaproductie van het grasland vooral beperkt door het gehalte aan het voor planten beschikbare fosfaat. Fosfaat is weinig mobiel in de droge bodem en is in hoofdzaak (in een gebonden vorm) in de bovenste bodemlaag opgeslagen. In niet diepgeploegde zandbodems is dat de bovenste 30-50 (-100) cm. De graslanden waarin de hierboven genoemde soorten overheersen kunnen pas worden omgevormd naar een soortenrijker type als het fosfaatgehalte voldoende verlaagd is.
Fosfaatbindende processen kunnen in samenhang met ijzerrijke kwel of een zeer kalkrijke bodem het verschralingsproces versnellen (het gaat hier om minder dan 25% van de gevallen). Dit speelt met name in brongebieden een

positieve rol en kan de ontwikkelingen in de vegetatie versnellen. Op de meeste standplaatsen is bij een beheer van maaien en afvoeren de fosfaatvoorraad echter pas na vele tientallen jaren voldoende uitgeput. Als begrazing wordt toegepast zal nauwelijks verschraling optreden. Wel wordt een betere vegetatiestructuur en open pioniersituaties verkregen. Omdat het op de voormalige landbouwgronden bij het maai- en begrazingsbeheer heel lang duurt voordat de soortenrijkdom toe neemt is het zinvol om de fosfaatvoorraad in het grasland 'uit te mijnen'. Door het toedienen van kalium en stikstof en/of bijzaaien van klaver wordt het beschikbare fosfaat door de productieve grassen beter opgenomen en bij een verschralingsbeheer effectief afgevoerd (Eekeren e.a., 2007). Bij uitmijnen wordt met het maaisel meer fosfaat afgevoerd dan zonder de toevoeging van die stoffen het geval zou zijn. Zodra de fosfaatgehalten laag genoeg zijn, kan worden gestopt met de bemesting.
Of gekozen wordt voor afgraven of uitmijnen hangt van de gestelde natuurdoelen die zowel voor het inzijg- als het brongebied zijn vastgesteld en inspanningen die nodig zijn op deze doelen te halen. Bij deze keuze staat herstel van het hydrologisch systeem voorop.

*Figuur 4.7a: Afgeschraapt graslandperceel bij Schabos in het brongebied van de Brunninkhuizerbeek in 2007 (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.7a: Grassland where the top soil has been removed nearby Schabos in the spring area of the Brunninkhuizerbeek in 2007 (photo M. Horsthuis).*

*Figuur 4.7b: Ontwikkeling van beekdalgraslanden bij Schabos in het brongebied van de Brunninkhuizerbeek in 2012 (foto M. Horsthuis).*

*Figure 4.7b: Development of brook valley grasslands at Schabos in the spring area of the Brunninkhuizerbeek in 2012 (photo M. Horsthuis).*

**Kennishiaten**

- Verondersteld wordt dat de extreme afvoerpieken een negatief effect hebben op de bronsystemen, beekmorfologie en kenmerkende macrofauna. Wat echter precies het effect is, is nog onvoldoende duidelijk;
- Er is nog weinig bekend over de relatieve bijdrage van interceptie door bossen, drainage en verhard oppervlak en gebruik van water op de veranderingen in de stijghoogte in het intrekgebied en de gevolgen daarvan voor het uitredend debiet in bronnen;
- Hoe groot is de rol van de onverzadigde zone voor de berging van neerslagpieken in inzijggebieden en in welke mate kan deze een bijdrage leveren aan de klimaatbestendige inrichting van Nederland;
- Wat is het effect van verhoging van de grondwaterstand in verdroogde bronsystemen en in welke mate gaat de gemineraliseerde organische laag een rol spelen bij het vergroten van de natuurkwaliteiten;
- Wat is het effect van een grondwaterstandverhoging in kwel- en brongebieden op monumentale bomen in de directe omgeving.

## 4.7 Slot

**Synthese en conclusies**
Voorliggend kennisoverzicht geeft een beeld van de kwaliteiten van bronnen in het nat zandlandschap en beekdallandschap en bundelt de ervaringen die zijn opgedaan bij het herstel (en beheer) van bronnen en beekdalen.
Omdat de hydrologie van brongebieden de bepalende factor is, brengen wijzigingen hierin de grootste veranderingen teweeg. Hier moet bij het nemen van de herstelmaatregelen op worden geanticipeerd. Het beheer van bronnen en bronbeken moet steeds gericht zijn op de handhaving en verbetering van het hydrologisch systeem met een goede waterchemie. Daarbij moet ook meer aandacht worden besteed aan de infiltratiegebieden als basis voor de bronzones. Het regulier beheer vormt een sturende factor voor handhaving dan wel ontwikkeling van de kwaliteiten. Bij het beheer is het vastgelegde natuurdoel bepalend voor de te nemen beheermaatregelen. Deze hangen af van het brontype. Verder is het gewenst dat aan de uitvoering van herstelprojecten in bronsystemen een monitoringonderzoek gekoppeld wordt om op deze wijze een goede evaluatie te kunnen uitvoeren.
Naar aanleiding van de uitgevoerde herstelprojecten is zowel het oppervlak van de kenmerkende bronvegetaties als de kwaliteit verbeterd. Deze resultaten moeten een stimulans zijn om de bronsystemen die aan de basis staan van natuurkwaliteit in Nederland extra aandacht te geven in beleid en (herstel)beheer.

*Met dank aan: Rob van Dongen (Waterschap Regge en Dinkel, Fons Eysink (Unie van Bosgroepen), Robert Ketelaar (Natuurmonumenten), Rebi Nijboer (Aquatische ecologie en Waterbeheer) en Loekie van Tweel (Landschap Overijssel).*

# 5 Basenrijke en basenarme hellingvenen

## 5.1 Inleiding

**Omschrijving**
Hellingvenen kunnen zich ontwikkelen op of tegen hellingen van heuvels, rivierterrassen, plateauranden en van diep ingesneden beekdalen, op plekken waar over grote oppervlakte gedurende het gehele jaar grondwater diffuus uittreedt (Figuur 5.1). Het ontstaan, de landschappelijke positie en de vegetatie komen sterk overeen met die van de Duitse 'Hangmoore' (Succow & Joosten, 2001). Op basis van de basenrijkdom kan een onderscheid worden gemaakt in basenrijke en basenarme hellingvenen (Jalink e.a., 2003). De basenarme hellingvenen hebben veelal een pH lager dan 5,5, terwijl de basenrijke hellingvenen veel meer gebufferd zijn (pH groter dan 5,5 het merendeel zelf hoger dan 6). Sommige basenrijke hellingvenen zijn ook te beschouwen als alkalisch laagveen, en soms zelf als zogenaamde "kalkmoeras" waarin actief moeraskalk wordt afgezet op de bodem of de vegetatie. Dit laatste type veen is in Nederland vrijwel verdwenen, hoewel bewijzen van hun vroeger voorkomen nog op meerdere plaatsen in de bodem kunnen worden aangetroffen in de vorm van (fossiele) kalkafzettingen (o.a. Grootjans e.a., 2004; Jansen e.a., 2009), of in de vorm van oude benamingen van gebieden, zoals 'blekken' (Baaijens e.a., 2011b).

In basenrijke hellingvenen komen bijna altijd (lage) plekken voor waar basenrijke grondwater uittreedt, naast plekken die meer door regenwater gevoed worden, waardoor een mozaïek van verschillende standplaatscondities ontstaat (Grootjans e.a., 2005, 2013). In basenarme hellingvenen is deze variatie in standplaatsen minder groot omdat het uittredende grondwater basenarm is en minder afwijkt van het regenwater dat hogere delen voedt. Wel kan dit grondwater rijk aan ijzer zijn, maar dit is in hellingven meestal niet het geval.

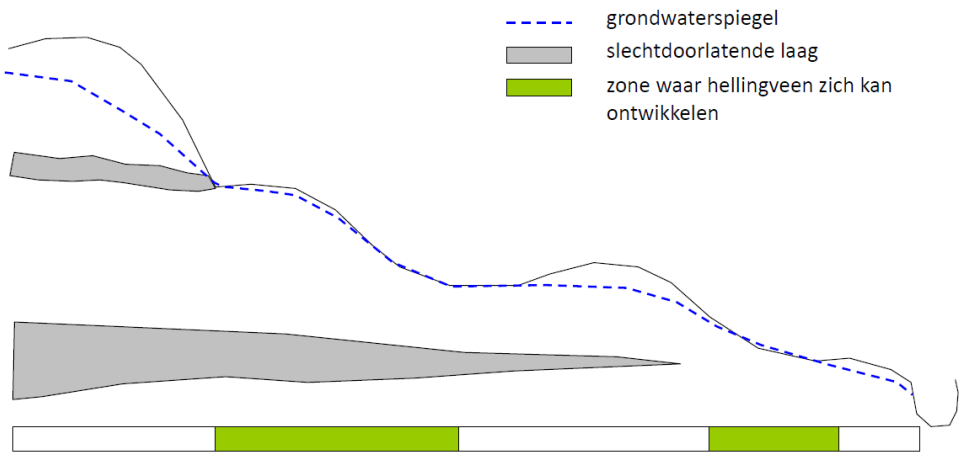
De belangrijkste kenmerken van hellingvenen zijn, dat ze op of tegen een helling van de minerale ondergrond liggen, waardoor het grondwater in beweging is (soms langzaam) en dat er veenvorming optreedt: het zijn dus veenvormende systemen op een helling. Een belangrijk verschil met andere kwelgestuurde ecosystemen (zie bijvoorbeeld kwelzones in nat zandlandschap H-5) is dat er in hellingvenen over het seizoen sprake is van vrijwel constant uittredend grondwater. Dit gebeurt in actieve kwelzones, waar het grondwater het hele jaar door (diffuus) uittreedt. Andere kleine ecotopen zoals kwelzones (H-5) ontwikkelen zich vooral onder periodieke doorstroming met grondwater, bijvoorbeeld gedurende de winter en het voorjaar.

Hellingvenen kunnen zich ontwikkelen tegen hellingen van heuvels, rivierterrassen en plateauranden en diep ingesneden beekdalen en in hellende (erosie)dalen, en in hellende kwelgebieden met een vrijwel permanente uitstroom van grondwater, die niet zoals in bronnen, geconcentreerd uitreedt, maar diffuus over een brede zone. De geologische opbouw van de ondergrond is voor de ontwikkeling van een hellingveen essentieel, naast geomorfologische aspecten, zoals reliëf. Het voorkomen van slecht doorlatende lagen of juist de aanwezigheid van zeer goed doorlatende formaties bepalen namelijk waar het grondwater in kwelgebieden de oppervlakte bereikt. Niet zelden liggen hellingvenen op plaatsen waar door erosie in de watervoerende lagen het hellende grondwatervlak 'dagzoomt' d.w.z. direct aan het landoppervlak is komen te liggen en grondwater over het (oorspronkelijke) maaiveld opkwelt, vaak ook dagzomen slecht doorlatende lagen in de helling; of ligt een hellende leem- of kleilaag ondiep onder het hellingveen (bijv. Mosbeek).

Ook in beekdalen of laagten – dus geen hellingvenen - kan alkalisch laagveen aanwezig zijn. Zo wordt in het Drentse Aa-gebied basenrijk grondwater naar de oppervlakte gedrongen omdat een zoutpilaar in de diepe ondergrond het regionale watervoerende pakket bijna honderd meter omhoog heeft gedrukt (Evert & de Vries, 1990), waardoor veel water in de daar aanwezige beekdalen heel weinig weerstand ondervindt en uittreedt. Ook op plekken waar geologische breuken zijn ontstaan, kan het grondwater in de diepe watervoerende pakketten gedwongen worden naar het oppervlak te stromen, omdat door het verschuiven van ondoorlatende lagen een barrière is ontstaan in een watervoerend pakket (Aggenbach & Jansen, 1989). Een dergelijke geforceerde grondwaterstroming kan ook ontstaan door een niet-homogene pakking van afzettingen (anisotropie), bijvoorbeeld als gevolg van gletsjerbewegingen in het verleden (Baaijens e.a., 2011a).

Samenvattend kan gesteld worden dat door een complex samenspel tussen geologische opbouw, geomorfologisch processen en eigenschappen van het hydrologische systeem, hellingvenen zich kunnen ontwikkelen op heel verschillende plekken in het landschap waar reliëf aanwezig met relatief grote hoogteverschillen. Figuur 5.1 geeft dan slechts één van de vele mogelijkheden, waar een hellingveen zich in een landschap zou kunnen ontwikkelen. Zie ook Jalink e.a. (2003) voor aanvullende situatieschetsen

voor basenrijk en basenarm hellingveen. Door het optreden van kwel over relatief grote oppervlakten ontstaan geleidelijke gradiënten in milieuomstandigheden. Daarmee hangt ook een grote variatie in vegetatie samen (Figuur 5.3).




*Figuur 5.1: Schematische landschapsdoorsnede. Daar waar over grote oppervlakte permanent en diffuus grondwater uittreedt en de bodem doorstroomt, kan zich een hellingveen ontwikkelen. De schaal van de verticale as is enkele 10-tallen tot 100 meter, terwijl die van de horizontale as vele honderden tot kilometers kan bedragen.*

*Figure 5.1: Diagram of a landscape profile. Seepage is favourable for development of slope bogs. The scale of the vertical axis ranges from 10 to 100 meter, the horizontal axis can be hundreds of kilometres. Blue dotted line: water table; grey zone: zone of low-permeability; green zone: zone where a slope bog could develop.*

*Figuur 5.2: Basenarm hellingveen op de Brunssummerheide (foto Gert-Jan van Duinen).*

*Figure 5.2: Base-poor slope bog at the Brunssummerheide (photo Gert-Jan van Duinen).*

Alkalisch laagveen (ook wel basenrijk moeras genoemd) ontwikkelt zich op plekken met een sterke kwel van zeer basenrijk grondwater. Deze situatie is tegenwoordig zeldzaam in Nederland, maar kwam vroeger vaker voor. Een basenrijk laagveen kan men in het zandlandschap op verschillende plekken aantreffen:

- Het best ontwikkeld komen ze voor op plekken met een permanente aanvoer van basenrijk grondwater, zodat condities voor veenvorming gunstig zijn. Soms is het grondwater zo bicarbonaat (oververzadigd) en calcium dat kalk op de bodem wordt afgezet wanneer het grondwater uittreedt. Dergelijke gebieden zijn te vinden in zeer reliëfrijk gebied, zoals op en rond stuwwallen (o.a. Jansen e.a., 2010, Jongman e.a., 2009) en in gebieden waar watervoerende lagen sterk in dikte afnemen, zodat het grondwater aan de oppervlakte uittreedt (Jansen & Roelofs, 1996).
- Op plekken waar kalkrijke afzettingen ondiep voorkomen kunnen ondiepe (lokale) grondwaterstromen toch (zeer) kalkrijk zijn en aanleiding geven tot de ontwikkeling van basenrijke moerassen. Dit gebeurt, bijvoorbeeld op plaatsen waar dekzand is afgezet op keileem en kalklagen zoals in de Willinks Weust bij Winterswijk (Jansen e.a., 2000). Een ander voorbeeld is de kalkrijke Brabantse leem die vlak onder de oppervlakte voorkomt in een overigens vrijwel ontkalkte bodem Hier is de kalkhoudende afzetting een lössdek dat later door dekzand werd afgedekt (de zogenoemde Nuenengroep binnen de Formatie van Boxtel (Jalink e.a., 2000; Jalink, 2003). Ook kalkrijke rivierzanden of niet ontkalkte dekzanden kunnen ondiep voorkomen en aanleiding geven tot de vorming van basenrijk grondwater, zoals het geval kan zijn in Oost-Gelderland, Oost-Twente, de Gelderse Vallei, westelijke flank van de Sallandse Heuvelrug (Jansen e.a., 2001; Jalink e.a., 2003; Jansen, 2010; Jansen & Bouwman, 2010; Jansen e.a., 2010).
- Basenrijke kwel kan ook optreden daar waar kanalen hoog door het zandlandschap liggen. In zo'n lokaal grondwatersysteem infiltreert kalkrijk grondwater naar de ondergrond en treedt lager in de gradiënt vrijwel direct weer uit aan het maaiveld (Boeye e.a., 1995 & 1996; Jalink, 2003; Jansen e.a., 2000).

**Aansluiting bij andere indelingen**

Hellingvenen kunnen elementen bevatten van verschillende habitattypen: Overgangs- en trilveen (H7140A), hoogveen (H7110, H7120) en alkalisch laagveen (H7230) (Bron: www.synbiosys.alterra.nl). Omdat in hellingvenen deze verschillende habitattypen met al hun overgangen meestal slechts op geringe oppervlakten voorkomen, worden ze zelden als zelfstandige typen aangegeven of worden ze beschouwd als één habitattype (terwijl er doorgaans veel meer variatie in de vegetatie aanwezig is).

Het hellingveen vormt altijd een relatief smalle zone. In deze smalle zone, waar het grondwater jaar rond de bodem doorstroomt en diffuus uittreedt, zijn de omstandigheden vaak te nat voor bosontwikkeling (Van Dijk e.a., 2012). Als de ontwikkeling tot bos wel op gang komt, bijvoorbeeld in hydrologische situaties die door de mens beïnvloed worden, ontwikkelen zich

verschillende typen bronbossen, afhankelijk van het grondwatertype en het beheer. Voorbij de sterk hellende delen, daar waar het verhang veel geringer is, kunnen uitgestrekte broekbossen en/of wilgenstruwelen aanwezig zijn (zie H-7 & H8; Jansen & Remke, 2012; Van Dijk e.a., 2012). Door de grote variatie in abiotiek wordt in hellingvenen vaak een mozaïek van vegetatietypen aan getroffen, met overgangen die niet altijd goed passen in de bestaande vegetatieclassificaties; er zijn veel overgangen, elk vegetatietype bedekt kleine oppervlaktes en er ontwikkelen zich mozaïeken van verschillende vegetatietypen, afhankelijk van kleine reliëfverschillen.

**Plantengemeenschappen**
Basenrijke hellingvenen die behoren tot alkalisch laagveen worden gekenmerkt door het voorkomen van de associatie van Armbloemige waterbies *Eleocharitetum quinqueflorae* en andere associaties die behoren tot het Knopbies-verbond (*Caricion davallianae*), vooral de associatie van Vetblad en Vlozegge (*Campylio-Caricetum diocae*). In deze associatie kwam tot in het begin van de twintigste eeuw en plaatselijk tot in de jaren 1970 nog Knopbies (*Schoenus nigricans*) voor (Jalink & Jansen, 1989).

Goed ontwikkelde basenarme hellingvenen worden gekenmerkt door zure gemeenschappen, en worden vaak vegetatiekundig toebedeeld aan hoogvenen en zure vennen (voorbeelden zijnde Brunssumse Heide, Schutterspark en Breukberg, de Teut (Belgisch Limburg), maar ook in het Wisselse veen). Maar geheel bevredigend is dat niet want er is nog een heel scala van soorten aanwezig die wijzen op de aanwezigheid van stromend, licht gebufferd water, zoals Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*), Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Wilde gagel (*Myrica gale*), Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolium*) en Vlottende bies (*Eleogiton fluitans*), en vroeger ook Slijkzegge (*Carex limosa*). Typisch zijn de overgangen tussen kleine-zeggenmoeras (verbond *Caricion nigrae,* bijv. Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge *Carici curtae-Agrostietum caninae,* doorgaans klasse *der Parvocaricetea*) en minerotroof hoogveen (klasse der *Scheuchzerietea*) (Schaminée & Janssen, 2009; Grootjans e.a., 2013). Begroeiingen van kleine zeggen en natte heischrale graslanden (Schaminée & Janssen, 2009; Grootjans e.a., 2013), komen vooral voor in licht verdroogde situaties, vanwege het iets grotere aanbod aan mineralen. Dit is bijvoorbeeld het geval op venige hellingen in het Springendal (Jalink & Jansen, 1989). De vegetatie wijst op een gradiënt in mesotrofe omstandigheden. Er kunnen ook overgangen tussen kleine-zeggenmoeras en trilveen voorkomen, bijvoorbeeld in de vorm van een vegetatie gedomineerd door Snavelzegge (*Carex rostrata*), Draadzegge-moerassen met Wateraardbei en Waterdrieblad (*Caricion lasiocarpae*), of een vegetatie met Ronde zegge (*Carex diandra*).

## 5.2 Belangrijkste natuurwaarden

*Figuur 5.3: Alkalisch moeras in het Buitengoor, (Mol, Vlaanderen) ontstaan door kanaalkwel. In de slenken groeien Duizendknoopfonteinkruid (Potamogeton polygonifolium), Tweehuizige zegge (Carex dioica) en Breed (Eriophorum latifolium) en Slank wollegras (E. gracile). Regenwater heeft de overhand in de aangrenzende veenmoskussens, waar ook Veenmosorchis (Hammarbya paludosa) groeit. (Foto Hein van Kleef).*

*Figure 5.4: Alkaline wetland in the Buitengoor, (Mol, Vlaanderen) formed by seepage.* Potamogeton polygonifolium*,* Carex dioica*,* Eriophorum latifolium *and* E. gracile *grow in the trenches. Rain water is dominant in the neighbouring sphagnum hummocks. Also* Hammarbya paludosa *can be found there (photo Hein van Kleef).*

*Basenrijk hellingveen* kan bijzonder rijk zijn aan hogere plantensoorten en mossen (bijvoorbeeld in het Dal van de Mosbeek). Er komen kleinschalige mozaïeken van soortenrijke begroeiingen voor. Kenmerkend voor basenrijke hellingvenen is het ontstaan van zure bulten tussen relatief basenrijke slenken (een mozaïek van basenarme en basenrijke stukken (Figuur 5.3) (Grootjans e.a., 2013). Langs die zure bulten met veenmossen, Beenbreek, Ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia)* groeien Veenmosorchis *(Hammarbya*

*paludosa)* en Tweehuizige zegge (*Carex dioica;* Figuur 5.4*)* en vroeger ook – en tegenwoordig nog vlak over de grens in Duitsland – Lange zonnedauw *(Drosera anglica)*. In de slenken komen de soorten van meer basenrijke standplaatsen voor: Vleeskleurige orchis *(Dactylorhiza incarnata)*, Teer guichelheil *(Anagallis tenella)*, Vetblad *(Pinguicula vulgaris)*, Armbloemige waterbies *(Eleocharis quinqueflora)*. De vegetatie is daar gedomineerd door kleine zeggen met slaapmossen *(Caricion davallianae* met bijvoorbeeld Vlozegge (*Carex pulicaris*), Parnassia (*Parnassia palustris)* en Moeraswespenorchis *(Epipactis palustris)* (Schaminée & Janssen, 2009).

*Figuur 5.4: Tweehuizige zegge (Carex dioica). (Foto Hein van Kleef)*

*Figure 5.4:* Carex dioica *(photo Hein van Kleef).*

In hellingvenen kunnen een beperkt aantal soorten karakteristieke en bedreigde paddenstoelen worden aangetroffen. Op plekken met permanente invloed van relatief zuur grondwater is Mijtertje *(Mitrula paludosa*) kenmerkend en komen ook enkele Zwavelkoppen *(Psilocybe* subgenus *Hypholoma*) en Wasplaten *(Hygrocybe helobia*, *H. coccineocrenata*) regelmatig voor, alsmede soorten die samenleven met of parasiteren op veenmossen zoals Veenmosgrauwkop *(Tephrocybe palustris*) en veel soorten Mosklokjes *(Galerina spp)*. Plekken waar de grondwaterstand in de zomer wat verder wegzakt kunnen rijk zijn aan Satijnzwammen *(Entoloma spp).* Dit grote paddenstoelengeslacht omvat meer dan 100 op elkaar lijkende soorten, waarvan er veel pas de laatste decennia zijn beschreven. De ecologie van deze soorten is dus ook nog niet duidelijk. Wel komt een aantal soorten alleen voor in natte schraallanden. Op kale, langdurig natte plekken komen vaak zeldzame schijfzwammetjes tot ontwikkeling, zoals Wimperzwammetjes (*Scutellinia* spp.)en Mosschijfjes (*Lamprospora* subgenus *Ramsbottomia*). In vegetaties met grote zeggen komen op afgestorven delen onder meer Zeggemycena (*Mycena saccharifera*) en Schelpjestaailing (*Marasmius menieri*) voor. Deze staan als zeldzaam te boek, maar natte schraallanden in het zandlandschap zijn mycologisch nog vrij weinig onderzocht.

De overgangen van verschillende milieus op korte afstanden en met een rijke structuurvariatie (overgang in een kwelgebied met gebufferde en matig zure condities, overgangen tussen bos en open vegetaties) zijn ook gunstig voor verschillende diersoorten. Het basenrijke hellingveen herbergt een grote diversiteit aan habitats voor aquatische ongewervelden, van stilstaande voedselarme hoogveenplasjes tot een voedsel- en mineraalrijke, stromende beek en de overgangen hiertussen (van Dijk e.a., 2009). In de permanent natte en matig zure delen (met veenmossen begroeide veenputjes en slenkjes) plant de Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*) zich voort. In de minerotrofe randen met een hoogveenkarakter komen zeldzame soorten voor zoals de Speerwaterjuffer (*Coenagrion hastulatum*), de waterkevers *Haliplus fulvicollis*, *Hydroporus glabriusculus* en *Agabus unguicularis*.
Op plaatsen waar grondwater uittreedt en gaat stromen als een bovenloop van een beekje kunnen de Beekoeverlibel (Figuur 5) (*Orthetrum coerulescens*), de Gewone bronlibel (*Cordulegaster baltonii*) (zie verder H-Bronnen) en de waterkever *Agabus melanarius* aanwezig zijn (van Dijk e.a., 2009; Grootjans e.a., 2013). Op veenmosbult met Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*) kunnen de veenvlinders Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) en het Veenbesblauwtje (*Plebejus optilete*) vookomen.

*Figuur 5.5: Beekoeverlibel (Orthetrum coerulescens) (Foto Hein van Kleef).*

*Figure 5.5:* Orthetrum coerulescens *(photo Hein van Kleef).*

Alkalisch laagveen kan zeer rijk aan planten- en diersoorten zijn. De oppervlakte soortenrijk alkalisch laagveen is thans in Nederland echter zeer gering en de afzonderlijke restanten zijn erg klein. Dergelijke gebiedjes kunnen nog zeer soortenrijk zijn op het gebied van planten maar zijn vaak te klein om nog een levensvatbare populatie van de kenmerkende fauna te herbergen.

Mossen vormen een belangrijk deel van de biodiversiteit in alkalische moerassen; de meeste van de kenmerkende soorten zijn inmiddels zeer

zeldzaam geworden, o.a. Wolfsklauwmos (*Pseudocalliergon lycopodioides*), Groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*) en Rood schorpioenmos (*Scorpidium scorpioides*). Alle drie de soorten staan als ernstig bedreigd op de Rode Lijst. Kenmerkende vaatplanten van alkalische moerassen zijn onder andere Vlozegge, Tweehuizige zegge, Vetblad, Bonte paardenstaart (*Equisetum variegatum*), Knopbies en Breed wollegras (*Eriophorum latifolium*).

De meest kenmerkende diersoorten van alkalisch laagveen zijn uit Nederland verdwenen. Van de Dwergjuffer (*Nehalennia speciosa*) zijn slechts twee historische vindplaatsen bekend. Ook de Moerasparelmoervlinder (*Euphydrias aurinia*), die als waardplant Blauwe knoop (*Succisa pratensis*) heeft, is kenmerkend voor alkalische moerassen (Figuur 5.6). Beide soorten waren onder andere bekend van het verdwenen Koningsven (Ketelaar & Bouwman, 2008). Daarnaast zijn er een aantal soorten die nog wel in Nederland voorkomen die onder andere in (randen van) alkalische moerassen kunnen worden gevonden zoals Zilveren maan (*Boloria selene*), Gentiaanblauwtje (*Phengaris alcon*), Aardbeivlinder (*Pyrgus malvae*) en Zompsprinkhaan (*Chorthippus montanus*). Op overgangen naar zuurdere omstandigheden kunnen ook Veenhooibeestje (*Coenonympha tullia*) en Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*) worden aangetroffen.

*Figuur 5.6: Moerasparelmoervlinder (Euphydrias aurinia), een verdwenen vlinder van alkalische moerassen (foto Chris van Swaay).*

*Figure 5.6:* Euphydrias aurinia*, extinct butterfly form alkaline wetlands (photo Chris van Swaay).*

Doorgaans is er weinig bekend van de karakteristieke fauna van deze ecotoop in de nog aanwezige restanten. Het is niet bekend of de kleine gedegenereerde restanten van deze ecotoop nog als toevluchtsoord dienen voor karakteristieke diersoorten of dat zij zich hebben kunnen handhaven in

andere ecotopen, zoals goed ontwikkelde kwelmilieus. Vermoedelijk zijn voor veel soorten de overgangen in condities op korte afstanden, of vereiste rijke structuurvariatie verdwenen.

*Basenarm hellingveen*: Basenarme hellingvenen worden veelal gedomineerd door veenmossoorten. Daar waar ijzerrijk grondwater uittreedt wordt de veenmosgroei geremd, maar dit verschijnsel is in hellingvenen zeldzaam. Wel kan soms ook door bicarbonaat de veenmosgroei geremd worden als de concentraties ervan te hoog zijn. Onder deze omstandigheden komen Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), Beekstaartjesmos (*Philonotis fontana*) of Groot Bronkruid (*Montia fontana*) voor (Grootjans e.a., 2013). Waar de invloed van grondwater minder sterk is en de invloed van de regenwater geleidelijk toeneemt, treden aan de matig zure kant van de gradiënt soorten op de voorgrond als Draadzegge, Beenbreek, Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*), naast verschillende veenmossen (Figuur 7) (Schaminee & Janssen 2009). Plaatselijk kan ook de zeer zeldzame Veenmosorchis worden aangetroffen. Ook plantensoorten die indicatief zijn voor zure oligotrofe condities en overgangen tussen zwak tot zeer zwak gebufferde condities kunnen daar voorkomen: Eénarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*), Moeraswolfsklauw (*Lycopodiella inundata*), Ronde en Kleine zonnedauw (*Drosera intermedia*), Lavendelhei (*Andromeda polifolia*), Kleine veenbes (van Dijk e.a., 2009). In iets meer gebufferde condities, komen ook Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) en Holpijp (*Equisetum fluviatile*) voor (van Dijk e.a., 2009). De fauna van basenarme hellingvenen komt sterk overeen met die van de zure delen van de basenrijke hellingvenen.

*Figuur 5.7: Goed ontwikkelde begroeiing van Beenbreek op de Brunssummerheide (Foto Gijs van Dijk).*

*Figure 5.7: Well developed* Narthecium ossifragum *vegetation at the Brunssummerheide (photo Gijs van Dijk).*

## 5.3 Standplaatscondities & sleutelprocessen

**Standplaatscondities**
Het grondwater in hellingvenen zakt zelden weg of hooguit zeer ondiep. Daardoor zijn de laagste delen (slenken / kwel zones) in natte jaren permanent watervoerend (Grootjans e.a., 2013). De zuurgraad in hellingvenen bevindt zich tussen basisch en neutraal in basenrijk hellingveen en matig zuur tot zuur in de basenarm hellingvenen. Echter zelfs in de basenarme variant is het ondiepe grondwater rijker aan basen, dan dat in de aangrenzende wat hoger gelegen vochtige tot natte heidevelden of bossen. Hellingvenen zijn voedselarm (oligotroof) tot matig voedselarm (mesotroof), soms tot licht voedselrijk. In het intacte hellingveen zijn de concentraties van nutriënten, chloride en sulfaat zeer gering. De concentraties van calcium, bicarbonaat en de pH zijn afhankelijk van het type grondwatersysteem, d.w.z. de herkomst van het grondwater (in contact met kalkrijke substraat of niet). Dit uit zich in de plantengemeenschappen die kenmerkend zij voor oligotrofe en zure condities tot mesotrofe omstandigheden (zie par. 6.2; Grootjans e.a., 2011). In intacte basenrijke hellingvenen is de beschikbaarheid van fosfaat zeer laag door precipitatie met calcium of, soms, ijzer. Het basenrijke grondwater reikt vrijwel het gehele jaar tot aan maaiveld. De gemiddelde laagste grondwaterstand ligt tussen de 20-50 cm onder maaiveld en de pH-waarden liggen hoger dan 5,5. Er kunnen op plaatsen waar van nature regenwater stagneert ook veenmosbultjes ontstaan waardoor de voor deze helling- en doorstroomvenen zo kenmerkende structuur van bulten en slenken ontstaat.

**Sleutelprocessen**
Het belangrijkste sturende proces in hellingveensystemen is het permanent uittreden van kwel tot aan maaiveld. In tegenstelling tot bronnen, waar het grondwater zeer geconcentreerd uitstroomt, treedt het grondwater in hellingvenen over een relatief groter oppervlak uit en is de stroomsnelheid van het uittredende grondwater gering (diffuse stroming). Hierdoor zijn de gradiënten in milieuomstandigheden veel geleidelijker en meer uitgesproken (Grootjans e.a., 2013). Hellingvenen worden gevoed door relatief grote hydrologische systemen op de flanken van stuwwallen, flanken van rivierterrassen of aan de randen van diep ingesneden beekdalen. Daarnaast kunnen slecht doorlatende lagen van invloed zijn, bijvoorbeeld doordat zij het uittreden van grondwater op de specifieke locatie stimuleren.

In een basenarm hellingveen bestaat de geologische opbouw van het infiltratiegebied uit kalkloos zand. Als het grondwater voordat het uittreedt in contact komt met kalkrijke afzettingen of wordt aangevuld met infiltrerend basenrijk oppervlaktewater dan vormt zich bij het uittreden een basenrijk hellingveen of een alkalisch laagveen. Het grondwater wordt door slecht doorlatende bodemlagen en/of door een knik in de hellingshoek gedwongen uit te treden (Figuur 5.1). Dit gebeurt in een vrij smalle zone (met vrijwel permanente hoge en stabiele waterstanden). Iets lager benedenstrooms is het grondwaterpeil lager en zakken de peilen in de zomer verder weg. Verder vormt het uitgetreden grondwater in gebieden met een hoog grondwaterpeil een beekje, maar in drogere gebieden kan het opnieuw infiltreren om vervolgens lager op de gradiënt weer uit te treden (Jansen e.a. 2008). De afvoer van grondwater gaat, ten miste gedeeltelijk, over het veen. In het klassieke doorstroomveen stroomt het grondwater volledig door het veen (Succow en Joosten 2001), al is dit onderscheid zeker niet absoluut.

Een andere belangrijk proces, dat leidt tot fijnschalige gradiënten in de milieuomstandigheden is een geleidelijke afname van de grondwaterinvloed. In de basenarme variant betekent dit vooral dat er nog minder basen worden aangevoerd en dat de waterstanden in de zomer dieper wegzakken. In de basenrijke variant neemt ook de buffering sterk af, waardoor veenmossen sterk in bedekking kunnen toenemen, zolang de waterstanden niet te diep wegzakken. Alleen op de plekken met de sterkste grondwaterinvloed zijn dan de bicarbonaatgehalten zodanig hoog dat de veenmosgroei hierdoor geremd wordt.

In basenrijke hellingvenen wordt de bodem opgeladen met basen, als het in contact komt met (zeer) basenrijk grondwater. Dit grondwater ontstaat wanneer het door kalkrijke afzettingen stroomt zoals leem, kalkhoudende grondmorenes, kalkrijke rivierafzettingen, oude kalkrijke kust- en strandafzettingen, kalkafzettingen, kalksteenlagen, kalkhoudende oude dekzanden of lössafzettingen. Het grondwater is meestal van lokale herkomst, maar er zijn ook uitzonderingen op deze regel (Mosbeek, Verbrande Bos bij Staverden). Op de plekken met de sterkste grondwaterinvloed, remmen hoge bicarbonaatgehalten en/of kalkafzetting de veenmosgroei, waardoor slaapmossen de overhand houden.

Daarnaast is natuurlijke vegetatiesuccessie en de ontwikkeling van bos een belangrijk proces. Waar de omstandigheden te nat zijn voor bosontwikkeling door het permanent uittreden en doorstromen van grondwater vormt zich een hellingveen met zeggen, vrijwel altijd in een relatief smalle zone. Dit leidt tot de ontwikkeling van een rijke structuurvariatie in de vegetatie met overgangen tussen bos en open vegetatie. Daarnaast draagt ook de mens bij aan de structuurvariatie, bijvoorbeeld door het maaien of begrazen van graslanden.

Buiten het nat zandlandschap kunnen basenrijke moerassen ook worden aangetroffen in beekdalen, langs de rivieren, in het Heuvelland, in duinvalleien en in het veenweidegebied.

- In beekdalen kunnen basenrijke moerassen zich ontwikkelen op plaatsen waar kalkrijk grondwater aan maaiveld uittreedt. Dit zorgt voor constant natte en basenrijke omstandigheden. De plantengemeenschappen op dergelijke standplaatsen behoren tot de Associatie van Vetblad en Vlozegge (*Campylio-Caricetum diocae*). Daarnaast is veelal sprake van een hoge bedekking van slaapmossen. Op drogere plaatsen met veel Blauwe knoop was in het verleden de Moerasparelmoervlinder aan te treffen.
- In het Heuvelland zijn de condities voor het ontstaan van basenrijke hellingmoerassen prominent aanwezig door de grote hoogteverschillen en de aanwezigheid van (sterk) basenrijk grondwater door de aanwezigheid van kalkrijke lagen (De Mars e.a., 2012).
- In laaggelegen duinvalleien langs de binnenduinrand komen soms heel jonge alkalische moerassen voor (Grootjans e.a., 1996) waar actief kalk wordt afgezet op de bodem en de vegetatie. Dit is bijvoorbeeld het geval in de Kroon's Polders van Vlieland, waar lokaal kalk wordt afgezet en waar zich in ongeveer 100 jaar tijd een dunne veenlaag (20-30 cm) heeft kunnen ontwikkelen. Hier komen soorten van het Knopbies-verbond in relatief grote aantallen voor.

**Invloed mens (beheer, cultuur)**
De soortenrijke gradiënten van hellingvenen (ten miste het kleine-zeggenmoeras en overgangen naar overgangsveen en hoogveen) zijn onder natuurlijke condities ontwikkeld en hebben in de "natuurlijke", hydrologisch niet aangetaste situatie bij lage stikstofdepositie (vrijwel) geen beheer nodig. In de licht-beïnvloede situatie (bijvoorbeeld als de kwelintensiteit minder wordt) kunnen beheermaatregelen nodig zijn: zoals het verwijderen van boomopslag en het tegengaan van vergrassing door Hennegras (*Calamagrostis canescens*) of Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) (Figuur 5.8).

*Figuur 5.8: Omdat zware maaimachines leiden tot bodemverdichting en de ontwatering van het veen kunnen versterken, kan het beste handmatig of met kleine maaimachines gemaaid worden. Door het maaisel vervolgens met een lier het gebied uit te slepen, hoeft ook voor de afvoer het veen niet met machines betreden te worden. (Foto Hein van Kleef)*

*Figure 5.8. Using heavy machinery leads to soil compaction and drainage of the bog. It is better to use light machinery for mowing. After mowing the cut material can be removed by using a winch. (photo Hein van Kleef).*

Vanaf de late Middeleeuwen tot ver in de negentiende eeuw zijn ook vroegere hellingvenen met hun bronsystemen vergraven tot sprengen voor de (schoon)watervoorziening voor de toenmalige bedrijvigheid (onder andere houtzaag-, papier-, koper- en pelmolens en wasserijen). Het herstel van hellingvenen gaat daar moeilijk of niet samen met het behoud van zulke historische sprengenstelsels (Grootjans e.a., 2013).

De meeste basenrijke moerassen hebben sterk te lijden gehad van de invloed van de mens. De belangrijkste negatieve invloed bestaat uit eutrofiëring en verdroging. Basenrijke moerassen zijn van natuur matig voedselarm tot voedselarm waardoor de vegetatie bestaan uit laagproductieve kruiden, zeggen en mossen. Bij toename van de voedselrijkdom worden deze soorten weggedrukt door snelgroeiende grassen, zoals Hennegras of Riet (*Phragmites*

*australis*). Bij verdroging bereikt het basenrijke grondwater in onvoldoende mate de wortelzone en treedt verzuring op.

## 5.4 Voorbeeldgebieden

**Basenarme hellingvenen**:

- Dalrand en oorsprong Zwarte beek (Vlaanderen) en de Teut (Vlaanderen);
- Delen van de gradiënt op hellingen naar beekdalen van de oostrand van het Kempisch plateau (Asbroek, Bosbeek, Zutendaalbeek, Roelerbeek);
- hellingvenen langs de Rode Beek (Schutterspark, Breukberg in de oostelijke Meinstreek, Zuid-Limburg) (Hermans & Van der Mast 1994; Van Dijk e.a., 2009);
- de oorsprong van de Roode beek & Nartheciumbeekje (Meinweg, Zuid-Limburg) (van der Mast 1992; Meuleman e.a., 1994; Hermans, 2007);
- Haeselaarsbroek (Midden- en Zuid-Limburg, bij Echt, bovenzijde gradiënt; Jansen & Verbeek 2009; Janssen 2000);
- Wisselse en Tongerense Veen (Veluwe, ), deels ook basenrijk (Van Mullekom e.a., 2007);
- Verbrande Bos bij Staverden (Veluwe, Gelderland; Jansen e.a., 1996);
- Oorsprong van de Heelsumse beek;
- IJzeren Man (Nationaal park de Hoge Veluwe; Jansen e.a., 2008);
- Aaltens Goor (verdwenen, waarschijnlijk een mozaïek van basenarme en basenrijke hellingvenen (Jansen e.a., 2011);
- de Sprengenberg & Lemelerberg (Sallandse Heuvelrug, Overijssel);
- Groene ster in het Haaksbergerveen (Overijssel);
- Vasserheide (heide- en bosgebied, Twente, ten zuiden van Vasse);
- Drentse Aa (bovenloop Drentse Aa: Hoornse bulten (Everts & de Vries 1991);
- Het Balloërveld (op de flanken van het plateau, tussen de stroomdalen van het Loonerdiep en het Rolderdiep, waar het grondwater uittreedt (o.a. Smalbroek)) (Drenthe, gemeente Aa en Hunze);

**Basenrijke hellingveen:**

- Het Dal van de Mosbeek (Noordoost Twente, met basenrijke delen) (Aggenbach e.a., 2008; Horsthuis & Van Tweel, 2002);
- Kathagerbroek (Weeda e.a., 2011);
- Leiffenderven (verdwenen) (Schinveld);
- Bronbossen en bronweide Duivelsberg (Nijmegen).

**Alkalisch laagveen (overwegend in laagten en beekdalen, niet op reliëfrijk terrein):**

- Buitengoor (Mol, Vlaanderen) (Boeye e.a., 1994, 1995, 1996);
- Groote Moost (ontstaan door kanaalkwel) (Limburg);
- Den Opslag langs Wilhelminakanaal (ontstaan door kanaalkwel) (Limburg; Jalink, 1997; 2003; Jansen e.a., 2000);
- Het Spekt bij Nuenen (kwel over kalkhoudende Brabantse Leem in venig beekdal) (Jalink e.a., 2000);
- Koningsven (verdwenen) (Plasmolen-Gennep);
- De Bruuk bij Nijmegen (thans niet meer als zodanig functionerend!);
- Willinks Weust (verdwenen en in de oude afgraving Musschelklakgroeve van Ratum actueel en in ontwikkeling) (Gelderland);
- Blekkinkveen (verdwenen) (Gelderland, tussen Aalten en Winterswijk)
- Oostzijde Korenburgerveen (sterk aangetast, regenerend; Gelderland);
- Leestense Broek (Verdwenen. Gelderland, tussen Zutphen en Vorden);

- de Zumpe (bij Doetichem; Jansen e.a., 1997; Jansen e.a.;. 2009);
- De Hel en Blauwe Hel (Gelderse Vallei);
- Meeuwenkampje (Cirkel & van Beek, 2012);
- Lemselermaten (Jansen & Roelofs, 1996);
- Mokkelengoor (met kalkafzetting in de ondergrond, maar sterk gedegradeerd door verdroging) (Overijssel);
- Landgoed Diepenheim (Overijssel). Verdwenen. Wel nog rijke groeiplaats van Paardehaarzegge (*Carex appropinquata*) (Jansen e.a., 2010);
- Boddenbroek (landgoed Twickel, bij Beckum, Overijssel; Jansen & Hoogendoorn, 1993; Jansen 2011);
- Ter Apel te hoogte van barrière regionaal watervoerend pakket (verdwenen) (Groningen);

## 5.5 Bedreigingen en aantastingen

Hellingvenen zijn vrij eenvoudig te ontwateren door het diffuus uittredende grondwater af te vangen via sloten; zelfs bij een geringe ontwateringsdiepte treden al grote veranderingen op in het systeem. Dit is dan ook met vrijwel alle hellingvenen gebeurd (Grootjans e.a., 2013). Langs de Veluwe zijn vanaf de 16-17$^{de}$ eeuw sprengen gegraven en werd het water gebruikt voor het aandrijven van watermolens. Herstel van deze voormalige hellingvenen gaat moeilijk of niet samen met het behoud van de historische sprengenstelsels (Hesen e.a., 2000; Grootjans e.a., 2013). Bovendien hebben drainage, drinkwateronttrekking en grootschalige bosaanplant in het voedingsgebied, vaak geleid tot een sterk verminderde kweldruk en -intensiteit, bijvoorbeeld op de Utrechtse Heuvelrug, de stuwwal van Ootmarsum (Twente) en op de Veluwe (Grootjans e.a., 2013).

Nitraatuitspoeling uit landbouwgronden en soms ook onder bossen leidt tot verzuring en in sommige situaties tot ontijzering van het grondwater. Veenmossen gaan hierdoor sneller groeien en overwoekeren andere soorten (o.a. Grootjans e.a., 2013). Het ijzergebrek kan leiden tot chlorosis in planten. Chlorosis is een aandoening waarbij planten onvoldoende chlorofyl kunnen aanmaken en daardoor geel kleuren (Smolders e.a., 1997). Daarnaast zorgt uitgespoeld nitraat in pyrietafzettingen voor sulfaatmobilisatie, wat in veenpakketten de afbraak van organische stof stimuleert. De vrijkomende sulfide verdringt fosfaat van bindingsplaatsen aan geoxideerd ijzer (Jansen & Roelofs 1996). Sulfaatgeïnduceerde eutrofiëring kan optreden in bodems met relatief lage ijzergehalten, maar in veel van de nu nog aanwezige, intacte hellingvenen is dit niet het geval. Daarnaast kan vrij sulfide al onder vrij lage concentraties toxisch zijn voor planten (Smolders e.a., 2006). Het uittredende grondwater op de Brunsummerheide, een basenarm hellingveen, kent lokaal zeer hoge sulfaatconcentraties. Daar wordt het zwavel door purperen-zwavelbacteriën geoxideerd tot metallisch zwavel dat zelfs neerslaat op bodem en waterplanten (Van Dijk e.a., 2012). Het is niet duidelijk wat het effect is van deze neerslag op de voedselketen en de rest van het systeem.

Goed ontwikkelde alkalisch laagveen is op dit moment zeer zeldzaam in Nederland (<10 ha). Plaatsen waar deze in het verleden voorkwamen zijn meestal sterk ontwaterd waardoor slechts sprake is van – op zijn best - een gedegenereerde vorm. In andere gevallen is er zelfs niets meer van over doordat ze zijn ontgonnen tot landbouwgrond (bijvoorbeeld Koningsven). Als gevolg van lichte ontwatering kan de vegetatie veranderen in een

blauwgrasland, Dotterbloemhooiland, vochtig heischraal grasland of vochtige heide.

## 5.6 Herstelmaatregelen

Veel van de voormalige hellingvenen en alkalische laagvenen zijn sterk gedegradeerd of zelfs verdwenen door veranderingen in het hydrologisch systeem (soms onomkeerbaar) en door ontginning (bijvoorbeeld Leestense Broek, Koningsven). Soms werd de omgeving ontwaterd en het vroegere hooilandbeheer gestaakt waardoor de venen en moerassen begroeid raakten met wilgenstruwelen, Berken- en Elzenbroeken (bijvoorbeeld de Zumpe, delen van de Bruuk en van de Lemselermaten).

- De veruit belangrijkste maatregel is het herstellen van de kwaliteit en kwantiteit van de vroegere grondwateraanvoer (kwel). Deze kan gerealiseerd worden door het dichten van watergangen, het verminderen of stoppen van grondwateronttrekking, vermindering van bemesting (op termijn minder N, en P en SO4 in grondwater), vergroting van de inzijging door omvorming van naald- naar loofbos of van bos naar lage begroeiingen. Dit hydrologisch herstel is altijd maatwerk en terdege ecohydrologisch inzicht in de specifieke situatie via een landschapsecologische systeemanalyse (LSA; Van der Molen e.a., 2010) is vereist om dit herstel op een adequate wijze uit te voeren.

- Een knelpunt hierbij kan zijn dat soorten van het oorspronkelijke hellingveen zich alleen nog gehandhaafd hebben langs de watergangen. Deze relictpopulaties dreigen door herstelmaatregelen soms te verdwijnen. Essentieel is om de grondwaterinvloed weer tot in maaiveld te herstellen en niet door het maaiveld te verlagen tot het niveau van de relictpopulaties omdat dan grote kans bestaat dat deze populaties zullen verdwijnen. In deze gevallen dient herstel van de grondwaterinvloed in het maaiveld zeer geleidelijk te gebeuren opdat de soorten uit de relictpopulaties de mogelijkheid hebben zich met de stijgende waterstanden mee te bewegen. Bij het nemen van antiverdrogingsmaatregelen kunnen zulke soorten ook tijdelijk apart worden gezet en na uitvoering van de maatregelen weer worden teruggezet. Belangrijk is ook dat er hoger op de vochtgradiënt voor deze soorten ruimte wordt gecreëerd om naar toe te migreren.

- Veel van de basenarme hellingvenen zijn sterk gedegradeerd en moeilijk als zodanig herkenbaar. Daardoor is er een grote verleiding om herstelmaatregelen te concentreren op slechts een deel van de voormalige gradiënt waar nog enkele typische soorten resteren. Deze herstelmaatregelen kunnen een potentieel herstel van de samenhangende onderdelen op de gradiënt in de weg staan. Bijvoorbeeld door in de gradiënt de afvoer van water te versterken met slenken of sloten, waardoor hoger gelegen delen gemakkelijk verder worden ontwaterd.

- In veel gevallen zal het uittreden van grondwater in vergelijking met de oorspronkelijke situatie over een geringer oppervlak en/of met een lagere intensiteit plaatsvinden. Soorten die uit de zaadbank opkomen, kunnen zich dan op de ”verkeerde plek” bevinden en moeten de gelegenheid hebben te kunnen migreren naar geschikte locaties. In het uiterste geval kan worden overwogen om relictpopulaties te verplaatsen naar het niveau waar ze in de nieuwe situatie vermoedelijk thuishoren.

- Verder dient het doorstroomkarakter behouden te blijven dan wel hersteld te worden, waarbij (weer) afvoer van grondwater over maaiveld en doorstroming van het veen/bodem optreedt en de vegetatie voor de gewenste vertraging van de natuurlijke afvoer gaat zorgen. Hoe dit precies moet gebeuren, is sterk afhankelijk van de hydrologische situatie en kan sterk van plek tot plek verschillen.

- Alleen plaggen of verwijderen van nutriëntrijke bovengrond zonder het nemen van hydrologische herstelmaatregelen heeft matig positieve effecten. Het herstel van de soortensamenstelling is vaak niet volledig en vaak slechts tijdelijk (zie Jansen e.a., 2004). Wanneer een hydrologisch intact hellingveen of alkalisch moeras verruigd is door de toestroom van nutriënten, dan moet deze bron worden weggenomen om tot een duurzame oplossing te komen. Het kan nodig zijn een bufferzone in te stellen of het verrijkte oppervlaktewater voor te zuiveren of de wateraanvoer te laten verlopen via een langere weg. Na beëindiging van de eutrofiëring kan kleinschalig en gefaseerd plaggen van de verruigde vegetatie, met uitsparen van restpopulaties, een oplossing bieden voor hervestiging van de kenmerkende vegetatie.

Op enkele plaatsen is de vegetatie van hellingvenen (Wissels veen, het Haselaersbroek, Kathagerbroek, het Verbrande Bos; Mosbeek) redelijk tot goed hersteld en ook alkalisch laagveen (Meeuwenkampje & de Hoef (Gelderse Vallei), de Lemselermaten, het Mokkelengoor en D'n opslag) kan sterk profiteren van herstelbeheer. Wel is dit vegetatieherstel niet altijd volledig en op andere plekken, zoals het Leiffenderven, zijn de resultaten tot nu toe beneden verwachting.

De herontwikkeling van basenrijke hellingvenen of alkalisch laagveen kan snel gaan, zeker als het hydrologisch systeem hersteld is. Het natte en basen-, cq. kalkrijke milieu zorgt al snel voor fosfaat- en stikstofbeperkte omstandigheden, waardoor de vegetatie niet verruigt. Bij voldoende en permanente kwel ontstaan zo ideale groeiomstandigheden voor de basenminnende vegetatie. Dit maakt zelfs herstel van deze kleine ecotoop op voormalige landbouwgrond mogelijk, zoals in de Lemselermaten (Jansen & Roelofs 1996; Jansen et al., 2000) zeker als bijvoorbeeld de fossiele kalklaag is teruggevonden of er na ontgronden zelfs weer nieuwe kalkafzetting plaatsvindt, iets wat zeer recent in een ontgrondde situatie in het Reigersbroek (midden-Limburg) is waargenomen (Figuur 5.9). Het kan zijn dat niet alle kenmerkende soorten van basenrijke (helling)venen terugkeren na uitvoering van de herstelmaatregelen omdat geen langlevende zaadvoorraad aanwezig is en populaties in de directe omgeving (< 1 km) meestal ontbreken (Jansen et al. 2000). Uitgekiende maaischema's of herintroductie via het opbrengen van maaisel of diasporen kunnen dit knelpunt oplossen. Verder is nog niet duidelijk of de veenvorming zich onder deze omstandigheden altijd opgang komt en zich op de wat langere termijn ook altijd goed ontwikkeld, zeker bij relatief hoge N-depositie (Paulissen e.a., 2005).

*Figuur 5.9: Een beeld van de kalkafzetting die is waargenomen in het Reigersbroek (Limburg), na de verwijdering van de fosfaatverrijkte toplaag in een voormalig agrarische situatie (foto Hans de Mars). Hier zal waarschijnlijk een alkalisch laagveen tot ontwikkeling kunnen komen.*

*Figure 5.9: Lime sediment observed in the Reigersbroek (Province of Limburg) after removal of the phosphate rich topsoil in a former agricultural situation (photo Hans de Mars). Probably an alkaline bog will develop here.*

**Kennishiaten**

- Het oplossen van een aantal kennishiaten kan het herstelbeheer van basenrijke en basenarme hellingvenen in aanzienlijke mate optimaliseren. Hierbij een overzicht van de belangrijkste kennishiaten:

- Er is nog (te) weinig bekend wat de relatieve bijdrage is van de interceptie door bossen, drainage, verhard oppervlak en gebruik van (grond)water bij de aantasting van de hydrologie van hellingvenen, en hoe deze aangetaste hydrologie daarna het meest effectief te herstellen is, vooral indien de oorzaken van de verdroging (grotendeels) buiten het bestaande natuurterrein liggen;

- De rol van veranderingen in de chemie van het toestromend grond/kwelwater (vooral nitraat, ijzer, sulfaat, bufferstoffen) voor het functioneren van de kenmerkende vegetatie en fauna – voedselketeneffect - is onvoldoende vastgesteld in deze helingvenen (en alkalisch laagveen);

- Met name in basenrijke hellingvenen en alkalisch laagveen zijn de kenmerkende slaapmossen ("brown mosses") voor een aanzienlijk deel, naast de kleine zeggen-soorten, verantwoordelijk voor de veenvorming. Door de zeldzaamheid van deze mossoorten, en hun geringe verspreidingsvermogen is het onzeker of ook in de toekomst de

veenvorming – en daarmee $CO_2$-vastlegging - voldoende opgang komt en blijft in deze herstelde (zeer) basenrijke venen; ook zijn deze mossoorten gevoelig tot zeer gevoelig voor verhoogde ammoniumtoevoer (Paulissen e.a. 2004; Verhoeven e.a. 2011), dit zou een ernstig knelpunt bij een permanent herstel van de veenvorming kunnen zijn.

- In welke mate zijn de eerder genoemde maatregelen in de praktijk effectief voor het herstel van deze kleine ecotoop, en hoe kan dit voor uitvoering van de maatregelen vastgesteld worden;

- Veel planten- en diersoorten, die kenmerkend zijn voor deze hellingvenen en alkalisch laagveen, komen nu zeer beperkt voor in Nederland. Wat is de invloed van het ontbreken van deze soorten op het functioneren van tot nu toe herstelde systeem en kunnen maatregelen opgesteld worden die deze dispersielimitering opheffen;

- Vroeger kwamen hellingvenen, maar vooral alkalisch laagveen op meer plaatsen in het Nederlandse landschap voor, dan tegenwoordig. Op dit moment ontbreekt een overzicht waar deze systemen vroeger vooral aanwezig waren en hoe kansrijke situaties voor genoemde systemen in het huidige landschap op effectieve wijze geïdentificeerd worden, zodat herstel daarna zo kansrijk mogelijk kan worden uitgevoerd.

## 5.7 Slot

Hellingvenen kunnen zich ontwikkelen tegen hellingen van heuvels, rivierterrassen en plateauranden en diep ingesneden beekdalen en in hellende (erosie)dalen, en in hellende kwelgebieden met een vrijwel permanente, diffuse uitstroom van grondwater over een relatief groot oppervlak. De geologische opbouw van de ondergrond is voor hun ontwikkeling essentieel, naast geomorfologische aspecten, zoals reliëf. Het voorkomen van slecht doorlatende lagen of juist de aanwezigheid van zeer goed doorlatende formaties bepalen namelijk waar het grondwater in kwelgebieden de oppervlakte bereikt. Op basis van de basenrijkdom is een onderscheid mogelijk tussen basenrijke en basenarme hellingvenen. De basenarme hellingvenen hebben veelal een pH lager dan 5,5, terwijl de basenrijke hellingvenen veel meer gebufferd zijn (pH >5,5). Sommige basenrijke hellingvenen zijn ook te beschouwen als alkalisch laagveen, en soms zelf als zogenaamde "kalkmoeras" waarin actief moeraskalk wordt afgezet op de bodem of de vegetatie. De vegetatie van basenarme hellingvenen en hun fauna lijkt sterk op die van hoogvenen, en veenmossen zijn prominent aanwezig. Meestal is de situatie wel wat soortenrijker dan die van hoogveen, er zijn namelijk in intacte basenarme hellingvenen ook frequent plantensoorten aanwezig, die doorstroom en uitstroom van licht gebufferd grondwater indiceren. Basenrijke hellingvenen (en alkalisch laagveen) is (of was) zeer rijk aan planten, en er wordt veel al een mozaïek van natte en wat drogere plekken (bulten) aangetroffen, en ook allerlei overgangen naar minder basenrijke omstandigheden. Ook de fauna van hellingvenen kan zeer rijk zijn, maar door de huidige kleine schaal van de terreinen en hun geïsoleerdheid is daar niet veel meer van over.

Het belangrijkste sturende proces in hellingvenen is het permanent doorstromen en diffuus uittreden van grondwater tot in maaiveld. Dit betekent dat het grondwater in intacte hellingvenen zelden diep weg zakt, er is dus altijd een hoge grondwaterstand, met geringe wisselingen er in.

Afhankelijk van geologische gesteldheid van het invang- / doorstroomgebied is het grondwater licht of sterk gebufferd. Verder zijn de concentraties van nutriënten (N en P) laag tot zeer laag, en arm aan chloride en sulfaat. Door dit alles is vorming van veen een belangrijk kenmerk in intacte situaties. De belangrijkste bedreigingen voor hellingvenen zijn verandering in hun hydrologische situatie, zowel kwantitatief als kwalitatief. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door lokale ontwatering (sloten) op plekken waar het grondwater uittreedt, dit is relatief makkelijk en is vroeger ondermeer gebruikt om sprengsystemen te laten functioneren. Ook drainage, drinkwateronttrekking en grootschalige bosaanplant in het voedingsgebied hebben vaak geleid tot een (sterk) verminderde toevoer van grondwater met alle gevolgen van dien. Ook veranderingen in de chemie van het grondwater (nitraat, sulfaat) kunnen bijgedragen tot de achteruitgang van de biodiversiteit in hellingvenen. Verder kan de veenvorming door slaapmossen in basenrijke situaties aangetast worden door ammoniumverrijking. Door dit alles zijn veel voormalige hellingvenen en alkalische laagvenen sterk gedegradeerd of zelfs door ontginningen geheel verdwenen, en nu dan ook zeldzaam tot zeer zeldzaam (basenrijke vorm) in Nederland. Herstel en herinrichting van aangetaste hellingvenen is dan ook zeker urgent in Nederland. Tot nu toe is op enkele plaatsen ervaring opgedaan met herstel van hellingvenen, en daarbij is de vegetatie veelal, maar niet altijd, redelijk tot goed hersteld, althans indien de hydrologische situatie nog intact was. Herstel van de hydrologie, zowel qua kwantiteit als kwaliteit is bij dit alles essentieel en altijd maatwerk. Over de herstelmogelijkheden van de hydrologie zijn meerdere hiaten in kennis geïdentificeerd, waarbij het ook van belang is tot methodieken te komen om kansrijke situaties voor herstel of herinrichting van hellingvenen en alkalisch laagveen te herkennen.

*Met dank aan: Ab Grootjans (Rijksuniversiteit Groningen & Radboud Universiteit Nijmegen), André Jansen (Unie van Bosgroepen) & Mark Jalink (KWR).*

# 6 Kwelzones in het nat zandlandschap

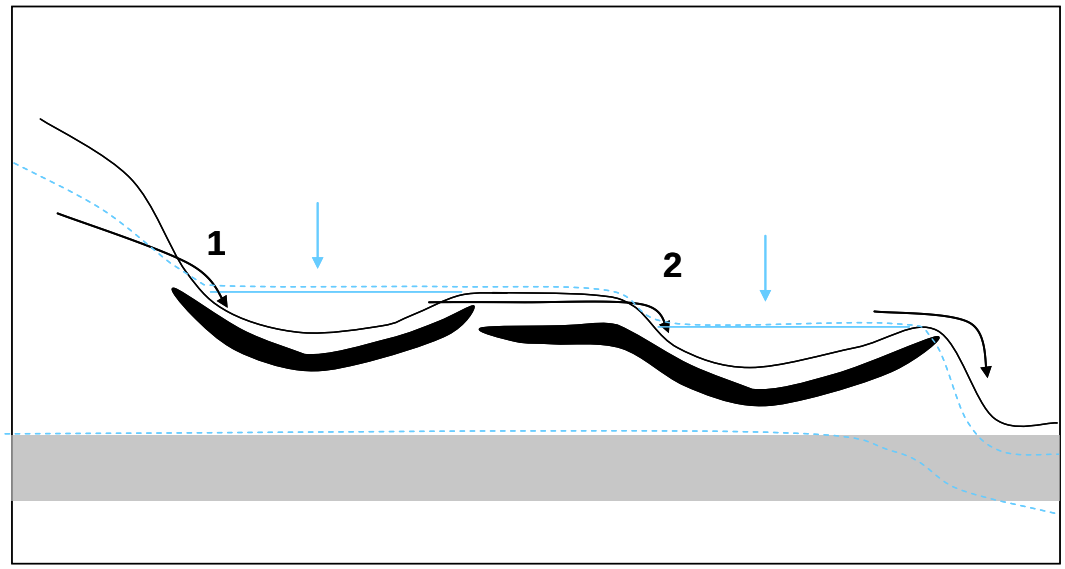
## 6.1 Kwelzones van schijngrondwaterspiegelvennen

Deze kleine ecotoop bevindt zich binnen de omgrenzing van "veentje met schijnspiegel". Het omvat de zone waar instromend water van invloed is. De zone ligt binnen het deel van het ven waar de slecht doorlatende laag aanwezig is.

*Er bestaat veelal verwarring over het verschil tussen een schijnspiegelven en een stagnatielaagte. Everts e.a. (1984) en Bakker e a. (1986) geven aan dat daarin een wezenlijk onderscheid aanwezig is Het schijnspiegelven kent een grondwaterregime met een veel minder sterke schommelende grondwaterstand dan een stagnatielaagte omdat de slecht doorlatende laag van een schijnspiegelven veel minder permeabel is dan die van een stagnatielaagte. Bij een stagnatielaagte schommelt de grondwaterstand (gedempt) mee met die van de omgeving.*

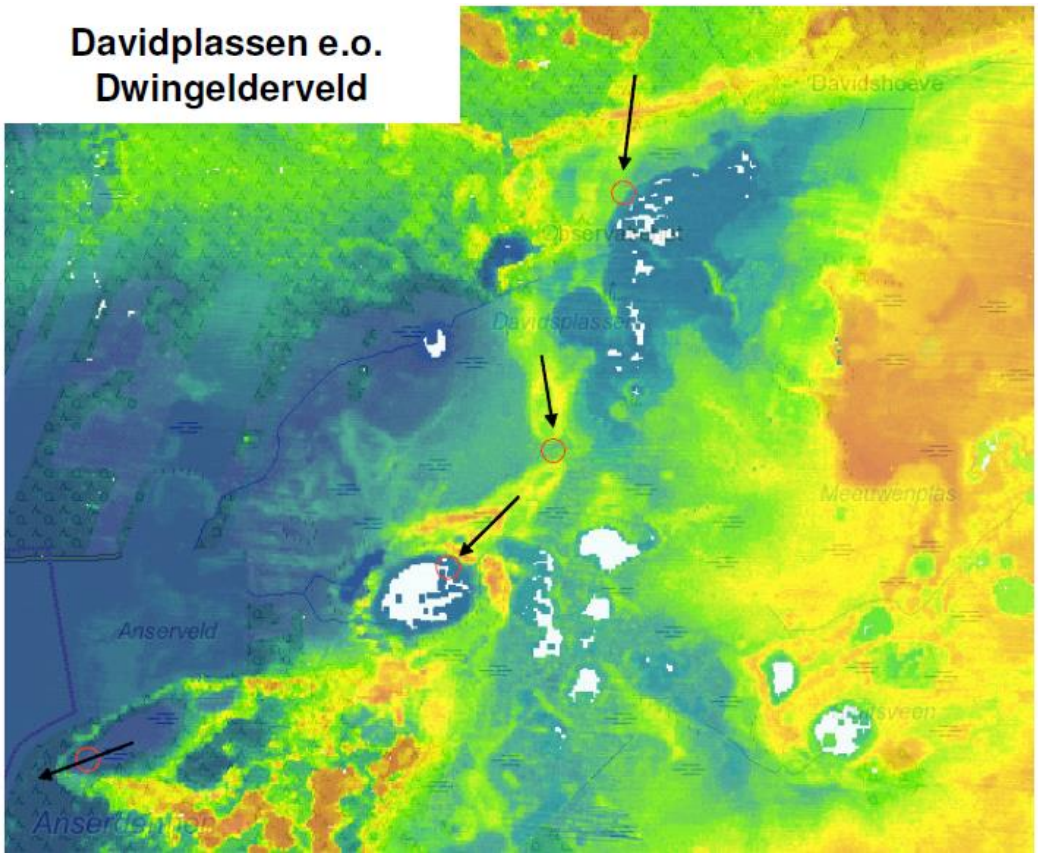
De omvang van de kwelzone van een schijnspiegelven is afhankelijk van de hoeveelheid water die instroomt. De hoeveelheid en samenstelling van het instromend water wordt op haar beurt bepaald door zowel de omvang en

bodemkundige opbouw alsook het reliëf in het intrekgebied. Hierbij speelt een aantal landschapsecologische factoren een rol. Dit type veentje met kwelzones is veelal gebonden aan geulsystemen in het landschap waarin slecht doorlatende lagen aanwezig zijn in de vorm van (kei)leem veelal in combinatie met organische lagen. Ook (ijzer)oerbanken, verkitte podzolen of gliedelagen kunnen deze slechte doorlatendheid veroorzaken. Deze zorgen vooral in natte perioden voor een horizontale grondwaterstroom in het zandpakket van het (geul)systeem (Figuur 6.2). Ook de chemische samenstelling van het water is hier vermoedelijk anders omdat de aangrenzende stuwwal een andere geologische en mineralogische samenstelling heeft dan dekzand.
Toestroming van grondwater treedt in de regel gedurende korte tijd op in neerslagrijke perioden wanneer de waterstand in het freatische pakket het reliëf gaat volgen (Figuur 6.1). Ook de bodem van het ven ligt dan in het freatische grondwater, echter zonder dat het water van onderen het ven kan binnendringen. Dat is beperkt tot plaatsen waar het freatische grondwater over de rand van de slecht doorlatende gliedelaag kan stromen, de kwelzone.



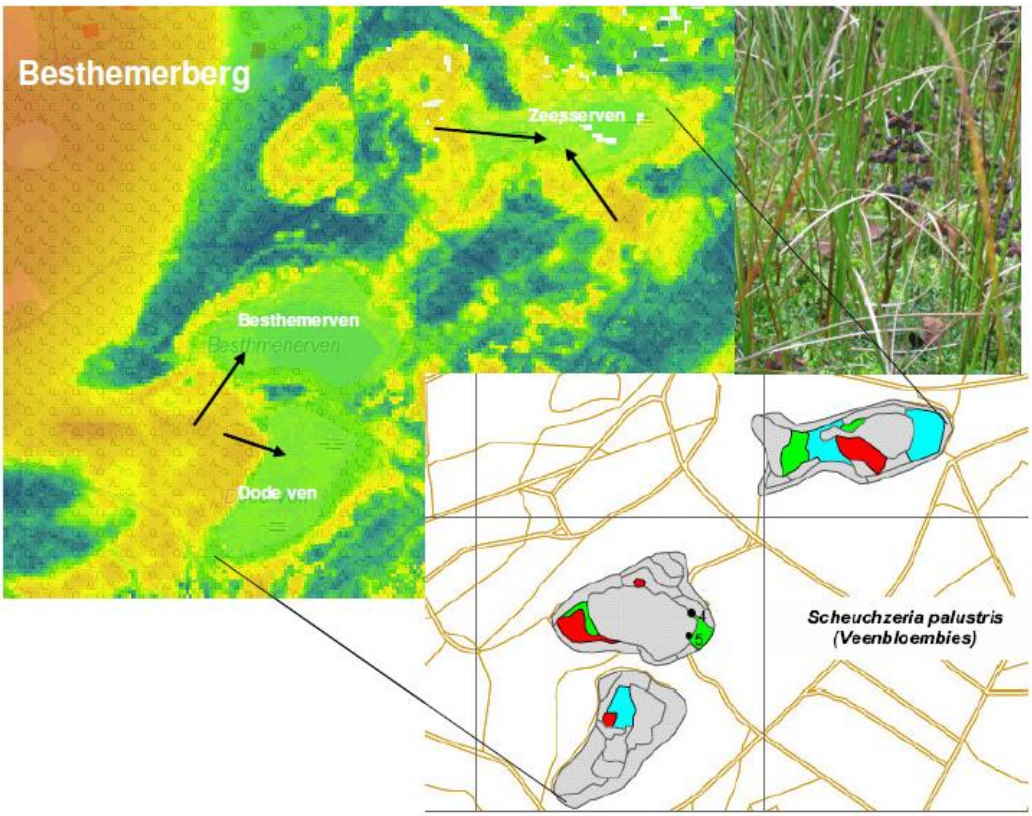

*Figuur 6.1: Schematische weergave van twee typen kwelzones in situaties met een schijngrondwaterspiegel. Aangegeven zijn de hoogste en gemiddelde laagste stand van het grondwater in de omliggende zandgronden (blauwe stippellijn) de waterstand in de schijnspiegelvennen (blauwe lijn), neerslag (blauwe pijl) en relevante grondwaterstroom (zwarte pijl).*

*Figure 6.1: Diagram of two types of seepage zones with a perched water table. Seasonable high and low water tables are indicated by a blue dotted line. The perched water table of fens is indicated with a blue line. Precipitation is indicated by a blue arrow, ground water flows by a black arrow.*




*Figuur 6.2: Verschillende kwelzones met Beenbreek nabij de Davidsplassen op het Dwingelderveld. De kwelzones met Beenbreek (rode cirkels) zijn gerelateerd aan een rugsysteem, ten noorden van de plassen Linksonder in de figuur weerspiegelt Beenbreek eerder een lekzone  Door omkering in reliëf , weerspiegelt de rug één van de keileemslenken van het veld. (Naar Verschoor e.a., 2004; Everts e.a., 2006).*

*Figure 6.2: Different seepage zones with* Narthecium ossifragum *nearby the Davidsplassen situated in the Dwingelderveld. The seepage zones with* Narthecium ossifragum *(red circles) are related to a ridge system. On the left side of the figure* Narthecium ossifragum *indicates a leakage zone.  The ridge is reflecting a boulder clay (till) trench because of reversed relief. (Verschoor e.a., 2004; Everts e.a., 2006).*




*Figuur 6.3: Kwelzones waarschijnlijk gestuurd door reliëf in de vennen in de Boswachterij Ommen. Veenbloembies komt voornamelijk voor in de zones waar langs het ven hogere ruggen liggen, een indicatie van toestromend grondwater (pijlen). De Besthmenerberg is een stuwwal. Rood: dominant/abundant; blauw: frequent; groen: hier en daar (naar Everts e.a., 2011).*

*Figure 6.4: Seepage zones formed by relief in fens at Boswachterij Ommen.* Scheuchzeria palustris *occurs in areas where fens are situated next to high ridges, an indication of ground water flows (arrows). De Besthmenerberg is a moraine till. Abundancy of* Scheuchzeria palustris *Red: abundant; blue: frequent; green: occasional (Everts e.a., 2011).*

De aanwezige kwelzone is in het algemeen klein en varieert van enkele vierkante meters tot één of enkele ares. Het is een bijzondere kleine ecotoop (KE) met een kenmerkende vegetatie en speciale plantensoorten. De kwelzone kan zowel bestaan uit initiaalfasen van de hoogveenverlanding als latere fasen met hoogveenbult- en hoogveenslenk vegetaties. Ze onderscheidt zich van de overige delen van het ven of veentje door de aanwezigheid van een aantal bijzondere plantensoorten. In wat minder natte situaties kan ook meteen een terrestrische fase aanwezig zijn, met Wilde gagel (*Myrica gale*) en/of een veenmosrijke vochtige heide. De verschillende stadia van de verlanding kunnen daarbij tevens een mozaïek vormen. Het bijzondere kwelkarakter komt tot uitdrukking in een aantal soorten die een licht verhoogde pH (en deels daarmee verhoogde trofie) of stroming van water indiceren zoals Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Wilde gagel, Draadzegge (*Carex lasiocarpa*), Waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) en (in het verleden) ook Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*). Het toestromende water is daarbij jong, ondiep freatisch water en relatief basenarm. Behoud en goed beheer van de kleine ecotoop is niet alleen van belang voor het behoud van de kenmerkende soorten maar ook van dat van het veentje zelf waarmee ze

onlosmakelijk is verbonden. Bovendien zien we vaak dat de kenmerkende soorten ook buiten de zone meer verspreid voorkomen en soms overgaan in de lekzone.

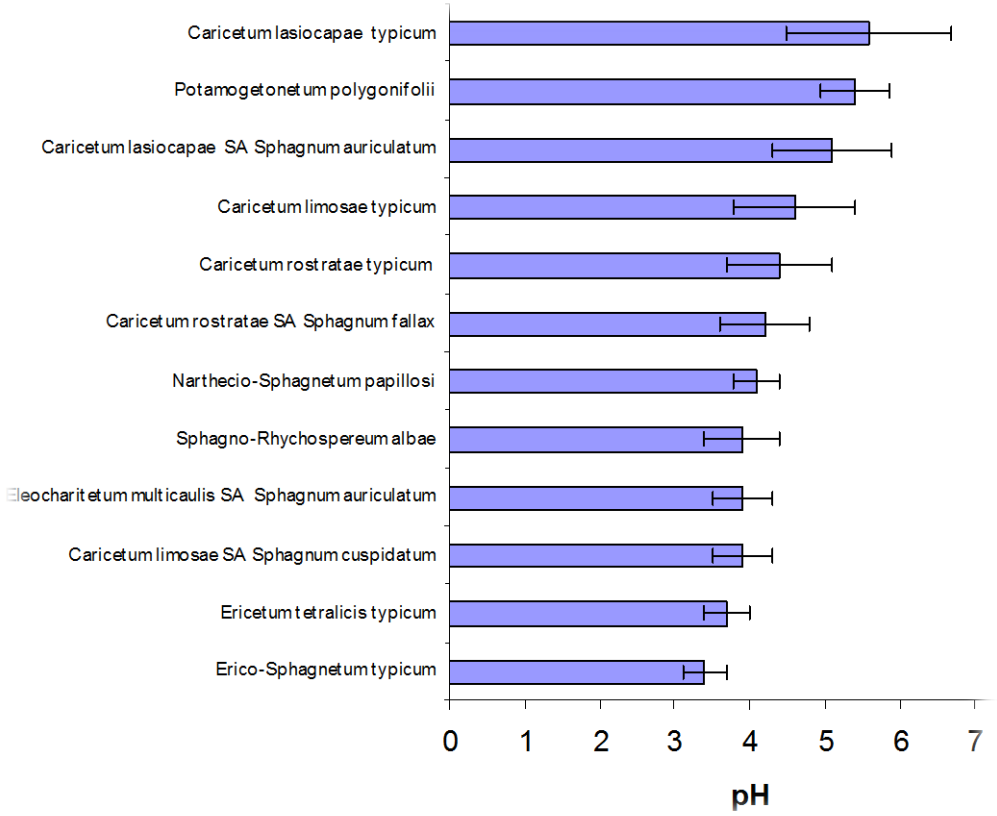
**Aansluiting bij andere indelingen**
De kleine ecotoop is nauw verwant aan het KE chijngrondwaterspiegelveentje en is verwant met de kleine ecotoop Lekzones van schijnspiegelvennen.

**Plantengemeenschappen**
De vegetatie van de kwelzones bestaat zowel uit initiaalfasen als latere fasen van de hoogveenverlanding die boven het waterniveau. Vaak kan additioneel een al dan niet vegetatievormend dek van een aantal bijzondere plantensoorten voorkomen (zie o.m. Bakker et al., 1986; Everts & de Vries, 1984; Verschoor et al., 2004; Dierssen, 1982; Schaminée e.a., 1995).
In de kwelzone kunnen verschillende successiestadia worden aangetroffen, beginnend met een pionierstadium van Waterveenmos-associatie [10Aa1 *Sphagnetum cuspidato-obesi*]. In de kwelzone wordt deze gemeenschap vaak begeleid door Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) en vormt zo een aparte subassociatie [10Aa1b *Sphagnetum cuspidato-obesi sparganietosum angustifolii*]. In deze fase vinden we ook de rompgemeenschap met Snavelzegge [10-RG2-[10] RG *Carex rostrata-[Scheuchzerietea]*] en de specifiek voor de kwelzone de Associatie van Draadzegge en Veenpluis [10Ab1 *Eriophoro-Caricetum lasiocarpae*]. Op de randen van het ven zien we bovendien vaak Gagelstruweel: Rompgemeenschap met Wilde gagel [11-RG3-[11] RG *Myrica gale-[Oxycocco-Sphagnetea*]]. In de volgende verlandingsfase is Veenpluis aspectbepalend: Rompgemeenschap met Veenpluis en Veenmos [10-RG3-[10] RG *Eriophorum angustifolium-Sphagnum-[Scheuchzerietea*]]. Daarna vormen zich slenkvegetaties van de Associatie van Veenmos en Snavelbies [10Aa2b *Sphagno-Rynchosporetum*] waarin Slank veenmos (*Sphagnum recurvum*) vaak het aspect bepaalt naast Witte snavelbies (*Rhynchospora alba*). Bij toestroom van relatief basenhoudend grondwater treffen we in deze zone ook de Veenbloembies-associatie [10Aa3 *Caricetum limosae*]. De slenkvegetaties vormen veelal een mozaïek met de latere hoogveenverlandingsfase met hoogveenbulten [Associatie van Gewone dophei en Veenmos 11Ba1 *Erico-Sphagnetum magellanici*]. Deze fase wordt gekenmerkt door soorten als Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*), Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*), Lavendelhei (*Andromeda polifolia*), Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*). Op de hoogste bulten zijn tevens Gewone dophei (*Erica tetralix*), Struikhei (*Calluna vulgaris*) en Kraaihei (*Empetrum nigrum*) aanwezig.

### 6.1.1 Natuurwaarden van de kleine ecotoop

**Flora en vegetatie**
Als zowel de hoogveenvegetatie goed is ontwikkeld en bijzondere soorten van de kwelzone frequent voorkomen, wordt ook de kwelzone als goed ontwikkeld beschouwd. Het mozaïek aan hoogveenvegetaties van het veentje waar de kwelzone deel van uitmaakt is daarin bepalend. De bijzondere soorten vormen daarin veelal niet alleen een inslag maar kunnen (plaatselijk) ook vegetatievormend zijn. De bijzondere soorten zijn Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Wilde gagel (*Myrica gale*), Waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*),

Draadzegge (*Carex lasiocarpa*), Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*)[1], Veenbloembies (*Scheuchzeria palustris*), Wateraardbei (*Comarum palustre*), Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), Vlottende bies (*Eleogiton fluitans*), Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*), Geoord veenmos (*Sphagnum denticulatum*) en (in het verleden) ook Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*). De laatste soort kwam tot in de jaren zestig van de vorige eeuw nog voor op het Dwingelderveld en is mogelijk nu nog aanwezig in de Ronde Vlaas (Noord-Brabant). Wanneer zij vegetatievormend zijn dan vertegenwoordigen zij de genoemde gemeenschappen waarvoor zij kenmerkend zijn. De soorten duiden op een zwakke buffering en een iets verhoogd aanbod van voedingsstoffen (Aggenbach e.a., 1998; Arts, 2000). Beenbreek en Wilde gagel concentreren zich in dit soort vennen niet alleen in de kwelzone maar ook in de lekzone, de uitstroomopening van het oppervlakkig afgevoerde water (Verschoor e.a. 2003). Veenmosorchis komt alleen voor op de plekken waar die stroming het sterkst is (mond. med. wijlen J.J. Barkman).




*Figuur 6.4: De gemiddelde pH van plantengemeenschappen uit de hoogveenreeks. Te zien is dat gemeenschappen die worden gekenmerkt door soorten van de kwelzone gemiddeld een hogere pH hebben dan de zuivere hoogveengemeenschappen onder in de figuur (naar Dierssen, 1982).*

*Figure 6.4: Average pH of plant communities from raised bogs. The highest pH can be found within communities with species typical for seepage zones (Dierssen, 1982).*

---

[1] Everts & de Vries (1986) brachten het voorkomen van Drijvende egelskop in vennen in verband met de ligging in stuifzanden en derhalve met instuivend zand. Deze theorie is door het onderzoek van Verschoor et. al. (2003) in feite weerlegd.

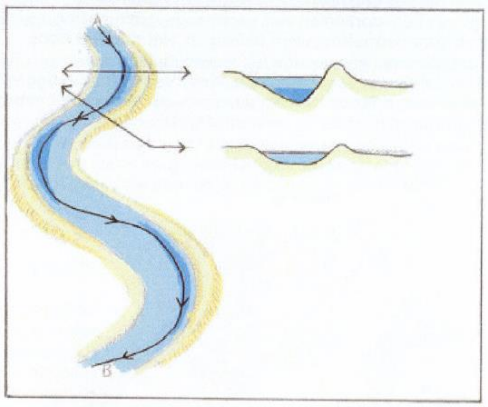
De betere buffering kan geïllustreerd aan de hand van pH-metingen in de verschillende plantengemeenschappen waarvoor de juist genoemde soorten kenmerkend zijn (Figuur 6.4). De gegevens zijn afkomstig van het overzichtswerk in Noordwest Europese venen van Klaus Dierssen.

**Paddenstoelen**
Op plekken waar gedurende een groot deel van het jaar kwel optreedt, is de rijkdom aan paddenstoelen doorgaans gering. Macrofungi zijn hier beperkt tot de drogere, terrestrische delen. Daar waar zich veenmoskussens ontwikkelen, kunnen enkele tientallen veenmosbegeleidende paddenstoelen voorkomen, bijvoorbeeld Mosklokjes (*Galerina* spp) en Zwavelkoppen (*Psilocybe* spp). Een bijzondere soort van kale, zure, altijd natte heidebodem op kwelplekjes langs vennen is de Lenteknotszwam (*Clavulinopsis vernalis*).

**Fauna**
Voor de fauna refereren we aan de schijngrondwaterspiegelveentjes zoals beschreven in bijlage 1 van dit rapport. Voor zover nu bekend zijn er geen diersoorten die specifiek zijn voor deze kwelzones, mogelijk omdat er heel weinig onderzoek naar gedaan is.

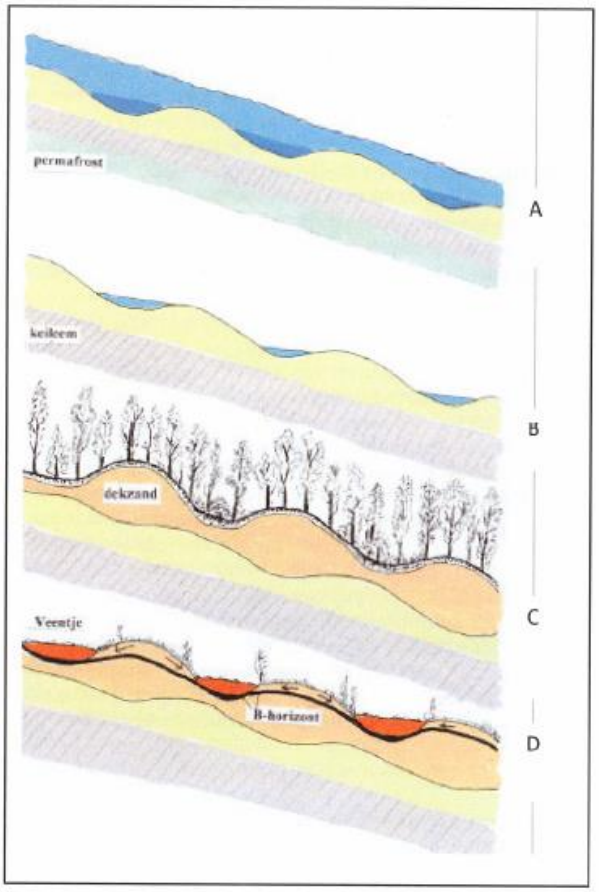
### 6.1.2 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Standplaatscondities**
In de regel fluctueert over de seizoenen de waterstand niet meer dan 30(-40) cm (Bakker e.a., 1986). De waterstandsdaling in het droge seizoen wordt voornamelijk bepaald door de grootte van het neerslagtekort (300-400 mm). De peilfluctuaties zijn gering doordat er enerzijds weinig wegzijging optreedt, omdat het grondwater zeer weinig de bodem indringt en anderzijds de hoogste standen worden afgevlakt, doordat het venwater bij oplopende standen over de rand van de slecht doorlatende laag wegstroomt (Von Asmuth e.a., 2011).
De hydro- of bodemchemische samenstelling van het water is vergelijkbaar met dat van regenwater (Von Asmuth e.a., 2011). Het ondiepe grondwater dat toestroomt in de kwelzone heeft evenwel een hoog gehalte aan koolzuur en is daarnaast zeer zwak gebufferd (alkaliniteit is 0,1-0,5 mol) en heeft een hoger gehalte aan basische kationen dan het regenwater (Verschoor e.a., 2003). Het toestromend grondwater is tamelijk rijk aan koolzuur door afbraak van organisch materiaal in het freatisch pakket. De plantengemeenschappen in de gradiënt zijn kenmerkend voor oligotrofe (gemeenschappen hoogveenverlanding) tot licht mesotrofe omstandigheden (Gagelstruwelen en moerassen met onder meer Draadzegge, Waterdrieblad en Wateraardbei) (Bakker e.a., 1986, Everts & de Vries, 1988).



*Figuur 6.5: Schematische weergave van oorspronkelijke geul met klassiek erosie- en sedimentatiepatroon (Verschoor e.a., 2003).*

*Figure 6.5: Diagram of a trench with classical erosion and sedimentation patterns (Verschoor e.a., 2003).*




*Figuur 6.6: Vorming van veentjes uit oorspronkelijke erosiegeul door omkering van reliëf: A. Oorspronkelijke erosiegeul met waterafvoer, B. idem, met lagere of geen afvoer, C. Omkering reliëf door invangen dekzand op natte plaatsen en D. vorming schijnspiegels en veentjes in depressie (Verschoor e.a., 2003).*

*Figure 6.6: Development from a trench caused by erosion to bog formation by reversed relief. A. Original trench with drainage. B. idem, but lower or no drainage. C. reversed relief caused by*

*accumulation of cover sand at wet areas. D. development of perched water tables and bogs in depressions (Verschoor e.a., 2003).*

**Sleutelprocessen**
Het belangrijkste sleutelproces waarin de kwelzone van een schijngrondwaterspiegelveentje zich onderscheidt van een schijngrondwaterspiegelveentje zonder kwelzone is dat naast voeding door regenwater ook voeding van grondwater uit de omgeving een rol speelt. De geohydrologische achtergrond daarvan is dat deze vennen veelal deel uit maken van (geul)systemen, waarbij in het zandpakket daarboven periodiek grondwaterstroming kan optreden en waarin zich (oude) B-horizonten bevinden met organische stof (Figuur 6.6) (Verschoor e.a., 2003, Everts e.a. 2005, Von Asmuth e.a., 2011).
Door bacteriële activiteiten in deze horizonten is het afstromende grondwater veelal koolzuurrijk (Tomassen e.a., 2011). In neerslagrijke perioden met hoge grondwaterstanden kan het koolzuurrijke grondwater over de slecht doorlatende randen van in het ven terecht komen (zie ook Verschoor, 2003). Verschoor e.a. (2003) hebben dit met onderzoek op locatie in het Dwingelderveld nader onderbouwd en bevestigd. De toestroom van koolzuurrijk water leidt in vergelijking met zuiver met regenwater gevoede schijngrondwaterspiegelveentjes tot een versnelde veenmosgroei, vooral in de initiële fasen van de verlanding profiteren veenmossen van deze koolzuurrijkdom (Tomassen e.a. 2011).
In de bodem van de kwelzones kunnen zich door de sterke grondwaterbeweging geen toxische concentraties van anaërobe verbindingen ophopen, zoals ammonium, sulfide en gereduceerd ijzer. Waarschijnlijk vormt dit een essentiële voorwaarde voor het voorkomen van de meest kenmerkende soorten, zoals Wilde gagel, Draadzegge, Beenbreek en Veenbloembies. Concentraties van deze stoffen zijn in kwelzones veel lager dan in veel andere moerasvegetaties (Hommel e.a., 2005, Scherpenisse-Gutter e.a., 2009, Brouwer, 2011).
Aanvoer van jong grondwater kan behalve de ophoping van ammonium ook de ophoping van aluminium voorkomen (Hommel e.a., 2005, Scherpenisse-Gutter e.a., 2009, Brouwer, 2011). Ook zorgt doorstroom van dit grondwater voor iets hogere concentraties van Ca, Fe, K en Mg. Veel zuurmijdende soorten zijn gevoelig voor hoge aluminiumconcentraties, zeker als de concentratie van Ca ook nog eens laag is (Hoge Al/Ca-verhouding). Mogelijk verklaart dit de binding van Beenbreek aan kwelplekken in het nat zandlandschap, terwijl de soort bijvoorbeeld in hoogvenen niet gebonden lijkt aan kwelplekken. Dit komt doordat Al in veen aan organische stof wordt gebonden en dan veel minder toxisch is.

**Landschappelijke relaties**
De toestroom van grondwater is zowel afhankelijk van de aanwezigheid en omvang van slecht doorlatende lagen in geulsystemen als van het reliëf. Naarmate de omvang van dergelijke systemen en het inzijggebied groter is, kan er in principe meer voeding plaatsvinden. Ook de gemiddelde grondwaterstand is daarbij van belang. Hoe hoger deze is des te eerder zal in natte perioden het freatische systeem zich (volledig) opvullen en zal het grondwaterniveau het reliëf gaan volgen. Daarmee worden eerder en vaker hoge standen bereikt die boven het waterniveau van het ven komen en tot toestroom naar het ven of veentje leiden. Het functioneren van dit hydrologische systeem is derhalve in sterke mate afhankelijk van het de gaafheid van het oorspronkelijke landschap waarin de vennen liggen en tot ontwikkeling zijn gekomen. Dit is het oorspronkelijke dekzand- en stuifzandlandschap met haar kenmerkende reliëf. Daarin vormen dekzandruggen en stuifzandduinen de ruggengraat. De veentjes en andere

laagten (bijv. tot de keileem uitgestoven laagten) hebben daarin hun plek. Het moderne landgebruik is vooral in de 20ste eeuw in dit landschap steeds dominanter geworden, ook in gebieden die daarna reservaat zijn geworden. Dit is vaak gepaard gegaan met aantasting van reliëf en grondwaterpeilverlaging. Beide ingrepen hebben een sterke invloed op de waterhuishouding waardoor minder water toestroomt en er derhalve een negatief effect op de ontwikkeling van deze kleine ecotoop optreedt.

**Menselijke invloed**
De mens heeft in haar landgebruik een aanzienlijke invloed op veentjes (gehad). Deze invloeden worden ook genoemd bij de beschrijving van Knelpunten in kwaliteit. Er is een zekere overlap in beide paragrafen. Bij de beschrijving van de menselijke invloed ligt echter het accent op het landgebruik en bij de beschrijving van knelpunten op het effect van de ingreep.

*Verdroging door maatregelen in het veentje:* de veentjes waarvan de kwelzones deel uitmaken werden in het verleden gebruikt voor vervening waarbij turf werd gewonnen of ze werden gebruikt voor boekweit-brandcultuur. Daartoe werden de veentjes ontwaterd wat leidde tot degradatie van de hoogveenvegetatiereeks. Dat heeft ook gevolgen gehad voor de kwelzones omdat de vegetatie en soorten van de zone in goed ontwikkelde vorm afhankelijk zijn van veenvorming en derhalve van hoge en stabiele waterstanden en hoogveengroei in het veentje. Ook de kwelzone verdroogde vaak in belangrijk mate, waarbij veel van de oorspronkelijk kenmerkende soorten van de zone sterk achteruit zijn gegaan of verdwenen. Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*) is daarvan wel het beste voorbeeld want recente vindplaatsen in deze kleine ecotoop zijn er niet of nauwelijks meer terwijl dat in de jaren zestig van de vorige eeuw nog wel zo was. Deze soort was in het Pleistocene deel van ons land in belangrijke mate gebonden aan deze kleine ecotoop en is in Noord-Brabant, Gelderland en Drenthe sinds 1950 sterk achteruit gegaan (FLORON, 2011). Hetzelfde geldt, hoewel in mindere mate, ook voor Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) en andere kenmerkende soorten.

*Verdroging door maatregelen in de omgeving van het veentje*: naast verdroging in het ven zelf speelt ook verdroging in de omgeving van het ven een rol. Het voedingsgebied kan zijn aangetast door dat slecht doorlatende lagen zijn doorgraven. Drainerende sloten zijn vaak ook aangelegd ten behoeve van de bosbouw, waarbij de bosopstanden door een hoge verdamping cumulatief bijdragen aan lage waterstanden. Een ander type ingreep is dat het voedingsgebied is afgesneden door aanleg van wegen (met aan weerszijden sloten en doorsnijdingen van ruggen) en dammen en toestromend water wordt afgeleid. We zien dit onder meer in de Brabantse situatie zoals in het Vresselsche Bosch en Leenderbosch. Op het Dwingelderveld zijn inmiddels veel interne maatregelen getroffen om verschillende vormen van verdroging te bestrijden. Daarvoor zijn in lage en van oorsprong natte delen van het reservaat sloten gedempt en is bos gekapt. Noodzakelijke vernattingmaatregelen buiten het nationaal park zijn vooralsnog niet uitgevoerd (Everts e.a., 2005).

*Verdroging aantasting reliëf: e*en laatste type ingreep in de waterhuishouding die ons inziens vooralsnog weinig aandacht krijgt bij het herstel is aantasting van het reliëf. Deze aantasting kan bijvoorbeeld vroeger zijn uitgevoerd tijdens ontginningswerkzaamheden om het terrein om te zetten naar landbouw of door doorsnijding met een weg. Hierbij zijn de voedende (dekzand)ruggen doorsneden door wegen met aan weerszijden en sloten die

leiden tot ontwatering dan wel aftopping van hoge grondwaterstanden in natte perioden (Figuur 6.7).

*Figuur 6.7: Doorsnijding van een dekzandrug op de rand van het Lange veen op het Dwingelderveld. De rug heeft de zelfde oriëntatie als het veen en ligt aan dezelfde kant waar vandaan het voedende grondwater stroomt. De doorsnijding dempt de opbolling van het freatisch grondwater in de zandrug en daarmee de voeding van de kwelzone. Foto: Henk Everts.*

*Figure 6.7: Ridge formed by coversand cut through by a road. This causes a depression in the topped up water table, diminishing the water flow to the seepage zone.*

*Vermesting:* een andere negatieve invloed wordt gevormd door vermesting als gevolg van de instroom van vervuild oppervlakte- en grondwater en atmosferische N-depositie. In het Dwingelderveld was de eutrofiëring die in de veentjes tot uitdrukking komt in lokale dominantie van Pitrus (Juncus effusus), Grote lisdodde (Typha latifolia) en Mannagras (Glyceria fluitans) ook terug te voeren op de aanwezigheid van meeuwenkolonies en aan de invloed van water afkomstig van belendende landbouwgronden (Bakker et al. 1986). Ook atmosferische depositie kan een wezenlijk negatieve rol spelen. Als gevolg van te hoge stikstofdepositie kan in veentjes vermesting optreden, wat nadelig zal zijn voor de natuurwaarden (zie Lamers e.a., 2000).

### 6.1.3 **Locaties van kwelzones van schijngrondwaterspiegel vennen of veentjes**

Deze kleine ecotoop is aanwezig in verschillende provincies:

- Drenthe: Dwingelderveld (Lange ven, Kliplo, Poort II, Reigersplas; Verschoor e.a., 2003); Boswachterij Appelscha, Boswachterij Gieten en Boswachterij Grollo (Eerste Dillingveen) (Everts e.a., 1990; Everts,

1991); Boschoord (Jansen e.a., 2010); Hoornsch Veentje (landgoed Ooster- en Westerzand) (Eysink&Jansen 2011);

- Overijssel: Boswachterij Ommen, Zeesserven, Besthmenerven, Dodeven (Everts e.a., 2011);

- Gelderland: Deelensche veld (Jansen e.a., 2008) Overasseltse vennen en Mosterdveen; Appelsche Heide (landgoed Gerven) (Jansen & Bouwman, 2010); Deelensche Veld (Hoge Veluwe; Jansen e.a., 2008);

- Noord-Brabant: Vresselsche Bosch; Leenderbosch: Dode ven en Hasselse vennen.

- Noord-Holland Hilversums Wasmeer (Van Os, 2011), Laarder Waschmeer ('t Gooi; Sevink & Vlaming, 2006),

### 6.1.4 **Bedreigingen en aantastingen**

Veel van de bedreigingen en aantastingen hangen direct samen met die van de kleine ecotoop Schijnspiegelgrondwaterveentje. Verdroging is een groot probleem en uit zich door het optreden van verschillende degradatiereeksen. Welke reeks optreedt is afhankelijk van het successiestadium waarin de verdroging optreedt. Veelal zien we een verschuiving in het vegetatiemozaïek. In sterk aangetaste situaties krijgen rompgemeenschappen en gefragmenteerde gemeenschappen de overhand. In het pionierstadium van de verlanding treden Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en Waterveenmos (*Sphagnum cuspidatum*) dan op de voorgrond, evenals Knolrus (*Juncus bulbosus*). In geval van latere verlandingsstadia trekken de kenmerkende veenmossen zich terug naar de lagere delen zoals veenputjes. De veenvorming stagneert niet alleen doordat de grondwaterstanden gedaald zijn, maar ook doordat onder zulke omstandigheden minder $CO_2$-rijk grondwater kan toestromen. De meest gevoelige soorten daarin lijken naast Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) en Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*), Veenbloembies (*Scheuchzeria palustris*) en Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*).

**Knelpunten in kwaliteit**

*Verdroging*
De verdroging kent verschillende oorzaken:

- Het lek raken van de slecht doorlatende laag door het graven van greppels, sloten, en/of veenputjes. Meestal gaat het om graven in de randen, waardoor in de slecht doorlatende schotelrand gaten komen en de waterspiegel is gezakt. De meest extreme vergravingen zijn dwars door een ven waarbij het ven volledig lek raakt en dit volledig verdroogt;
- Verminderde toestroming van grondwater uit de omgeving als gevolg van verminderde opbolling in de omringende dekzandruggen of door verminderde toestroming over oppervlakkige slecht doorlatende lagen. Dit kan grote gevolgen hebben voor de continuïteit van de veenmosgroei of voor het weer op gang komen van veenmosgroei vanwege verminderde koolstofdioxideproductie. Dit proces treedt – net als daling van de grondwaterstanden - op als gevolg van:

    - drooglegging van omliggende laagten in de wijdere omgeving door rabattenstelsels, greppels en/of diepe watergangen;
    - sloten en vergravingen in het zandpakket boven de geulsystemen zelf alsmede de doorgraving van de verkitte B-horizonten. Het meest ingrijpend zijn vergravingen in de rand of dwars door het ven, waarbij de slecht doorlatende laag is aangetast en de stagnante situatie al dan niet geheel verdwijnt (zie vorig punt);
    - een verhoogde evapotranspiratie en interceptie van neerslag door aanplant van dicht (naald)bos in het inzijggebied van het lokale grondwater.
- Daling van de grondwaterstanden in de omgeving waardoor de slecht doorlatende organische lagen niet langer in contact staan met het grondwater - "de stagnatielagen hangen als het ware niet meer met hun buik in het grondwater" en kunnen uitdrogen. Het gevolg kan zijn dat deze lagen poreus worden en daardoor de lekverliezen toenemen. Dan dalen de grondwaterstanden in het ven en nemen de fluctuaties toe. Het is evenwel niet goed bekend onder welke omstandigheden zulke slecht doorlatende lagen lek kunnen raken (kennislacune). Verlies van het contact met het onderliggende grondwater kan niet alleen resulteren in een daling van de grondwaterstand, maar eveneens in een verminderde toestroming van grondwater uit de omgeving.

Verdroging leidt tot mineralisatie van het veen waarbij nutriënten vrijkomen. Van deze grotere nutriëntenbeschikbaarheid (vermesting) profiteren vooral snel groeiende plantensoorten (bijvoorbeeld Pijpenstrootje of Berk) waarbij deze planten eveneens worden bevorderd door een lagere grondwaterstand in het groeiseizoen. Deze hoog opgroeiende planten overschaduwen de lichtbehoeftige veenmossen, wat bij sterkere overschaduwing leidt tot een afname in de veenmosgroei. Daardoor vermindert de stikstofopname door veenmossen, waardoor de stikstofbeschikbaarheid voor vaatplanten verder toeneemt. Zo treedt een zichzelf versterkend proces op. Het strooisel van vaatplanten breekt bovendien gemakkelijker af dan dat van veenmossen, waardoor de hierin vastgelegde nutriënten weer sneller beschikbaar komen (Limpens & Berendse, 2003). Op deze manier ontstaat een terugkoppeling, die leidt tot een nog grotere dominantie van ongewenste vaatplanten in de kwelzone.

*Vermesting*
Net als verdroging komt vermesting ook tot uiting in de degradatie van het kenmerkende vegetatietype. In welke vorm is afhankelijk van het successiestadium. Veelal treedt een verschuiving op in het vegetatiemozaïek, waarbij in sterk aangetaste situaties rompgemeenschappen en gefragmenteerde gemeenschappen geheel de overhand krijgen. Er treden ook vaak begroeiingen op waarin een of enkele soorten het aspect bepalen zoals Grote lisdodde, Pitrus en Mannagras. Vermesting komt in de eerste plaats door verdroging waarbij door afbraak en mineralisatie van veen optreedt. Daarnaast treedt vaak veel sterkere vermesting op als gevolg van de volgende oorzaken:

- Stikstofdepositie. Naast vermesting kan N-depositie ook leiden tot bodem- of waterverzuring. In deze kleine ecotoop is veelal sprake van aanvoer van licht gebufferd grondwater, waardoor verzuring door N-depositie meestal geen rol speelt. Wel kan vermesting door stikstoftoevoer een groot probleem zijn. Bij lage depositiewaarde (< 5-

10 kg N $ha^{-1}$ $jaar^{-1}$) blijft de stikstofbeschikbaarheid in het systeem laag door de efficiënte opname van stikstof door de veenmosvegetatie. Bij een toenemende N-depositie kan de veenmosvegetatie uiteindelijk niet al het stikstof meer vastleggen, het „veenmosfilter" is dan verzadigd geraakt met stikstof (>5-10 kg N $ha^{-1}$ $jaar^{-1}$) (Bobbink & Hettelingh 2011, Jansen e.a.l, 2012; Lamers e.a., 2000). Er komt dan in het bodemvocht steeds meer stikstof, die dan beschikbaar komt voor vaatplanten, zoals Veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en berken (Tomassen e.a. 2003a; Limpens e.a. 2003a) waardoor vooral oligotrafente veenmossen worden verdrongen. Het strooisel van vaatplanten breekt bovendien gemakkelijker af dan dat van veenmossen, waardoor de hierin vastgelegde nutriënten weer sneller beschikbaar komen (Limpens & Berendse, 2003; Bragazza e.a., 2012). Op deze manier ontstaat een positieve terugkoppeling, die leidt tot een nog grotere dominantie van ongewenste vaatplanten. Ook het verdwijnen van korstmossen (*Cladonia*-soorten) in Nederlandse hoogvenen kan mede worden toegeschreven aan de hoge depositie van stikstof- en zwavelverbindingen (Tomassen e.a. 2004; Smolders e.a. 2004);
- Instroming van voedselrijk grond- en oppervlaktewater vanuit de omgeving. Dit is het geval indien het inzijggebied van de schijnspiegelvennen wordt beïnvloed door landbouwactiviteiten. Mogelijk heeft vroegere bosbemesting ook een rol gespeeld in de eutrofiëring ;
- Grote aantallen broedende of pleisterende vogels. Tot in de jaren 1980 betrof het vaak meeuwenkolonies (Bakker et al., 1986), tegenwoordig kunnen grote aantallen ganzen zorgen voor sterk verhoogde toevoer van nutriënten (N en P!) naar deze voorheen zeer voedselarme veentjes of vennen (guanotrofie). Dit is in veel situaties nu een ernstige bedreiging in het, voorheen, oligotrofe, nat zandlandschap (mond. med. meerdere terreinbeheerders).

*Verzuring*
- Verzuring/uitloging van de dekzandruggen onder invloed van zure depositie en stapeling van zuur (naald)strooisel, waardoor er calciumarmer (meer uitgeloogd) grondwater naar de kwelzone stroomt. Het gevolg is dat er minder organische stof zal worden afgebroken, waardoor het kooldioxidegehalte van het water in de laagte zal dalen. Dit betekent dat de omstandigheden voor veenmosgroei en de kenmerkende soorten in de kwelzone minder gunstig worden (Lamers e.a., 1998; Van Kleef e.a., 2007);

*Beheer*
- Door verdroging kan de opslag van houtige gewassen in de kwelzone zijn toegenomen. Soms zijn schijnspiegelvennen na (geringe) ontwatering dicht gegroeid met struweel en/of verbost omdat het verwijderen van struiken en bomen uit het ven tijdrovend en kostbaar is. De aldus toegenomen verdamping heeft de grondwaterstanden verder doen dalen.

### 6.1.5 **Herstelmaatregelen**

**Ervaringen met al uitgevoerde herstelmaatregelen (beheer)**
Op het Dwingelderveld is de nodige ervaring opgedaan met herstelmaatregelen. Vanaf midden jaren tachtig zijn op basis van

landschapsecologisch onderzoek de eerste vernattingsmaatregelen getroffen (Bakker et al., 1986). De eerste maatregelen betrof het dichten van drainerende greppels en sloten in de randen. Na de eerste positieve ervaringen zijn deze maatregelen ook in veel andere veentjes doorgevoerd. Vervolgens zijn in de jaren negentig van de vorige eeuw in drainerende laagten en in de geulen sloten gedicht of zijn stuwen geplaatst en zijn de laagten en zandruggen ontdaan van bos. Daardoor is een wezenlijke vernatting opgetreden. Everts e.a. (2005) evalueerden na ca. 20 jaar daarvan de eerste (succesvolle) resultaten, waarbij vooral in veentjes waar de toestroom van grondwater is versterkt, de hoogveengroei op een succesvolle wijze regenereert. Dergelijke maatregelen zijn inmiddels ook uitgevoerd in andere boswachterijen van Staatbosbeheer in Drenthe zoals Smilde en Appelscha en Grolloo. Ook daar zijn inmiddels goede resultaten te zien van een zich herstellende hoogveenontwikkeling. Een mooi voorbeeld vormt het Grolloërveen waar vooral de initiaalfase van de hoogveenontwikkeling weer zeer vitaal is en het grootste deel van het veen beslaat, terwijl het in 1991 het veen nog werd beschreven als een grotendeels ontwaterd hoogveencomplex. Een kwelzone kwam daarin niet voor en ontwikkeling van deze zone doet zich nog niet voor, hoewel ruggen in de omgeving wel potenties daarvoor aangeven (Everts, 1991).

Ook elders zijn er positieve ervaringen met herstelbeheer, zoals langs het Moseven (Hoogerheide) waar een greppel is gedicht die water van een hoger gelegen laagte afvoerde naar het ven. Hierdoor is een uitgebreide kwelzone ontstaan op de hoge venrand, en permanent water in de hoger gelegen laagte. Op de kwelzone is bos afgezet en geplagd, waardoor zich nu een soortenrijke natte heide ontwikkelt met o.a. Beenbreek en veel Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) (mond. med. E. Brouwer).
Langs de Botersnijder (Overasselt) is bos gekapt in het inzijggebied. De kwel is aanzienlijk toegenomen in kwantiteit en waarschijnlijk ook kwaliteit, waardoor Beenbreek, Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*), Dof veenmos (*Sphagnum majus*) en hoogveenvegetaties zich sterk uitbreiden (mond. med. E. Brouwer).

**Overzicht noodzakelijke herstelmaatregelen in relatie tot knelpunten**
In kwelzones heeft het bestrijden van verdroging prioriteit. Vanwege het voorkomen van slecht doorlatende lagen zijn de antiverdrogingsmaatregelen allereerst van lokale aard d.w.z. in het veentje zelf of haar nabijheid. De meeste herstelmaatregelen staan reeds beschreven bij de kleine ecotoop Schijngrondwaterspiegelveentje en zijn ook voor de kwelzone van belang. We richten ons hier op maatregelen die in het bijzonder van belang zijn voor de kwelzone. Het zijn veelal maatregelen over een groter oppervlak die zijn gericht op het tegengaan van drainage of verdamping en vergroting van de waterberging en grondwaterinvloed. Welke combinatie van maatregelen het betreft, is afhankelijk van de situatie. Hierbij kan worden gedacht aan:

- op de dekzand- / stuifzandrug reliëf herstellend dempen van sloten en greppels, verwijderen van bos (ook in de laagte zelf), en herstellen van reliëf van de ruggen (aantasting door aanlegde wegen);
- verwijderen van wegen en paden (inclusief verhardingen) op de rand van vennen in de kwelzone. Zowel verharding als sterke betreding dan wel gebruik door mountainbikes kan leiden tot aantasting of erosie van de rand en minder toestroom van grondwater.
- weer verbinden van aangrenzende laagten die voor bosbouw door dammen of dijkjes van het oorspronkelijke veentje zijn afgescheiden. Indien deze laagten zijn ontwaterd, zie dan ook het volgende aandachtspunt;

- in aangrenzende laagten dempen van greppels en/of sloten en dichten van de kunstmatig gecreëerde afvoer;
- bij een te lage gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) in de ruggen is het noodzakelijk om in een ruimere omgeving de watergangen- en drainagestelsels aan te passen en bos te verwijderen. De aanpassingen zijn gericht op het verminderen van de afvoer van water uit de hogere gebieden. Daardoor blijven de grondwaterstanden in het voorjaar langer hoog, zakken de grondwaterstanden in de zomer minder diep weg, wordt de opbolling in de aangrenzende ruggen vergroot en treedt in het najaar/de vroege winter eerder inundatie van de laagten op.
- waar dit kan de oppervlakte met open water en/of plas-dras situaties vergroten, bijvoorbeeld door een sterk verdroogde bovenste veenlaag te verwijderen. De bijbehorende hoge bergingscoëfficiënt werkt dempend op de (grond)waterspiegelfluctuaties (zie e.g. Von Asmuth e.a., 2011).

Al dit soort maatregelen zijn erg afhankelijk van de situatie ter plekke. Welke set aan maatregelen wordt genomen is afhankelijk van de gebiedsspecifieke constellatie. Daartoe dient te allen tijde nader onderzoek plaats te vinden. Hoe werkt het lokale systeem in samenhang met de geohydrologische opbouw?

Behalve verdroging is ook vermesting een regelmatig voorkomend probleem. Deze kan worden bestreden door aangrenzende voedselrijkere gronden te verschralen.

**Kennishiaten**
De stroming van het grondwater en de wijze van voeding van de kwelzone is met onderzoek aangetoond in het Dwingelderveld (Verschoor e.a., 2003, Von Asmuth e.a., 2011). De kwelzones maken daar deel uit van vennen of veentjes die in geulsystemen liggen op de keileem. Hoe voeding onder andere geologische omstandigheden elders in ons land plaatsvindt is zelden met onderzoek onderbouwd (Jansen e.a., 2008). Dit geldt bijvoorbeeld voor de vennen of veentjes die gevoed worden uit stuwwallen, of in situaties waar geen keileem direct in de ondergrond aanwezig is, maar andere ondoorlaatbare lagen.
Een belangrijk kennishiaat is hoe aangetast reliëf op zodanige wijze hersteld kan worden dat het hydrologisch weer zo functioneert als voorheen. Het is bij reliëfherstel van belang dat de doorlatendheid van dekzand wezenlijk afhangt van de richting waarin het water doorstroomt. Dit verschijnsel wordt anisotropie genoemd. De horizontale doorlatendheid kan daarbij goed een factor 10 groter zijn dan de verticale. De achtergrond daarvan wordt gevormd door zowel minder doorlatende laagjes, maar mogelijk ook de sortering van de zandkorrels. Dekzand en stuifzand zijn eolische afzettingen waarbij zand in laagjes is afgezet. Ook deze gelaagdheid kan bijdragen aan een betere horizontale doorlaatbaarheid. Bij herstel van aangetast reliëf dient met deze eigenschappen rekening gehouden te worden en de situatie weer zo veel als mogelijk gereconstrueerd te worden. Immers de horizontale doorlatendheid is van belang voor de voeding van de kwelzone van schijngrondwaterspiegelveentjes. De wijze waarop dit reliëfherstel moet worden uitgevoerd is een belangrijke kennislacune waarbij bijvoorbeeld geleidelijk opspuiten van zand een optie lijkt.
Verder is de rol van veranderingen in de concentraties van bufferstoffen (mineralen Ca, Mg, Fe) in het toestromende kwelwater voor het functioneren van de karakteristieke flora en fauna nauwelijks gekwantificeerd, waarbij effecten op de chemische plantkwaliteit – bijvoorbeeld nutriëntenonbalans – ook kunnen doorwerken op hogere trofische niveaus.

### 6.1.6 **Slot**

**Synthese**
De kwelzones maken deel uit van veentjes of vennen met een schijngrondwaterspiegel. De zone is te herkennen aan soorten zoals Beenbreek, Wilde gagel, Waterdrieblad, Draadzegge, Drijvende egelskop, Veenbloembies, Wateraardbei, Duizendknoopfonteinkruid, Vlottende bies, Klein blaasjeskruid en (in het verleden) ook Veenmosorchis. De soorten duiden op een zwakke buffering en een iets verhoogd aanbod van voedingsstoffen. De kwelzones bevinden zich in de regel op plaatsen waar dekzandruggen aan het ven of veentje grenzen. Deze instroom is niet alleen van belang voor de kwelzone maar ook voor de hoogveengroei van het veentje zelf.

In Drenthe is het type veentje met kwelzone veelal gebonden aan geulsystemen in het landschap waarin slecht doorlatende lagen aanwezig zijn in de vorm van (kei)leem in combinatie met organische lagen. Deze zorgen vooral in natte perioden voor een grondwaterstroom in het zandpakket boven de geul en voeding van de kwelzone. Elders dragen andere vormen van reliëf bij aan de toestroom van grondwater.

Verdroging vormt één van de grootste knelpunten van de kleine ecotoop. Dat uit zich in het optreden van vegetatiedegradatiereeksen waarin rompgemeenschappen en gefragmenteerde gemeenschappen de overhand hebben. De veenvorming stagneert niet alleen doordat de grondwaterstanden gedaald zijn, maar ook doordat onder zulke omstandigheden minder $CO_2$-rijk grondwater kan toestromen. Door verdroging gaan ook de kenmerkende soorten van de kwelzone achteruit. Meest gevoelige soorten daarin lijken naast Beenbreek, Drijvende egelskop en Veenmosorchis, ook Veenbloembies en Duizendknoopfonteinkruid.

Voor behoud en herstel is inzicht nodig in de mate van verdroging en de achtergrond van de verdroging, waarbij zowel kwalitatieve als kwantitatieve aspecten van het grondwater van belang zijn. Van belang daarbij is ook dat kwelzones in vennen of veentjes naar verhouding weinig voorkomen. De vraag daarbij is of dat het gevolg is van verdroging of een natuurlijk gegeven is. Een scala aan maatregelen kan worden getroffen om de verdroging te bestrijden. Deze hebben vooral betrekking op herstel van geomorfologie (reliëfherstel) en hydrologie in de directe en wijdere omgeving van het veentje met kwelzone. Versterking van de toestroom van grondwater heeft op meerdere plaatsen al wel geleid tot herstel.

**Conclusies**
De kwelzone van schijngrondwaterspiegelveentjes omvat plantengemeenschappen en soorten die een hoge natuurwaarde vertegenwoordigen. Verdroging vormt een van de belangrijkste bedreigingen van de kleine ecotoop. De verdroging komt voort uit het landgebruik en inrichting in de reservaten als ook in de wijdere omgeving. Veel maatregelen kunnen worden genomen om de kleine ecotoop te herstellen. Inmiddels is daar de nodige ervaring opgedaan welke maatregelen succesvol zijn.

Reliëfherstel lijkt als maatregel een interessante optie die nader onderzocht moet worden, maar die naar verwachting meer effect zal hebben dan zuiver afdammen van sloten en het laten bestaan van doorgravingen in voedende ruggen.

## 6.2 Lekzones van schijngrondwaterspiegelvennen

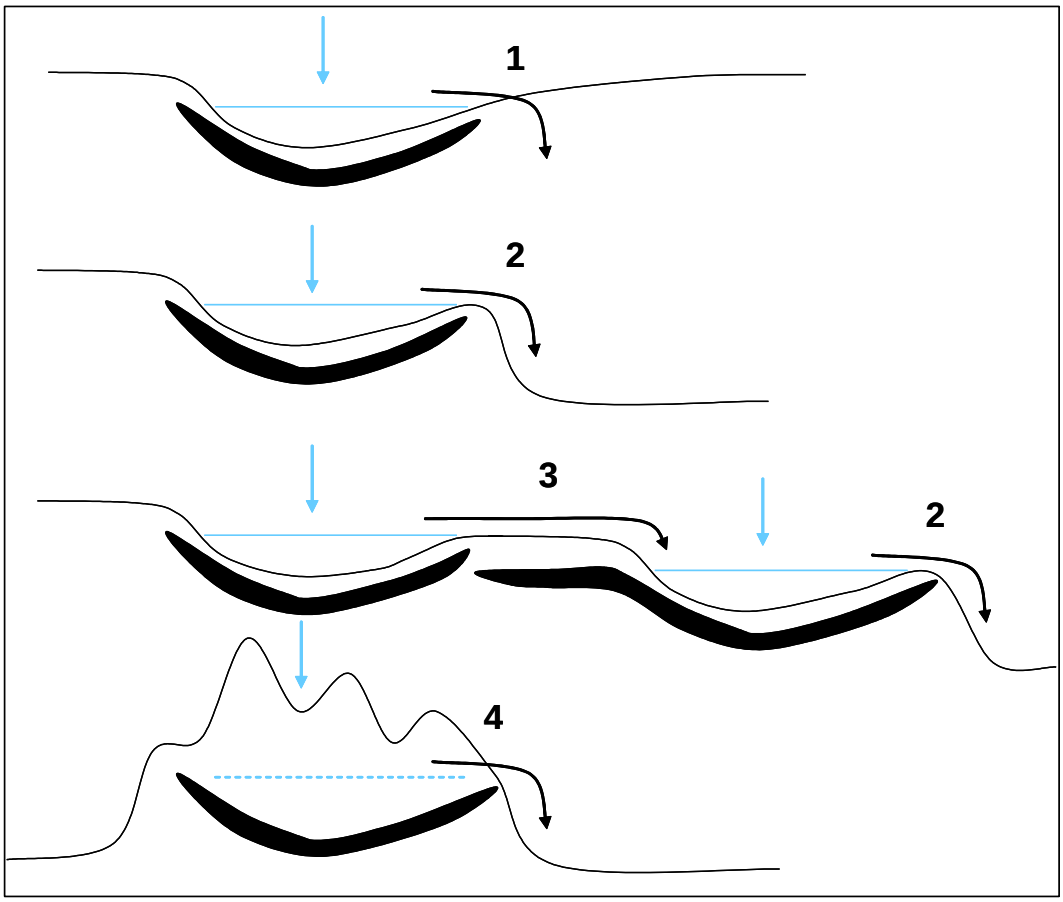
### 6.2.1 Indeling

De lekzones maken deel uit van veentjes of vennen met een schijngrondwaterspiegel (zie bijlage 1). De schijnspiegel ontstaat doordat onder het ven een slecht doorlatende laag aanwezig is in de vorm van een gliede, een waterhardlaag of verkitte B-horizon, placic horizont (zie Jansen e.a., 2008) of een leemlaag. Ook kunnen een gliede en een verkitte B-horizon samen voorkomen (Verschoor e.a., 2003). De waterstand in het ven is (nagenoeg) onafhankelijk van de grondwaterstand van het omringende landschap. Schijngrondwaterspiegelveentjes of -vennen worden hoofdzakelijk gevoed door regenwater. Het zijn als het ware soepborden in het landschap waarin regenwater zich verzamelt en die, in perioden met een neerslagoverscho, via oppervlakkige afvoer (zowel over het oppervlak als in de wortelzone) water verliezen naar de omgeving. De hoogste standen in het ven worden door de drempelwerking afgetopt waardoor de fluctuaties in het ven beperkt zijn tot 30-40 cm. De plaatsen waar het ven water verliest zijn de lekzones, de onderhavige kleine ecotoop. De zone ligt op de rand en buiten de zone van het ven waar de slecht doorlatende laag aanwezig is. Ze kan evenwel boven de slecht doorlatende laag van een ander ven voorkomen, als twee vennen naast elkaar liggen.

De omvang van de lekzone is zowel afhankelijk van de grootte van het ven (meer invang van neerslag bij grotere oppervlakte) als ook van de wijze waarop het water het ven verlaat. De lekzone kan verschillende gedaantes hebben. In veel systemen ontbreekt ze schijnbaar, omdat de overloop van "het soepbord" zich wat dieper en buiten het bereik van de wortelzone bevindt en waarbij het percolerende water direct naar de ondergrond infiltreert (situatie 1). Een andere situatie is waar de waterstroom over het maaiveld of door de wortelzone stroomt. Dit zien we veelal op plaatsen waar vennen grenzen aan laagtes en waarbij op de venrand een steilrand aanwezig is (situatie 2). Hier komt het afstromend water dus in het maaiveld of in de wortelzone en kan zo de vegetatiesamenstelling beïnvloeden. We onderscheiden vier situaties met lekzones (Figuur 6.8):

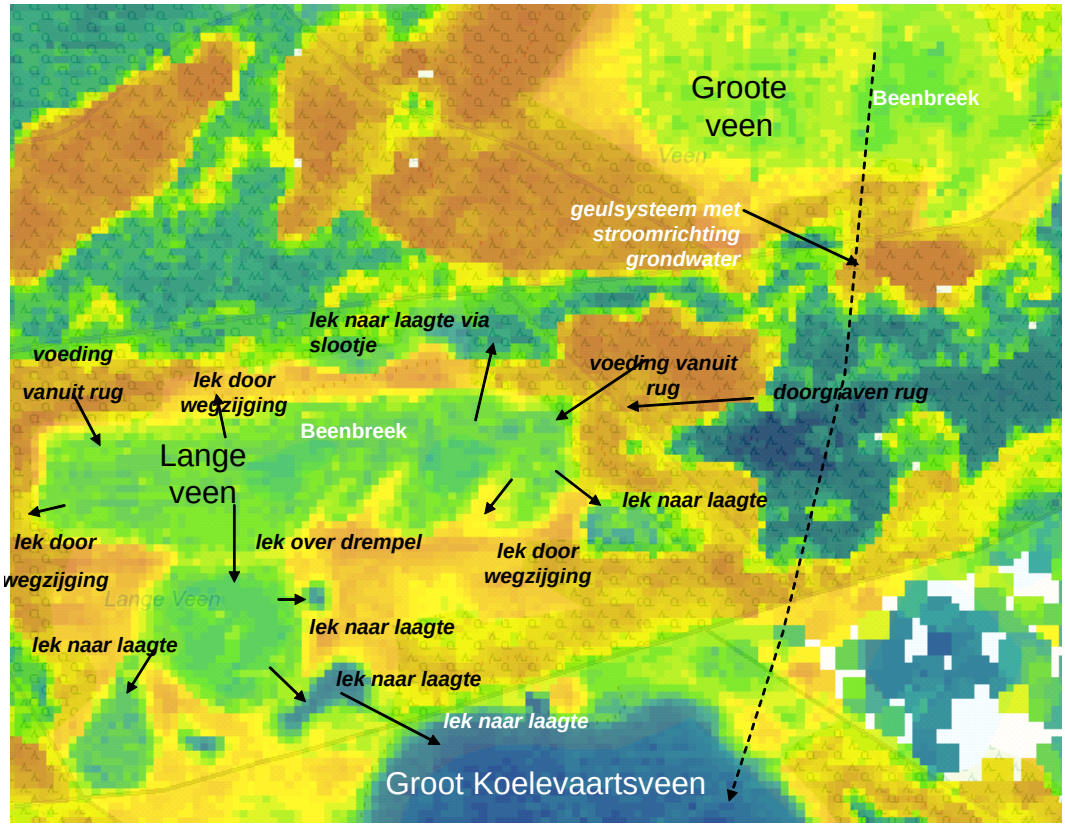
1. lekzone met inzijging: de lekzone bestaat alleen uit de venrand. Het water infiltreert direct buiten de rand naar de ondergrond;
2. lekzone op venrand met helling en laagte: de lekzone bestaat uit de venrand met aangrenzende helling en laagte. Er zijn in principe allerlei overgangen tussen type 1 en 2. Soms zien we zowel bij situatie 1 als 2 soorten van vochtige omstandigheden binnen een droge vegetatie;
3. lekzone op drempel: een lekzone tussen nabij gelegen vennen;
4. lekzone op helling fort: de lekzone omvat de helling van een fort in de vorm van overstoven schijngrondwaterspiegelveentjes.

Situatie 2 en ook 3 vinden we veelal in reliëfrijke gebieden. Hier stroomt het water over het oppervlak of door de ondiepe bodem waarbij infiltratie wordt belemmerd door de slecht doorlatende lagen van beide vennen die elkaar raken dan wel overlappen. Op de helling van forten (situatie 4), vindt opbolling van het grondwater plaats in het stuifzandpakket op het overstoven schijngrondwaterspiegelveentje met zijn slecht doorlatende lagen en is de lekzone op de helling de enige natte plek aan de oppervlakte van het systeem (Figuur 6.10). Deze situatie 4 wordt ook wel stuifzandveen genoemd en komt op de Veluwe (Kootwijk) op meerdere plaatsen voor (Bijlsma e.a., 2011). In figuur 6.8 is het functioneren van de vier typen lekzones schetsmatig weergegeven.




*Figuur 6.8: Vier situaties van de lekzone. (1: lekzone met inzijging; 2: lekzone op venrand met helling en laagte, 3 lekzone op drempel, 4: lekzone op helling Fort)*

*Figure 6.8: Four situation in the leakage zone. 1) leakage zone with infiltration; 2: leakage zone on the edge of a fen with a slope and a depression 3) leakage zone on a threshold, 4: leakage zone at the slope of a fortress.*




*Figuur 6.9: Verschillende lekzones rond het Lange veen op het Dwingelderveld. Naar Verschoor e.a. 2003. In zowel het Groote veen als het Lange veen komt Beenbreek (Narthecium ossifragum) voor in zowel de Lekzone als Kwelzone.*

*Figure 6.9: A number of leakage zones around the Lange veen at the Dwingelderveld (Verschoor e.a. 2003). Both in the Groote veen and Lange veen* Narthecium ossifragum *occurs.*

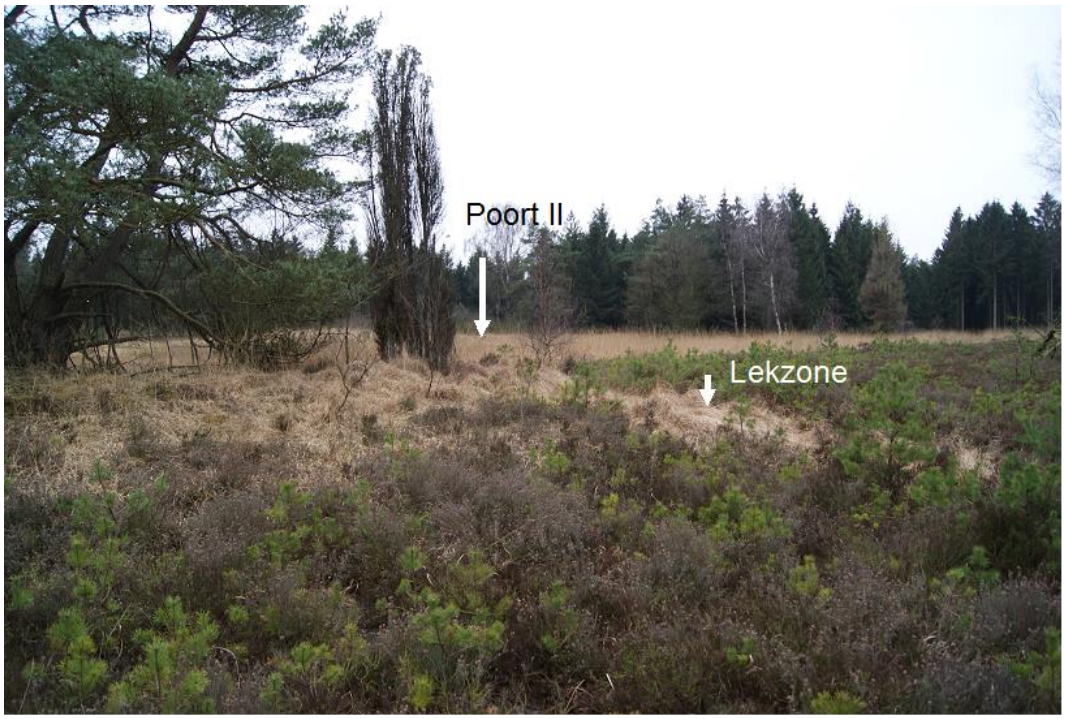
*Figuur 6.10: Lekzone (type 4) met veenmos op de helling van een Fort op het Dwingelderveld (foto Henk Everts).*

*Figure 6.10: Leakage zones with sphagnum on the slope of a fortress at the Dwingelderveld (photo Henk Everts).*

De schaal van de lekzone is in het algemeen klein en varieert van enkele vierkante meters tot één of enkele ares. Zoals figuur 6.8 laat zien is de omvang zowel afhankelijk van het reliëf als van de hoeveelheid water die afstroomt. Deze hoeveelheid is op haar beurt gerelateerd aan de omvang van het ven of veentje. De lekzone is een bijzondere kleine ecotoop met bijzondere planten en vegetaties. In de praktijk staan ze onder druk en zijn ze vaak verstoord.

**Aansluiting bij andere indelingen**
De kleine ecotoop wordt in de literatuur niet beschreven. Binnen de systematiek van Natura 2000 maakt ze onderdeel uit van het Habitattype H7110B Actieve hoogvenen (heideveentjes) of (H7130) Zure vennen.

**Plantengemeenschappen**
De vegetatiesamenstelling van de lekzones is afhankelijk van het type zone. Bij het eerste type waarbij uittredend water direct infiltreert bestaat de vegetatie veelal uit een relatief vochtige droge heide (20AA01 *Genisto anglicae-Callunetum*) met Struikhei *(Calluna vulgaris)*, Dophei *(Erica tetralix)*, Trekrus *(Juncus squarrosus),* Gewone veenbies (*Trichophorum cespitosum*) en Blauwe zegge *(Carex panicea).* Daar waar het stromende water nog een zekere invloed heeft zien we vaak banen met Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) of Trekrus (*Juncus squarrosus*) in de heidevegetatie. Als het water over het oppervlak afstroomt of de wortelzone beïnvloedt, zien we een scala aan vochtige tot natte heidevegetaties. De vegetatiesamenstelling kan uiteenlopen van Pijpestrootjevegetaties met veenmos (10RG04 *RG Molinia caerulea-Sphagnum*), al of niet veenmosrijke natte heide (11AA02 *Ericetum tetralicis*) naar soortenrijkere natte heiden met Beenbreek (RG *Narthecium ossifraga-[Oxycocco-Sphagnetea*]). In dergelijke situaties komt vaak Trekrus (*Juncus squarrosus*) voor en bij sterke stroming Veldrus (*Juncus acutiflorus*). In het verleden kon ook Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*) in deze zone worden aangetroffen. Bij een open structuur zien we vaak de pioniergemeenschap van Moeraswolfsklauw en Snavelbies (11AA01 *Lycopodio-Rhynchosporetum*). Ook kan de lekzone zich ontwikkelen tot struweel en bos. Kenmerkende vegetaties zijn hier Gagelstruweel (11RG03 RG *Myrica gale-[Oxycocco-Sphagnetea*]) (zie ook H7) en het Zompzegge-Berkenbroek (40Aa2 *Carici curtae-Betuletum pubescentis*) (zie ook H8) (Figuur 6.12). Waar de lekzone reikt tot in de aangrenzende laagte en waar (kei)leem stagnerend werkt kan een bijzondere vegetatie worden aangetroffen. In een laagte nabij Kliplo op het Dwingelderveld komen bijvoorbeeld veenmosbulten voor met Slank veenmos (*Sphagnum fallax*). De vegetatie bestaat hier uit een dennenbos waar in de ondergroei Kraaiheide *(Empetrum nigrum)* het aspect bepaalt.




*Figuur 6.11: Lekzone (type 1 (2)) met Pijpenstrootje, Beenbreek en Gewone dophei in de rand van Poort II op het Dwingelderveld (foto Henk Everts)*

*Figure 6.11: Leakage zones (type 1) with* Molinia caerulea*,* Narthecium ossifragum *and* Erica tetralix *at the edge of Poort II at the Dwingelderveld (photo Henk Everts).*

*Figuur 6.12: Lekzone (type 2) met Berkenbroek op de rand van Kliplo (plas is op de achtergrond) op het Dwingelderveld (foto Henk Everts).*

*Figure 6.12: Leakage zone (type 2) with Birch-dominated swampy woodlands on the edge of Kliplo (pond at the background) (photo Henk Everts).*

*Figuur 6.13: Lekzone (type 3) tussen twee vennen van het Lange veen op het Dwingelderveld. In deze lekzone komt het Lycopodio-Rhynchosporetum voor (foto Henk Everts). Zie ook figuur 6.9, links ligt het noordelijke ven, rechts het zuidelijke ven.*

*Figure 6.13: Leakage zone (type 3) in between two fens of the Lange veen at the Dwingelderveld. In this leakage zone* Lycopodio-Rhynchosporetum *occurs (photo Henk Everts). The fen in the north is situated on the left, the fen in the south is situated on the right of this figure. Notice figure 6.9.*

### 6.2.2 Natuurwaarden van lekzones

**Flora en vegetatie**

In goed ontwikkelde vorm zien we in de lekzone vaak Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Bruine snavelbies (*Rhynchospora fusca*), Kleine zonnedauw (*Drosera intermedia*), Moeraswolfsklauw (*Lycopodium inundatum*), Trekrus (*Juncus squarrosus*), Gewone veenbies (*Trichophorum cespitosum*), Heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*), Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Gewone dophei (*Erica tetralix*), Tormentil (*Potentilla erecta*), Blauwe zegge (*Carex panicea*), Kruipwilg (*Salix repens*) en in het verleden soms ook Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*). Dit zijn veelal soorten uit het natte heischrale milieu die naast de goede hydrologische omstandigheden ook wat buffering van het bodemvocht nodig hebben. Daarnaast kan men op dit type standplaats verschillende veenmossen verwachten. Te denken valt aan Slank veenmos (*Sphagnum fallax)*, Kussentjesveenmos (*S. compactum)*, Zacht veenmos (*S. tenellum*), Glanzend veenmos (*S. subnitens*) en Week veenmos (*S. molle*). Als de zone bestaat uit struweel en broekbos treden naast Wilde gagel en Berk vaak veenmossen op als Gewimperd veenmos (*Sphagnum fimbriatum*), Gewoon veenmos (*S. palustre*) en Slank veenmos en mossen als Breekblaadje (*Campylopus pyriformis)*, Gewoon sterrenmos (*Mnium hornum*) en Gewoon peermos (*Pohlia nutans*). Op de helling van forten zien we veenmossen als Slank veenmos binnen een droge tot vochtige heide.

**Paddenstoelen**
Op plekken waar gedurende een groot deel van het jaar water stroomt naar de lekzone, ontstaat een abiotische situatie die sterk overeenkomt met die van de kwelzones van deze veentjes of vennetjes. De samenstelling van de paddenstoelenbegroeiing is daarom ook helemaal vergelijkbaar met die van de kwelzones: de rijkdom is doorgaans gering en macrofungi zijn ook hier beperkt tot de drogere, terrestrische delen. Voor aanvullende details, zie het gedeelte over kwelzones (par 6.2).

**Fauna**
De fauna van de lekzone is vergelijkbaar met die van het schijnspiegelven of -veentje. Voor een beschrijving daarvan verwijzen we naar bijlage 1.

### 6.2.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Standplaatscondities**
In een situatie waarbij de lekzone bestaat uit natte heide omspant de zuurgraad een traject van matig zuur tot zuur met een pH-$H_2O$ < 5,5. Veelal ligt de pH boven de 4,2 met duidelijk meer basische kationen als in droge of natte, zure heide (De Graaf e.a., 2009). De vochtigheid van de lekzone is afhankelijk van het type en de toevoer van afstromend venwater. Zo komen zowel relatief droge als vochtige vormen voor die niet alleen samenhangen met de 4 lekzone-situaties maar ook met de hoeveelheid afstromend water. Er kan ook een grote variatie in vochtvoorziening over het jaar optreden. Sommige zones zijn maar een korte periode nat, andere voor een langere tijd en vallen alleen in neerslagarme perioden droog. Het water heeft vooral het karakter van regenwater, maar ook enige aanvoer met basische kationen treedt op zolang de lekzone nog niet totaal verzuurd is (De Graaf e.a., 2009). Het ondiepe grondwater dat afstroomt uit schijnspiegelvennen heeft een hoog gehalte aan koolzuur. Waar dit water van invloed is op de wortelzone ontstaat een hoger aanbod van koolstof in de vorm van $CO_2$ dat via afbraak van organisch materiaal in het ven en met grondwater wordt aangevoerd. Vooral veenmossen profiteren daarvan (Tomassen e.a., 2003).
Voor lekzones die begroeid zijn met Wilde gagel gelden in principe de zelfde standplaatscondities.Voor het Berkenbroek zijn de standplaatscondities matig zuur en zeer nat tot nat, terwijl de bodem voedselarm tot matig voedselarm is. De iets hoger trofiegraad, ook bij niet verdroogde situaties, is toe te schrijven aan wat hogere mineralisatie van geaccumuleerde organische stof, dat in deze systemen wat makkelijker afbreekbaar is dan meer hoogveensituaties (Hoofdstuk 8).

**Sleutelprocessen**
Hydrologisch gezien is sprake van een doorstroomsysteem waarbij toestromend water uit het ven over het maaiveld of door de wortelzone van de lekzone stroomt. De vochtigheid en omvang van de kleine ecotoop is zowel afhankelijk van het karakter van de lekzone als van het hoeveelheid water die afstroomt. Dat laatste is wederom afhankelijk van de omvang van het ven, die de hoeveelheid ingevangen neerslag bepaalt, en de verdamping die daarin optreedt. Peilfluctuaties zijn derhalve relatief groot in alle typen van de lekzone. De lekzone van type 1 is het relatief het droogst, terwijl de andere 3 typen in de regel wat natter zijn maar desondanks sterk variëren in vochtigheid en omvang. Van de 3 nattere situaties kan de helling van forten ook lang droogvallen.
Bij voldoende hoog aanbod van water omvat de lekzone zowel uit de bovenkant als de helling van de venrand, terwijl veelal ook nog een natte

zone in de aangrenzende laagte wordt aangetroffen. De lekzone op de helling van forten is in de regel klein van omvang, hoewel in Kootwijk een zone van ca. 50 m bekend is (Bijlsma e.a., 2011). Alle typen lekzones drogen in de regel oppervlakkig uit in neerslagarme perioden, echter zonder dat dit leidt tot het verdwijnen van de kenmerkende vegetatie. Bij de forten zien we dat de veenmosbegroeiing in de lekzone van jaar op jaar in omvang kan verschillen. Dit geldt ook voor de laagten die deel uitmaken van de lekzone. Overigens kan de veenmosvegetatie van forten langdurig stabiel aanwezig zijn: zo is van Kootwijk bekend dat deze situatie al meer dan 60 standhoudt (Bijlsma e.a., 2011).
In de bodem van de lekzones kunnen zich door de sterke grondwaterbeweging geen toxische concentraties van anaërobe verbindingen ophopen, zoals ammonium, sulfide en gereduceerd ijzer. Waarschijnlijk is dit een essentiële voorwaarde voor het voorkomen van de meest kenmerkende soorten, zoals Wilde gagel en Beenbreek (Scherpenisse-Gutter e.a., 2009, Brouwer, 2011).

**Landschappelijke relaties**
De standplaatsfactoren zijn gerelateerd aan de ligging van de lekzone op de overloop van het schijngrondwaterspiegelveentje. Bij de lekzone met inzijging bestaan de hogere delen ofwel uit dekzand of uit (voormalig) stuifzand. Bij de andere typen is dit vergelijkbaar. De laagten bestaan hier veelal uit uitgestoven vlaktes in stuifzandgebieden, waar in Noord Nederland ook keileem aan het oppervlak kan liggen. Als de keileemvlaktes worden omgeven door bossen zijn ze veelal begroeid met vochtig droge heiden, vaak met een aspect van Kraaiheide (*Empetrum nigrum*). Lekzones die overgaan in een laagte met keileem hebben een afwijkende vegetatiesamenstelling, waarbij soorten als Blauwe zegge en Kruipwilg vaker voorkomen. Bij voldoende aanbod van water kunnen ook veenmossen tot ontwikkeling komen.

De omvang en vochtigheid van de lekzone is sterk afhankelijk van de omvang en het functioneren van het ven of veentje waar ze deel van uit maakt. De omvang van het veentje bepaalt de mate van invang van regenwater. Ook kunnen de hydrologische condities in het ven beïnvloed worden door instroom van grondwater uit de omgeving. Bij ontwatering van vennen of veentjes door sloten in de venrand zal de vegetatie van de lekzone veel gelijkenis vertonen met het type met inzijging (situatie 1). De lekzone verschuift naar de randzone binnen de contouren van de stagnerende (gliede)laag. Het stromende water is in dergelijke zones naar verwachting nauwelijks nog van invloed op de betreffende vegetatiesamenstelling.

**Menselijke invloed**
Op veel plaatsen is de lekzone niet goed ontwikkeld en aangetast door allerlei recente en historische invloeden van de mens.

De veentjes werden in het verleden gebruikt voor vervening waarbij turf werd gewonnen of ze werden gebruikt in de boekweit-brandcultuur. Daartoe werden ze ontwaterd. Dat heeft ook gevolgen gehad voor de lekzones. Ze verdroogden niet alleen daardoor, ook werden de drainerende en afvoerende sloten vaak door de lekzone gegraven omdat dit de laagste plaatsen in de venrand zijn. Lekzones zijn immers het meest eenvoudig te ontwateren. De geomorfologische en bodemkundige opbouw werd zo sterk verstoord. In de jaren tachtig van de vorige eeuw waren sloten in lekzones in de vele veentjes van Drenthe nog alom aanwezig. Bij wijze van spreken was er geen veentje zonder sloot (Everts & de Vries, 1988, 1990; Everts, 1991). Inmiddels zijn in deze provincie veel van deze sloten afgedamd met het doel de

waterhuishouding van het ven of veentje te herstellen. Daarbij is er weinig aandacht geweest voor de lekzone zelf.

Naast vergraving van de lekzone zien we ook vaak dat ze wordt doorsneden door wegen en paden. Wegen kunnen de lekzone, als ze op een verhoging liggen, blokkeren. Daardoor werkt zij nog onvoldoende en is de feitelijke zone komen te liggen op de weg die bij hoge standen van het veentje overstroomt. Als de lekzone wordt doorsneden door paden kan ernstige verstoring optreden door betreding, waarbij zand met het afstromende water wegspoelt naar de aangrenzende laagte. Dit kan niet alleen gevolgen hebben voor de kwaliteit en vegetatiesamenstelling van de kleine ecotoop zelf, maar er is ook een risico dat de slecht doorlatende laag aan de oppervlakte komt en wordt aangetast, wat verdroging van het ven kan veroorzaken. Een ander fenomeen is dat op de rand van het ven soms verharde voet- en rijwielpaden zijn aangelegd. Daardoor zijn ecologische waardevolle lekzones verdwenen ofwel sterk in omvang beperkt. Tenslotte kan ook de aangrenzende laagte door sloten en bosopstand verdroogd zijn, zodat de lekzone daar in omvang en kwaliteit negatief door wordt beïnvloed.

Ook de lekzones van forten kunnen door de mens zijn beïnvloed. Soms komen op het fort greppels voor die de infiltratie beperken. Een ander type verstoring zijn vergravingen op de randen, bijvoorbeeld voor de aanleg van wegen. Stuifzandforten en hun randen kennen vaak een begroeiing met dennen. Mogelijk kan de nog functionerende slecht doorlatende laag door boomwortels worden aangetast, maar hier is geen evidentie van bekend. Een extensief beheer, gericht op verjonging van het dennenbos lijkt in deze situatie voldoende voor het behoud van de lekzones met veenmossen op deze forten. Kap van bomen lijkt een maatregel die hooguit zeer selectief moet worden toegepast (Bijlsma e.a., 2011).

### 6.2.4 **Voorbeelden van locaties met lekzones**

- Friesland: Schaopedobbe (Elsloo);
- Drenthe: Dwingelderveld: Lange ven, Kliplo, Poort II, Reigersplas (Verschoor e.a., 2003); Boschoord (Jansen e.a., 2010);
- Overijssel: Boswachterij Ommen en Hardenberg, Zeesserven, Besthmenerven, Dodeven (Everts e.a., 2011);
- Gelderland: Overasseltse en Hatertse vennen; boswachterij Kootwijk (Bijlsma e.a., 2011); Deelensche Veld (Hoge Veluwe; Jansen e.a., 2009);
- Noord-Brabant: Vresselsche Bosch, Leenderbosch, Hasselse vennen.

### 6.2.5 **Bedreigingen en aantastingen**

Veel van de bedreigingen en aantastingen hangen direct samen met het die van de kleine ecotoop schijngrondwaterspiegelveentje. Daarin heeft verdroging een prominente rol, zeker in relatie tot de lekzone. Specifiek voor de lekzone zelf vormen naast verdroging, betreding en doorgraving van de zone een bedreiging, evenals de aanleg van wegen en paden op of nabij de rand van het ven. Betreding leidt enerzijds tot degradatie van de vegetatie

van de zone waarbij kenmerkende en zeldzame soorten in het gedrang kunnen komen, anderzijds kan de erosie worden bevorderd waarmee de lekzone lager in de venrand komt te liggen en mogelijk zelfs de slecht doorlatende laag wordt aangetast. Ook de aanleg en verharding van paden en wegen door de lekzone kan leiden tot een ernstige aantasting. Daardoor verdwijnt niet alleen areaal van de lekzone, ook functioneert zij minder goed omdat door de aanleg van wegen (ophoging (dammen) en verharding) stagnatie van water kan optreden en in natte perioden meer water inundeert dan afstroomt.

Ook kunnen de lekzones zijn vergrast als gevolg van atmosferische depositie, al of niet in combinatie met verdroging.

**Knelpunten in kwaliteit**
De kwaliteit van de vegetatie in lekzones is zeer wisselend. Vaak is ze sterk vergrast met Pijpestrootje, of is ze op andere wijze soortenarm ontwikkeld. De oorzaak kan zowel de atmosferische depositie van Stikstof als verdroging zijn. Bij sterke betreding zien we vaak dat de lekzone kaal wordt.

**Verdroging**
De verdroging kent verschillende oorzaken. We gaan hier vooral in op verdroging die direct van invloed is op de lekzone, waarbij de indirecte factoren die werken op het veentje zelf, hier grotendeels buiten beschouwing worden gelaten. Een strikte scheiding is echter vaak moeilijk. We verwijzen derhalve ook naar de beschrijving van Schijngrondwaterspiegelveentjes in bijlage 1:

- Waterstandverlaging door het doorgraven van de venrand in de lekzone door greppels en sloten;
- Daling van de grondwaterstanden in de omgeving waardoor in de lekzone het water eerder infiltreert en niet meer afstroomt en op deze wijze de wortelzone beïnvloedt. Dit proces treedt op als gevolg van bijvoorbeeld:
    - drooglegging en verdamping in omliggende laagten (rabattenstelsels, begreppeling en diepe watergangen voor de bosbouw);
    - sloten en vergravingen in de ondiepe watervoerende pakketten van de geulsystemen alsmede de doorgraving van de verkitte B-horizonten. Het meest ingrijpend zijn vergravingen van de rand van het ven, waarbij de slecht doorlatende laag is aangetast en de stagnante situatie is verminderd of verdwenen;
    - Een verhoogde evapotranspiratie en interceptie van neerslag door aanplant van vooral dicht naaldbos in het inzijggebied van het lokale grondwater.

**Vermesting**
Vermesting kent verschillende oorzaken:

- Stikstofdepositie – Binnen de lekzone is de subassociatie met veenmossen van de associatie van Gewone dophei het meest gevoelig voor aanvoer van stikstof evenals de associatie van Moeraswolfsklauw en Snavelbies (11Aa01 (Bobbink & Hettelingh, 2011)). Door een stabiele waterstand is de bodem meer gereduceerd, waardoor de fosfaatbeschikbaarheid hoger is, zodat er bij stikstofverrijking minder beperkingen door fosfaatlimitatie optreden. Ook de hoeveelheid organisch materiaal is daarop van invloed. De verhoging van het stikstofgehalte in de planten maakt dat het strooisel ervan makkelijker afbreekt, waardoor de opgeslagen voedingsstoffen vrijkomen. Deze

standplaatsen kunnen daarom onder invloed van hoge atmosferische depositie in korte tijd dichtgroeien met Pijpenstrootje. Hierbij speelt ook een rol dat de stikstof vooral beschikbaar komt in de vorm van ammonium. Pijpenstrootje profiteert daarvan, in tegenstelling tot andere soorten die juist een toxische invloed ondervinden van ammonium. Pijpenstrootje heeft geen last van vergiftiging door hoge concentraties ammonium die ontstaan bij pH < 4,5, en is ook zuurresistent.

- Grote aantallen broedende of pleisterende vogels. Tot in de jaren 1980 betrof het vaak meeuwenkolonies (Bakker e.a., 1986), tegenwoordig kunnen grote aantallen ganzen zorgen voor sterk verhoogde toevoer van nutriënten (N en P!) naar deze voorheen zeer voedselarme veentjes of vennen (guanotrofie). Dit is in veel situaties nu een ernstige bedreiging in het, voorheen, oligotrofe, nat zandlandschap (mond. med. meerdere terreinbeheerders).
- Doordat lekzones een groot deel van het water uit het aangrenzende "soepbord" afvoeren, zijn ze vaak ook sterk belast met zwavel. In laagtes met aanzienlijke lekverliezen naar de ondergrond, wordt op deze manier ook veel zwavel afgevoerd, dat zich in het recente verleden door de jarenlange hoge S-depositie heeft opgehoopt in het ven. In laagtes met een goed waterkerende laag verloopt deze afvoer vooral via de lekzone. Dit sulfaat kan o.a. leiden tot versnelling van de afbraak van het aanwezige organisch materiaal in deze zone, waardoor fosfaat mogelijk meer gemobiliseerd wordt (Lamers, 2001).

**Verzuring**

- Oorspronkelijk kwamen veel soorten uit het natte heischrale milieu in deze lekzones voor, onder meer die uit de associatie van Moeraswolfsklauw en Snavelbies. Dit betekent dat de bodem licht gebufferd is. De gewenste zuurgraad voor het habitattype omvat alle pH-$H_2O$ waarden tussen 4,0 en 5,5 (De Graaf e.a. 1998) . Bij een daling van de pH naar waarden beneden 4,0 worden de condities suboptimaal waarbij kenmerkende soort gaan verdwijnen. Het is bekend dat plantensoorten van zwak gebufferde standplaatsen zoals bijvoorbeeld Heidekartelblad en Klokjesgentiaan achteruitgaan door bodemverzuring en verhoogde concentraties van ammonium, omdat daardoor zowel de kieming, vestiging als de groei verslechtert (Bobbink e.a. 1998; De Graaf e.a. 1998, 2009; Roem e.a. 2002; Kleijn e.a. 2008). De verzuring kan worden ingezet door grondwaterstanddaling waardoor minder water met de bufferende ionen door de lekzone stroomt. Maar ook de depositie van zwavel en stikstof hebben in het recente verleden sterk bijgedragen aan verzuring.

**Beheer**

- Zowel verharding als sterke betreding dan wel gebruik door mountainbikes kan leiden tot aantasting of erosie van de rand en tot minder beïnvloeding van de vegetatie door afstromend water. Intensieve betreding kan enerzijds leiden tot degradatie van de vegetatie van de zone waarbij kenmerkende en zeldzame soorten in het gedrang komen, anderzijds kan de erosie worden bevorderd waarmee de lekzone lager in de venrand komt te liggen en mogelijk zelfs de slecht doorlatende laag wordt aangetast. Ook de aanleg en verharding van paden en wegen door de lekzone kan leiden tot een ernstige aantasting. Daardoor verdwijnt niet alleen areaal van de lekzone, ook functioneert zij minder goed omdat door de aanleg van wegen (ophoging (dammen) en verharding) stagnatie van water kan

optreden en zij in natte perioden inundeert. Overigens kunnen weinig gebruikte paadjes ook zorgen voor een open structuur van de standplaats met kansen voor de vestiging van veenmossen. Dit is bijvoorbeeld het geval op de flanken van de verhoging waarin de Schaopedobbe (Elsloo) gelegen is (mond. med. E. Brouwer).

### 6.2.6 Herstelmaatregelen

**Ervaringen met al uitgevoerde herstelmaatregelen (beheer)**
Behalve dat drainerende slootjes al in veel situaties afgedamd zijn, is er weinig ervaring met het specifieke herstel van lekzones. Vooralsnog is er ook weinig specifieke aandacht voor. De genoemde herstelmaatregelen zijn (vrijwel) altijd genomen in het licht van herstel van het schijngrondwaterspiegelveentje of -ven zelf. Dat betekent dat de aanwezige sloot veelal is afgedamd en niet reliëfherstellend is gedicht. Vooralsnog heeft in het kader van dit project een eerste verkenning plaatsgevonden. Nader onderzoek is nodig om meer inzicht te krijgen in relevante herstel- en inrichtingsmaatregelen. Uit de huidige verkenning zijn vooralsnog de volgende herstelmaatregelen naar voren gekomen.

**Overzicht noodzakelijke herstelmaatregelen in relatie tot knelpunten**
Van het grootste belang is dat het afstromende water weer invloed krijgt op de wortelzone van de lekzone. Daarbij is van belang dat men inzicht krijgt van welk type lekzone sprake is, want de maatregelen en doelen zijn verschillend voor de verschillende situaties. Aan de volgende maatregelen kan worden gedacht:

- reliëf herstellend dichten van ontwateringsloten in de lekzones zelf, zo nodig gefaseerd in samenhang met de vernatting van het aangrenzende schijngrondwaterspiegelveentje;
- extensievering van betreding van de randzone van het ven op plaatsen waar een lekzone aanwezig is;
- verwijdering van verharding op plaatsen waar (niet meer functionerende) lekzones aanwezig zijn;
- dichten van rabattenstelsels, begreppeling en diepe watergangen voor de bosbouw in aanliggende laagten, zij die zowel deel uitmaken van de lekzone als liggen in de wijdere omgeving daarvan;
- plaggen van de lekzone wordt soms ook toegepast, zeker om de pioniersituatie van de zone te bevorderen en om de vestiging van veenmossen te bevorderen. Dit plaggen mag alleen kleinschalig en ondiep gebeuren. De organische laag mag daarbij worden verwijderd, maar de onderliggende zandlaag mag niet worden aangetast.

**Kennishiaten**
Er is nog weinig ervaring met herstel van deze kleine ecotoop omdat maatregelen binnen de ecotoop vooral waren gericht op herstel van de hydrologie van het ven of veentje zelf. Het is van belang dat een programma wordt opzet om ervaring op te doen met gerichte maatregelen voor de lekzones. Bovendien is er weinig kennis omtrent de rol van deze zone (vegetatiesamenstelling en -structuur) voor faunagemeenschappen. Het is de vraag of faunagemeenschappen in veentjes met goed ontwikkelde lekzone anders en/of rijker zijn ontwikkeld.

### 6.2.7 **Slot**

**Synthese**
Goed beheer van de kleine ecotoop is niet alleen van belang voor het behoud van de eigen soorten maar ook van die van het veentje waarmee ze onlosmakelijk mee is verbonden. Verstoring kan hier eenvoudig leiden tot verdroging van het ven als de slecht doorlatende laag wordt aangetast. Op veel plaatsen is de kleine ecotoop niet goed ontwikkeld en aangetast door allerlei al dan niet recente invloeden van de mens. We denken dat met meer aandacht en onderzoek veel natuurwaarden kunnen worden gewonnen.
In veel systemen ontbreken de lekzones schijnbaar, omdat de overloop van het veentje zich in de diepere ondergrond en buiten het bereik van de wortelzone bevindt, waarbij het overlopend water direct naar de ondergrond infiltreert. Dit kan zowel een natuurlijke achtergrond hebben als komen door menselijk ingrijpen. De lekzone kent nog drie andere verschillende verschijningsvormen. Zo kan water over maaiveld of door de wortelzone stromen en afstromen naar een aangrenzende laagte. Een andere vorm vinden we op drempels tussen nabij gelegen vennen waar infiltratie wordt belemmerd door de slecht doorlatende lagen van beide vennen. Tenslotte wordt deze kleine ecotoop gevonden op de helling van forten die worden gevoed door water dat afstroomt op een slecht doorlatende laag .

**Conclusies**
Behalve dat drainerende slootjes in de lekzone al in veel situaties zijn afgedamd, is er weinig ervaring met het specifieke  herstel van lekzones op zich. Nader onderzoek is nodig om meer inzicht te krijgen in relevante herstel- en inrichtingsmaatregelen. Vooralsnog zijn uit deze verkenning maatregelen voortgekomen als reliëf herstellend dempen van drainerende slootjes, extensivering van betreding van de randzone van het ven, het verwijderen van verharding, en vernatting van de aangrenzende laagten van de lekzone, bijvoorbeeld door het dichten van greppels en sloten en kleinschalig plaggen.

## 6.3 Kwel op kunstmatige insnijdingen

### 6.3.1 Indeling

Concreet bestaan deze kwelzones uit kunstmatige insnijdingen zoals diepe sloten, poelen en taluds waar grondwater uittreedt[2]. We hanteren daarbij een aantal criteria. De kwelzone moet kunstmatig zijn ontstaan; natuurlijke kwelzones of door beheer en natuurontwikkeling herstelde zones vallen hier buiten. De kleine ecotoop is daarmee volledig door de mens gecreëerd en is gebonden aan zones in het landschap waar kwel NIET spontaan zou optreden.

Deze kwelzones kunnen ontstaan op plekken waar tot in de (permanente) grondwaterspiegel wordt gegraven of waar water wordt opgezet (bijvoorbeeld in kanalen of plassen). Deze kleine ecotoop kan dus op veel locaties in het zandgebied, maar ook daarbuiten, aanwezig zijn, zoals in of aan de randen van beekdalen, nabij natuurlijk kwelzones, maar zelfs ook in de infiltratiegebieden als de insnijdingen tot het grondwater reiken. Deze kleine ecotoop kan overigens wel vaak drainerend werken op de meer natuurlijke kwelzones. Er kan eenzelfde vegetatietype met zijn kenmerkende soorten aanwezig zijn als in de natuurlijke kwelzones. De kunstmatige zones zijn vaak relatief goed te herkennen op basis van hun landschappelijke context, d.w.z. ze vormen een afwijkende situatie binnen de natuurlijke zones in het landschap.

Hoewel deze kleine ecotopen een "bijproduct" zijn van menselijke activiteiten kunnen ze toch een belangrijke rol hebben: zij functioneren als refugia voor een aantal dier- en plantensoorten, inclusief zeldzame soorten. De ecotopen zijn daarmee relevant voor behoud van biodiversiteit en kunnen bijdragen aan de realisatie van doelen van de Kader Richtlijn Water (gericht op een goede ecologische kwaliteit van wateren). Ondanks hun onnatuurlijke kenmerken kunnen deze ecotopen in principe met enige inspanning goed behouden worden.

De kunstmatige insnijdingen bevinden zich meestal buiten natuurreservaten of natuurgebieden en hebben dan andere functies dan 'natuur', alhoewel meerdere plekken met kanaalkwel wel in natuurgebieden liggen (o.a. de Peel). Tegelijkertijd kan de kleine ecotoop een rol spelen voor natuur elders door:

- haar rol in de verspreiding en uitwisseling tussen lokale populaties (als een *stepping stone* habitat);
- haar rol in het behoud van de genetische variatie binnen een soort (en/of een grotere metapopulatie van soorten);
- het bieden van een alternatieve / vervangende habitat waardoor soorten zich kunnen handhaven ook als de condities in de omgeving (in de primaire habitat of het natuurreservaat) (tijdelijk) verslechteren of veranderen .

Tot de kleine ecotoop worden zowel kwelzones op taluds als het ondiepe aquatische deel van insnijdingen in het zandlandschap gerekend. De kleine ecotoop omvat meerdere kunstmatige landschapselementen:

---

[2] Zones met kanaalkwel vallen buiten deze kleine ecotoop omdat het hier in de regel niet om kunstmatige insnijdingen gaat.

1. (kwel-)sloten (terrestrisch en aquatisch; eigenlijk zijn sprengen ook kwelsloten, maar worden hier behandeld in hoofdstuk 4);
2. poelen en randen van gegraven plassen (terrestrisch en aquatisch);
3. kwelzones op taluds van wegprofielen of taluds van spoorwegen (terrestrisch). In het geval van ingegraven sloten, poelen en randen van plassen heeft de kleine ecotoop daarbij zowel een terrestrisch als aquatisch deel.

De kleine ecotoop komt niet alleen voort uit het moderne landgebruik. Ook bij het historische landgebruik kwam ze voor binnen de context van bevloeiingsstelsels. Voorbeelden daarvan zijn dalflanksloten en spaarbekkens of sloten die langs ruggen werden gegraven om basenhoudend grondwater dat hoog in de ruggen voorkomt af te tappen (Baaijens e.a., 2011).

We vinden de taluds, sloten en poelen weliswaar in de oorspronkelijke infiltratiezone buiten de natuurlijke kwelzones maar wel in de betrekkelijke nabijheid daarvan. Gegraven plassen kunnen ook meer centraal in de oorspronkelijk infiltratiezone voorkomen. Naarmate de plassen groter en dieper zijn en basenhoudende sedimenten oppervlakkiger liggen is de kans dat de kleine ecotoop tot ontwikkeling komt groter. Hier kan niet alleen kwel een rol spelen in de basenvoorziening van de wortelzone maar ook het rijker sediment.

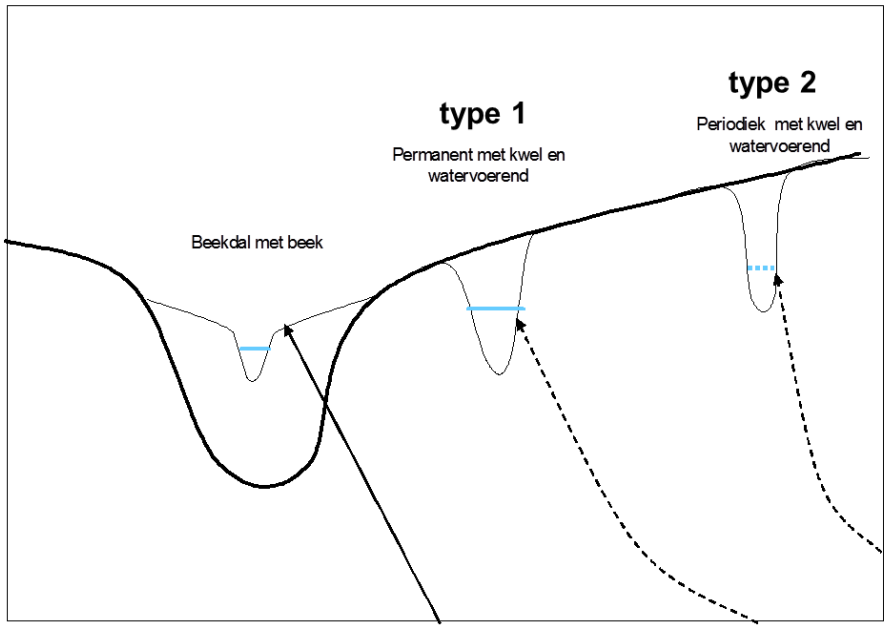
In het Vechtdal dragen bijvoorbeeld de basenhoudende sedimenten van de formatie van Kreftenheye (een Rijn- en Maassediment dat daar nabij de oppervlakte ligt), bij aan de basenvoorziening van de wortelzone in de oevers. In Drenthe komt plaatselijk de formatie van Peelo oppervlakkig voor waardoor eveneens in poelen en oevers langs zandafgravingen een zekere basenverzadiging wordt bewerkstelligd. Ook kan men denken aan vele leemgroeves met hun soorten van heischrale omstandigheden.

**1. Sloten (kwelsloten)**
Binnen de sloten van de kleine ecotoop kan een hoofdindeling worden gemaakt naar de mate van kwel en watervoerendheid. Figuur 6.14 geeft daarvan een schets. Het eerste type zijn sloten waarvan de kwel min of meer permanent is en grotendeels van het jaar watervoerend zijn. Dit type komt veelal voor in een zone dichtbij de natuurlijke kwelzone, het beekdal. Het tweede type komt hoger in het infiltratiegebied voor. Hier treedt alleen in natte perioden van het jaar, als het grondwaterniveau in de infiltratiezone hoog is, kwel op en is de sloot watervoerend.

Bij sloten wordt het kwelwater in de regel afgevoerd naar de lagere delen zoals de natuurlijke kwelzone (beekdal) waarbij stroming optreedt. De standplaatsvariatie die daarbij wordt aangetroffen hangt samen met kwelintensiteit, samenstelling van het kwelwater (pH en basenverzadiging), stromingssnelheid, substraat samenstelling ((kei)leem of zand) en mate van watervoerendheid.

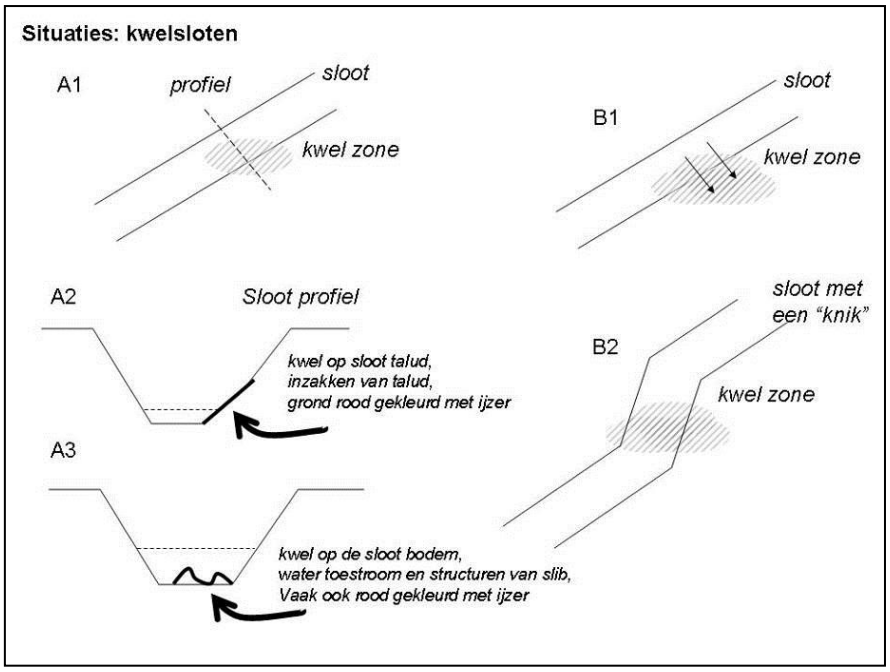
De kleine ecotoop komt in sloten soms niet aaneensluitend voor (Figuur 6.15). Vaak ziet men dat de kwel niet diffuus is verspreid maar is gelokaliseerd op verschillende, van elkaar gescheiden, plaatsen. In de slootbodem komt dat tot uitdrukking in kleine kwelkraters, die onregelmatig over de zone voorkomen (zie figuur 6.15 en 6.17). Ook in de taluds van sloten kan men vaak een dergelijk patroon vinden. De oorzaak hiervan is dat kwel door anisotropie in de ondergrond niet slechts diffuus verloopt maar vaak ook stroomt via preferente stroombanen met een betere doorlaatbaarheid of wordt gestuurd door barrières in de ondergrond die leiden

tot zeer lokale kwelplaatsen (Baaijens e. a., 2012). Dergelijke plekken hebben vaak ook gevolgen voor het slootbeheer omdat de taluds op dit soort plaatsen kunnen inzakken of neigen in te zakken. Door de jaren heen kan dit beheer er toe leiden dat sloten op dit soort plaatsen verspringen, zoals bijgaande foto laat zien (zie figuur 6.16). Het zijn bijzondere aspecten van de kleine ecotoop die voortkomen uit de omgang van het landgebruik met het weerbarstige landschap.




*Figuur 6.14: Schets van twee typen sloten.*

*Figure 6.14: Diagram of two types of ditches.*




*Figuur 6.15: Schets van situaties bij kwelsloten: A. schets van sloot met 'punt' kwelzone, slootprofielen met uittreden van kwel; B. schets van sloot met sterke kwelzone er naast, in loop van de tijd is de sloot verplaatst van B1 naar B2.*

*Figure 6.15: Diagram of two situations occuring at seepage-ditches: A. Diagram of a ditch with pointed out the seepage zone. B. diagram of a ditch with next to it a seepage zone. Over time the ditch will relocate from B1 to B2.*

*Figuur 6.16: Verspringen van een sloot bij een lokale kwelplek. Locatie ten noordoosten van Hingsteveen in de Boswachterij Hooghalen (Drenthe) (Foto Henk Everts).*

*Figure 6.16: Alternating ditch situated at a local seepage zone. Location north-east of Hingsteveen in Boswachterij Hooghalen (Province of Drenthe) (Photo Henk Everts).*

*Figuur 6.17: Kwelkratertje, ter plekke van de verspringing in de sloot (Figuur 6.15). Keileem is met de stroming mee naar boven gekomen (foto Henk Everts).*

*Figure 6.17: Small seepage zone, occuring at an alternation of the ditch (Figure 6.15). Boulder clay (till) stirred up with the water flow (photo Henk everts).*

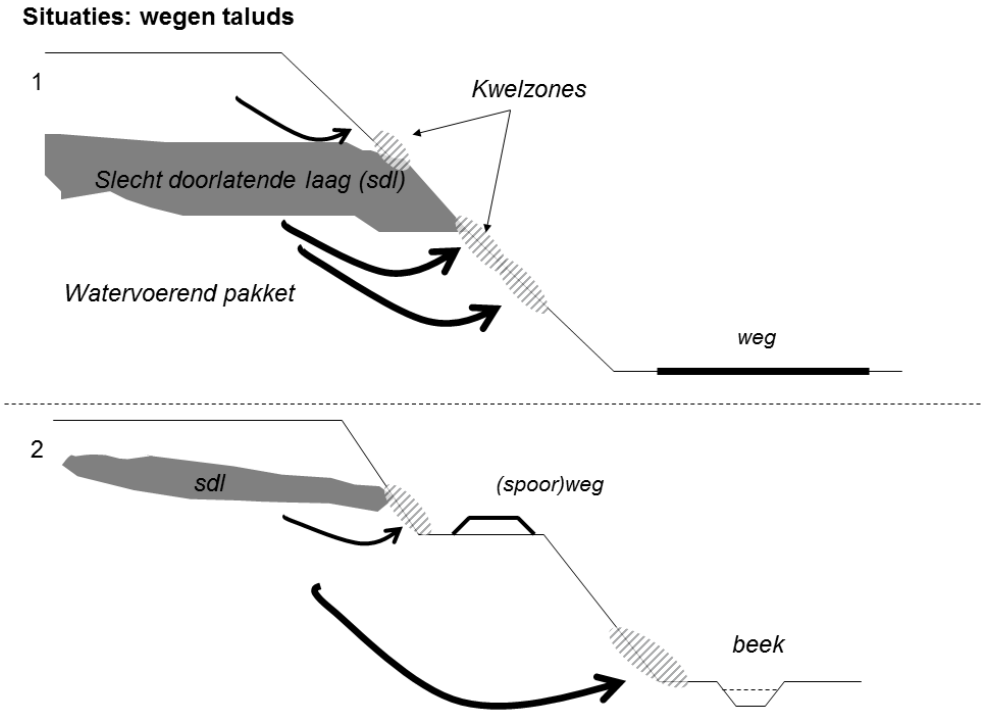
De aanleg van moderne 'natuurvriendelijke oevers' kunnen deze kleine ecotoop ook tot de ontwikkeling brengen, mits ze voldoen aan voornoemde criteria (van Weeren e.a., 2011; Haye e.a., 2011).

**2. Poelen en randen van plassen**
Poelen onderscheiden zich van sloten omdat zij geen oppervlakkige afvoer kennen. In de regel nemen ze een vergelijkbare positie in het landschap in als sloten hoger in het infiltratiegebied. Ze vallen in de droge periode eveneens vaak droog.

Kunstmatig gegraven diepe plassen zoals zandwinningen kunnen een oeverzone hebben die tot deze kleine ecotoop kunnen worden gerekend. Het betreft veelal zones waar enige buffering van de wortelzone van de vegetatie plaats heeft. Dit kan ofwel komen door toestroom van basenhoudend grondwater als ook door basenhoudend sediment. In het Vechtdal waar de formatie van Kreftenheye nabij het oppervlak ligt, ontwikkelen zich op weinig begroeide oevers vaak Oeverkruidvegetaties en Gagelstruweel, terwijl op de hogere kant in het basenarme dekzand de pioniergemeenschap van Bruine snavelbies (*Rhynchospora fusca*) en Moeraswolfsklauw (*Lycopodiella inundata*) zich ontwikkeld (Everts e.a., 2009). Op andere plaatsen, bijvoorbeeld in de Achterhoek en langs de Graafse Raam, worden meer basenhoudende sedimenten aangesneden en kunnen zich op kleine schaal natte schraallanden ontwikkelen. Op dergelijke plaatsen zijn onder meer Waterpunge (*Samolus valerandi*), Koprus (*Juncus capitatus*) en Veldrus (*Juncus acutiflorus*) aangetroffen (Everts e.a., 2009).
*3. Kwelplekken op taluds*

Kwelplekken op taluds ontstaan door afgegraven insnijdingen in dekzandruggen en stuwwallen waarbij watervoerende pakketten worden aangesneden. Een andere vorm komt voor als bij ingravingen, slecht doorlatende lagen worden doorsneden, waarbij kwel wordt gegenereerd. Deze taluds treffen we vaak aan langs spoorwegen en (snel)wegen. Dergelijke kwel is vaak tijdelijk van aard waarbij de taluds vaak droogvallen (Figuur 6.18).

Binnen de kleine ecotoop draagt naast de vorm en ontstaanswijze ook de successie bij aan de variatie. Successie leidt niet alleen tot meer structuur, ook verandert de samenstelling van de vegetatie doordat slibophoping en opbouw van organische stof in de bodem plaats vindt. Successie wordt evenwel vaak tegengegaan door het regulier onderhoud waarbij slootbodem en taluds jaarlijks worden gemaaid en geschoond. Onder andere condities draagt ook de abiotische constellatie van de kleine ecotoop bij aan een vertraagde successie. In sloten met sterk stromend water wordt slib en organische stof vaak afgevoerd. Anderzijds kan door windwerking in de diepere zandafgravingen ook de pioniersituatie in stand gehouden worden.




*Figuur 6.18: Schets van situaties bij (weg)taluds.*

*Figure 6.18: Diagram of seepage occuring at slopes of infrastructural works.*

**Aansluiting bij andere indelingen**
De kunstmatige kwelzones maken veelal geen deel uit van Natura 2000 habitattypen, hoewel meerdere kenmerkende gemeenschappen wel kwalificerend zijn. De kleine ecotoop is veelal recent gecreëerd en wordt daarom als kunstmatig gezien. Ook liggen zij meestal buiten bestaande natuurgebieden en komen slechts voor op kleine oppervlakten.
De sloten / waterlichamen / afgegraven plassen zijn meestal in beheer van waterschappen. Daarbij kunnen de KRW typologie, referenties en maatlatten van toepassing zijn (zie van der Molen e.a., 2004; van der Molen & Pot, 2007).

**Plantengemeenschappen**
De variatie in plantengemeenschappen (Schaminée e.a., 1995) loopt uiteen van verschillende associaties van Fonteinkruidenklasse (*Potametea*) tot enkele associaties van het Oeverkruidklasse (*Litterelletea*) en de Dwergbiezenklasse (*Isoeto-Nanojuncetea*). Kenmerkende gemeenschappen van watervoerende sloten zijn de associatie van Waterviolier en Sterrekroos [05CA01*Callitricho-Hottonietum*] de associatie van Klimopwaterranonkel [05CA02 *Ranunculetum hederacei*], de associatie van Teer vederkruid [05CA03 *Callitricho-Myriophylletum alterniflori*] en de associatie van Klein fonteinkruid [05BC01 *Potametum berchtoldii*]. Ook komen rompgemeenschappen van de Fonteinkruidenklasse voor zoals de Rompgemeenschap van Brede waterpest [05RG06 RG *Elodea canadensis-[Parvopotamion*]], de Rompgemeenschap van Haarfonteinkruid [05RG07 RG *Potamogeton trichoides-[Parvopotamion*]] en de Rompgemeenschap van Gewoon sterrekroos [05RG08 RG *Callitriche platycarpa-[Callitricho-Potametalia*]]. De gemeenschappen van het Oeverkruidklasse en Dwergbiezenklasse komen veelal voor de randen van plassen en in poelen, maar soms ook in droogvallende sloten en taluds. Gemeenschappen van deze twee klassen die onderdeel uit maken van de

kleine ecotoop zijn Associatie van Ongelijkbladig fonteinkruid [06AB01*Echinodoro-Potametum graminei*], de Pilvaren-associatie [06AC01 *Pilularietum globuliferae*], de associatie van Vlottende bies [06AC02 *Scirpetum fluitantis*], de associatie van Waterpunge en Oeverkruid [06AC04 *Samolo-Littorelletum*], de Naaldwaterbies-associatie [06AD01 *Littorello-Eleocharitetum acicularis*], de rompgemeenschap van Duizendknoopfonteinkruid [06RG02 RG *Potamogeton polygonifolius*-[*Littorelletea*]], de Draadgentiaan-associatie [28AA01 *Cicendietum filiformis*] en de associatie van Borstelbies en Moerasmuur [28AA02 *Isolepido-Stellarietum uliginosae*]. Op taluds kunnen vegetaties voorkomen die naar de aard van de kwel en bodemsamenstellingen horen tot de heischrale graslanden [19AA Verbond der heischrale graslanden [*Nardo-Galion saxatilis*], blauwgraslanden Veldrus-associatie [16AB01 *Crepido-Juncetum acutiflori*] [16AA01*Cirsio dissecti - Molinietum*] dan wel dotterbloemhooiland (de Associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid 16AB04 *Ranunculo-Senecionetum aquatici]* [16AB05 Bosbies-associatie *Scirpetum sylvatici*] (Figuur 6.20).

In voedselrijkere situaties, vaak op recent ontwikkelde natuurvriendelijke oevers, komen meer algemene soorten van de Rietklasse (*Phragmitetea*) en soorten van matig voedselrijke graslanden (*Calthion palustris*) voor.

*Figuur 6.20: Kwelafvangende sloot ten oosten van het Natura 2000 gebied Willinks Weust met een kwelindicerende vegetatie van Dotterbloem (Caltha palustris) en Holpijp (Equisetum fluviatile).*

*Figure 6.20: A ditch collecting seepage east of the Natura 2000 area Wilinks Weust.* Caltha palustris *and* Equisetum fluviatile*, present at the site, are indicators of seepage.*

### 6.3.2 Natuurwaarden van kunstmatige insnijdingen met kwel

**Flora en vegetatie**
De verschillende gemeenschappen vertegenwoordigen veelal een hoge natuurwaarde waarbij de gemeenschappen van de Oeverkruidklasse en de Dwergbiezenklasse het meest zeldzaam zijn en een zeer hoge waarde vertegenwoordigen. Ook binnen de Fonteinkruidenklasse zijn de associatie van Klein fonteinkruid, de associatie van Klimopwaterranonkel en de associatie van Teer vederkruid van hoge waarde. De overige gemeenschappen en de rompgemeenschappen hebben een lagere natuurwaarde. Binnen de kleine ecotoop kunnen meerdere Rode Lijst-soorten voorkomen zoals bijvoorbeeld Teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*), Ongelijkbladig vederkruid (*Myriophyllum heterophyllum*), Klimopwaterranonkel (*Ranunculus hederaceus*) en Vlottende bies (*Eleogiton fluitans*). Langs oevers van plassen kunnen de volgende Rode lijst-soorten worden gevonden: Oeverkruid (*Littorella uniflora*), Draadgentiaan (*Cicendia filiformis*), Dwergvlas (*Radiola linoides*), Riempjes (*Corrigiola litoralis*), Stijve moerasweegbree (*Baldellia ranunculoides, spp. ranunculoides*), Wilde gagel (*Myrica gale*) en Moerashertshooi (*Hypericum elodes*). Vaak vindt men aan de hogere kant buiten de kwelzone ook Rode Lijst-soorten van pioniersituaties van nattere heiden zoals Kleine zonnedauw (*Drosera rotundifolia*) en Bruine snavelbies (*Rhynchospora fusca*). Op de taluds komen vaak soorten voor als Dotterbloem (*Caltha palustris*) en Bosbies (*Scirpus sylvatica*) en bij schrale omstandigheden ook kenmerkende soorten van nat heischraal grasland en blauwgrasland. Voorbeelden zijn Blauwe knoop (*Succisa pratensis*), Blauwe zegge (*Carex panicea*), Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Hondviooltje (*Viola canina*) en Tormentil (*Potentilla erecta*).

Meer algemene soorten van de kleine ecotoop in watervoerende sloten zijn Smalle waterpest (*Elodea nuttalii*), Fijne waterranonkel (*Ranunculus aquatilis*), Stomphoekig sterrekroos (*Callitriche obtusangula*), Tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*), Haarfonteinkruid (*P. trichoides*), Rossig fonteinkruid (*P. alpinus*), Grote waterranonkel (*Ranunculus peltatus*), Haaksterrenkroos (*Callitriche brutia*), Gewoon sterrenkroos (*C. platycarpa*), Waterviolier (*Hottonia palustris*), Klein kroos (*Lemna minor*) en Drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*). Deze soorten nemen alle een zeker bandbreedte in de reeks van voedselarm naar voedselrijk in, waarbij soorten als Smalle waterpest, Haarfonteinkruid, Klein kroos en Drijvend fonteinkruid de meest eutrofe standplaatsen aangeven. In dergelijke situaties komen ook vaak soorten voor van de Rietklasse. Hier kan men denken aan Riet (*Phragmites australis*), Gele lis (*Iris pseudocorus*) en Grote egelskop (*Sparganium erectum*). In voedselarme oevers en taluds die droogvallen vinden we soorten als Veelstengelige waterbies (*Eleocharis multicaulis*), Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*), Knolrus s.l. (*Juncus bulbosus*), Pilvaren (*Piluraria globulifera*), Naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*), die worden begeleid door soorten van de kleine zeggengemeenschappen als Egelboterbloem (*Ranunculus flammula*), Gewone waterbies (*Eleocharis palustris*) en Waternavel (*Hydrocotyle vulgaris*). Op lemige plaatsen komen hier nog soorten bij als Kruipwilg (*Salix repens*), Geelgroene zegge (*Carex oederi* spp. *oedocarpa*) en Blauwe zegge *(Carex panicea).* In plekken met sterke kwel komen ook kwel-indicatoren voor als Dotterbloem en Bosbies. Deze soorten kunnen ook worden aangetroffen op de taluds. Onder schralere omstandigheden treffen we kenmerkende soorten van nat heischraal grasland en blauwgrasland aan, zoals hierboven aangegeven.

Op kwelplekken langs de Peelkanalen komen ook zeer bijzondere mossen voor, zoals Rood Schorpioenmos (*Scorpidium scorpidioides*).

Op vochtige weinig geïnundeerde en licht verdichte open standplaatsen kunnen bovendien soorten van de Dwergbiezenklasse worden gevonden: Borstelbies (*Isolepis setacea*), Bronkruid (*Montia*), Moerasdroogbloem (*Gnaphalium uliginosum*), Liggend hertshooi (*Hypericum humifusum*), Zomprus (*Juncus articulatus*), Waterpostelein (*Lythrum portula*) en Liggende vetmuur (*Sagina procumbens*). Dergelijke plekken kunnen ook zeer rijk zijn aan kleine en vaak zeldzame lever- en bladmossen. Bijvoorbeeld Hauwmossen (*Anthoceras* spp.), Landvorkjes (*Riccia* spp.). Kortsteeltjes (*Pleuridium* spp.), Oermos (*Archidium alternifolium*), Flesjesmos (*Blasia pusilla*) en Vetmos (*Aneura pinguis*).

**Paddenstoelen**
Net als mossen zijn paddenstoelen in staat om via hun sporen de vaak sterk geïsoleerde kwelzones op kunstmatige insnijdingen te bereiken. De mossen en soms de paddenstoelen geven dus de potenties aan voor minder mobiele soorten en soortgroepen, zoals veel hogere planten en ongewervelden, waarvoor isolatie de kolonisatie beperkt.

Voor paddenstoelen zijn alleen de terrestrische situaties interessant. Het natst zijn de groeiplaatsen van Mijtertje (*Mitrula paludosa*) langs kwelsloten aan de Veluwerand. Ook op plekken waar een schraallandvegetatie ontstaat kunnen veel paddenstoelen van schraallanden zich vestigen. Bijzondere aandacht verdienen de hierboven al genoemde open standplaatsen. Hier kunnen ook veel kleine paddenstoeltjes als pionier optreden. Hieronder een groot aantal ascomyceten, zoals Bekerzwammen (*Peziza spp.*), Oranje bekerzwammen (*Aleuria* spp.), Wimperzwammetjes (*Scuttellinia* spp.) en Mosschijfjes (*Octospora* en *Lamprospora* spp.). Verder zijn er nogal wat Trechtertjes (Omphalina spp.) te vinden op dergelijke plekken. Al met al kunnen vele tientallen Rode Lijst-soorten hun weg naar dit soort kleine kwelplekjes vinden. Vooral de plekken die in de zomer goed doorlucht raken (door uitdroging) kunnen rijk zijn aan bijzondere soorten.

**Fauna**
Tot de kleine ecotoop horen geen specifieke diersoorten of -gemeenschapen. Soorten die verwacht kunnen worden, zijn kenmerkend voor andere ecotopen / habitattypen zoals met kwel zoals bronnen, beken (droogvallende bovenloop, langzaam stromende bovenloop, stromende middenloop/ benedenloop).

In de (zwak) zure zandsloten (EGV < 250 µS/cm, pH 5.5-6.5) (Nijboer, 2000) zal de dier-soortensamensteling matig divers zijn waarbij kreeftachtigen, vliegen, vedermuggen en kevers het meest voorkomen. Er worden in de regel weinig slakken, bloedzuigers en platwormen aangetroffen. Soorten van de macrofauna zijn bijvoorbeeld: *Pericoma* sp., *Paralimnophyes hydrophilus*, *Hydroporus* sp., *Aedes* sp., *Telmatoscophalus* sp., *Natarsia* sp., *Cyphon* sp., *Hydrocyphon* sp., *Scirtes* sp. en andere. De doelsoorten of indicatoren van hoge natuurwaarden zijn bijvoorbeeld *Limnephilus* soorten (Nijboer, 2000).

In de oligo- en mesotrofe zandsloten (EGV < 250 µS/cm, ionenrijkdom 4-9 mmol/l) (Nijboer, 2000) met plantensoorten als kranswieren (*Chara* soorten), Teer vederkruid, Pilvaren, Fonteinkruiden (Potomageton sp.), en Vlottende bies en Waterviolier, kan een soortenrijke fauna voorkomen met bijvoorbeeld *Pisidium subtruncatum*, *Limnephilus marmoratus*, *Hydroporus* sp., *Acilius*

*canaliculatus*, *Hebrus pusillus*, *Pericoma* sp., etc. (Nijboer, 2000). Doelsoorten of indicatoren van hoog natuurwaarden zijn bijv. *Leptocerus tineiformis* en *Limnephilus* sp. soorten (zie Nijboer 2000). Voor andere kenmerkende macrofauna soorten voor waterlichamen op zandbodems, zie van der Molen & Pot (2007).

Van de niet-auqatische fauna kan de bedreigde dagvlinder Spiegeldikkopje (*Heteropterus morpheus*) worden genoemd. Deze soort is kenmerkend voor overgangen tussen beekdalmoerassen en hoogvenen en komt vooral voor op ruigten met Hennegras (*Calamagrostis canescens*) waar ook freatofyten groeien. In de Limburgse Peelregio stammen diverse recente vindplaatsen van het Spiegeldikkopje van locaties waar kwel vanuit aangrenzende kanalen optreedt, zoals de Groote Moost en de Mariapeel (Wallis de Vries, 2010; 2013).

### 6.3.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Belangrijkste standplaatscondities**
De belangrijkste standplaatscondities worden bepaald door:

1. hydrologische condities: fluctuaties in waterstanden, waterdiepte, afvoer, wegzijging, instroom en kwaliteit kwel. Deze bepalen samen de droogval, stroming en basenrijkdom van de plek. Verder kan zowel beschikbaarheid van koolstof in water als koolstoflimitatie van belang zijn. Ook accumulatie van organisch materiaal draagt bij aan de standplaatsvariatie. De waterkwaliteit wordt bepaald door de relatieve invloed van grond en oppervlakte water dat van buiten de kleine ecotoop wordt aangevoerd. De oorspronkelijke kwaliteit en mate van menging van beide typen water bepalen de alkaliniteit en de trofiegraad;
2. het bodemtype en de bodemkwaliteit (voedselrijkdom, pH en basenrijkdom) zijn van belang. Veelal is leemrijkdom van belang, ook kan het zand uit verschillende geologische formaties afkomstig zijn en derhalve een verschillende chemische samenstelling hebben die kan leiden tot een verschillende basenverzadiging en zuurgraad;
3. aanwezigheid van hoge concentraties van gereduceerde stoffen (S, $NH_4$, Fe) die kan leiden tot toxiciteit voor planten en dieren. Deze hoge concentraties kunnen bijvoorbeeld optreden in het geval van langdurige stagnatie van water, vooral in situaties met organisch slib.

Andere standplaatsfactoren die (afhankelijk of er sprake is van aquatische of terrestrische systeem) bepalend zijn voor de kwaliteit van deze kleine ecotoop zijn factoren als: doorzicht, expositie en beschaduwing (reguleert onder andere de temperatuur), golfslag en andere verstoring (vraat, betreding) (van Weeren e.a., 2011, gebaseerd op natuurvriendelijke oevers). Deze standplaatscondities worden sterk beïnvloed door beheer en gebruik van het waterlichaam (waterberging, ontwatering, etc.) en landgebruik in de omgeving.

**Droogval**
De standplaats loopt uiteen van nagenoeg permanent geïnundeerd en sporadisch droogvallend naar kort inunderend en permanent vochtige standplaatsen. In deze volgorde rangschikken zich de gemeenschappen van de Fonteinkruidenklasse, Oeverkruidklasse en de Dwergbiezenklasse. Binnen de Fonteinkruidenklasse zijn sommige gemeenschappen meer bestand tegen droogvallen dan andere. De associatie van Waterviolier en Sterrekroos is

redelijk bestand tegen droogvallen in de zomer, evenals de associatie van Klimopwaterranonkel. Het zelfde geldt ook voor gemeenschappen van de Oeverkruidklasse. De Pilvaren-associatie kan 's zomers langdurig droog vallen terwijl de associatie van Vlottende bies slechts kortdurende droogval tolereert.

**Stroming**
Ook stroming is een belangrijke factor vooral voor enkele gemeenschappen van de Fonteinkruidenklasse. Klimopwaterranonkel en Teer vederkruid zijn afhankelijk van flinke stroming terwijl Sterrekroos en Waterviolier gebonden zijn aan stilstaand of licht stromend water. Stroming kan een zekere voedselarmoede compenseren bij een laag fosfaatgehalte van het water, zoals bij Klimopwaterranonkel het geval is (Schaminée e.a., 1995).

**Basenrijkdom**
De basenvoorziening en pH kunnen zeer uiteen lopen. Meerdere gemeenschappen zijn gebonden aan zwak gebufferde zwak zure tot circumneutrale standplaatsen. Sommige gemeenschappen verdragen daarbij geen carbonaatrijk water, zoals de gemeenschap van Klein fonteinkruid, die van Klimopwaterranonkel en de gemeenschap van Draadgentiaan. Andere zijn afhankelijk van toestroom van koolzuurrijk water zoals de associatie van Waterviolier en Sterrekroos of van zuurstofrijk water zoals de associatie van Klimopwaterranonkel (Van Diggelen & Klooker, 1990).

**Bodemkwaliteit**
Ook de bodemsamenstelling is van invloed op de vegetatie. Het merendeel van plantengemeenschappen is gebonden aan een zandige bodem terwijl de Draadgentiaan-associatie eerder aan een lemige bodem is gebonden. Ook soorten als Kruipwilg en Blauwe zegge die in de kleine ecotoop optreden, zijn vaak gebonden aan een lemige bodem. De gemeenschappen van de Oeverkruidklasse en de Dwergbiezenklasse zijn veelal gevoelig voor opbouw van organische stof. De gemeenschappen van de Fonteinkruidenklasse verdragen in de regel wel een bodem met slib of modderlaag (Schaminée e.a., 1995).

**Sleutelprocessen**
De volgende processen zijn voor belang:

- kwel (kwelintensiteit en -kwaliteit) zijn van invloed op de basenrijkdom, ijzerrijkdom, fosfaatrijkdom en koolstofrijkdom (bijv. bicarbonaten) van het grondwater;
- toestroom en kwaliteit van oppervlaktewater zijn van invloed op de fosfaatrijkdom, stikstofrijkdom, alkaliniteit, temperatuur en zuurstofrijkdom. Vooral de invloed van vervuild landbouwwater is van belang;
- bodemkwaliteit (zand / leem) en bodemprocessen. Hierbij spelen eutrofiëring door bemesting, accumulatie van organisch materiaal en verzuring een rol;
- beheer: (intensief) slootbeheer met maaien en baggeren. Bij taluds zijn relevante maatregelen: beplanting, bomen verwijderen, maaien en periodiek afschaven.

Het onderscheidende proces voor de kleine ecotoop is het (tijdelijk) optreden van kwel. Veelal en zeker bij tijdelijke kwel treedt vooral in de winter en het voorjaar plaatselijk grondwater uit. In kwelsloten, oevers of taluds van sloten en wegtaluds waar het water doorstroomt, vindt voortdurend waterafvoer

plaats en krijgen de gereduceerde verbindingen (ammonium, sulfide en ijzer) weinig kans om zich op te hopen in de wortelzone. Daarnaast worden - als de waterstand in de zomer wegzakt - gereduceerde verbindingen geoxideerd. Stabiele, hoge grondwaterstanden begunstigen onder (zwak) zure omstandigheden (met licht minerotrofe condities) veenvorming. Dit blijft uit wanneer het beheer uit jaarlijks schonen bestaat.
De bodemsamenstelling beïnvloedt de vegetatieontwikkeling tot hetzij oligotrofe of mesotrofe vegetatie.

**Landschappelijke relaties**
Kwel die optreedt in deze kleine ecotoop is veelal afkomstig van ondiepe watervoerende pakketten. Nabij een beekdal kan het water ook uit diepere pakketten afkomstig zijn. In de permanent watervoerende sloten is de toestroom van water uit deze pakketten min of meer continu. In minder watervoerende sloten en poelen is dit in de regel beperkt tot de natte periode van het jaar.

Stroming in sloten hangt vaak samen met reliëf, dat wil zeggen dat sloten die met het verhang meelopen een hoge doorstroming hebben. Slootjes met Klimopwaterranonkel komen voor op de flanken van stuwwallen zoals de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe en de stuwwallen van Twente en de Achterhoek. In Drenthe treft men de gemeenschap aan in sloten buiten de flank van beekdalen die diep liggen in gesneden in het landschap (Everts & de Vries, 1991, Van Diggelen & Klooker, 1990)

Soms komt de kleine ecotoop ook meer centraal in het infiltratiegebied voor, op grotere afstand van de oorspronkelijk beekdalen. Hier ligt veelal anisotropie in de ondergrond aan ten grondslag. De tunneldalen uit de Pleistocene IJstijd (Elsterien) in Noord-Drenthe vormen in Drenthe één van de oorzaken van dergelijke anisotropie (Baaijens e.a., 2012). Dieper en ondieper grondwater in goed doorlaten pakketten van de Formatie van Urk en Harderwijk stuiten hier op diepe geulen, vaak opgevuld met fijn zandiger sedimenten en potklei van de Formatie van Peelo, wat ten noorden van de boswachterijen van Hooghalen en Grollo leidt tot een afwisselend patroon van kwelplekken langs slootjes, ook in het infiltratiegebied buiten de beekdalen zoals van het Amerdiep.

Poelen komen in dezelfde zones voor als voornoemde twee typen sloten. Hier vindt evenwel geen oppervlakkige afvoer plaats. Dat betekent dat er in principe een rem is op de kwel, als de waterstand in de poel het niveau aanneemt van het omringende grondwater. Kwel wordt vooral veroorzaakt in perioden met veel neerslag, als het grondwaterniveau het reliëf gaat volgen en poelen een lage plek vormen in de grondwaterspiegel van het lokale systeem.

De buffering van de oevers van zandafgravingen kan zowel worden veroorzaakt door een basenhoudend substraat als door toestroom van grondwater uit basenhoudende lagen.

**Menselijke invloed**
Menselijke invloed is inherent aan deze kleine ecotoop. Afhankelijk van de ontstaansgeschiedenis maakt zij onderdeel uit van het historische landschap of van het moderne landschap. De zandafgravingen zijn aangelegd voor zandwinning en recreatie. Taluds langs wegen door dekzandruggen en stuwwallen vormen een ander voorbeeld.
Sloten en poelen kunnen deels ook zijn ontstaan in het kader van historisch landgebruik zoals bevloeiing (Baaijens e.a., 2011). Elementen zo als de

dalflanksloot, spaarbekkens en langs ruggen gelegen sloten, zijn tegenwoordig vaak als relict in het landschap aanwezig, ook al is de vroegere functie ervan veelal verdwenen. De oorspronkelijke vegetatie komt dan zelden meer voor. Wel bieden deze elementen potenties voor het herstel van de kleine ecotoop in combinatie met herstel van cultureel erfgoed.

Poelen zijn de laatste decennia vaak ook veelvuldig gegraven in het kader van natuurontwikkeling.

Een zeer belangrijke vorm van menselijke invloed is beheer (peilbeheer, slootbeheer, (jaarlijks) schonen van sloten, wegonderhoud etc.). Dit heeft zowel een belangrijke invloed op de vegetatieontwikkeling van deze kleine ecotoop als op de standplaatscondities (in het bijzonder voor pioniervegetatie en de fauna). Veel sloten worden intensief beheerd waarbij het gevaar bestaat dat waardevolle natuur door intensief beheer wordt aangetast.

### 6.3.4 **Locaties van kunstmatige insnijdingen met kwel**

Het is moeilijk een overzicht te geven van concrete terreinen waar de kleine ecotoop voorkomt, omdat ze voor een aanzienlijk deel buiten natuurgebieden aanwezig zijn en over het hele zandlandschap verspreid kunnen liggen. Een gebiedsdekkende inventarisatie van locaties en het vaststellen van de kwelzones in deze kunstmatige insnijdingen was niet mogelijk binnen deze studie. Wel is het zinvol om zo´n inventarisatie in de toekomst uit te voeren. Een eerste aanzet van de verschillende typen kunstmatige insnijdingen wordt hier onder gegeven (met enkele voorbeelden):

- Kwelsloten met stromend water: voorkomen langs alle randen van beek- en rivierdalen, zoals rond het Kempens plateau, de Maasduinen, de Gelderse vallei, de Oostrand van de Veluwe, het Kromme Rijn gebied en het bekken van Groesbeek;
- Watergangen met kwelzones in het talud: voorkomen langs sloten in gebieden met een hoge grondwaterspiegel en langs, poelen en vijvers (Sonsbeek, Kasteel Rozendaal);
- Kwelzones langs spoor- en snelweginsnijdingen. Vooral langs diepe insnijdingen, bijvoorbeeld in stuwwallen;
- Kwelzones in groeves. Bijvoorbeeld bij Winterswijk en de zandgroeve bij Veenendaal;
- Kwelzones langs gegraven sloten en plassen.

### 6.3.5 **Bedreigingen en aantastingen**

Modern landgebruik in de omgeving met hoge mestgiften van de kleine ecotoop kan leiden tot ernstige verarming van de plantengemeenschappen en achteruitgang van soorten. Dit gebeurt zowel door eutrofiëring als alkalisering. Daardoor gaan de kenmerkende soorten vaak achteruit of verdwijnen en treden meer algemene soorten op de voorgrond. Gemeenschappen gekenmerkt door Haarfonteinkruid, Gewoon sterrekroos, Smalle waterpest en gemeenschappen van het Rietverbond (*Phragmition*) en Vlotgrasverbond (*Sparganio-Glycerion*) treden dan naar de voorgrond met soorten als Grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*), Riet, Gele lis, Mannagras (*Glyceria fluitans*), Liesgras (*Glyceria maxima*), Moerasvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides*), Gele waterkers (*Rorippa amphibia*), Cyperzegge (*Carex pseudocyperus*), Grote watereppe (*Sium latifolia*), Grote egelskop en Grote lisdodde (*Typha latifolia*). Riet, Gele lis en Liesgras wijzen

daarbij vaak op een zekere basenrijkdom waarbij toestroming van grondwater of stromend water een rol speelt.

**Eutrofiëring**
Vooral externe eutrofiëring is een belangrijke bedreiging. Verschillende factoren spelen daarbij een rol:

1. toestromend vervuild landbouwwater. Menging van gebiedsvreemd oppervlaktewater met schoon kwelwater leidt hier tot eutrofiëring;
2. run-off van landbouwgebied naar sloten;
3. hoge nutriëntenconcentraties (vooral fosfaat) in de bodem die afkomstig zijn van overbemesting (in en rond de sloten/poelen/taluds).

In gebieden met intensieve landbouw kan ook atmosferische stikstofdepositie bijdragen aan eutrofiëring van de kleine ecotoop. Dit kan vooral een rol spelen op de terrestrische delen van de gradiënt en voor pionier- en oligotrofe vegetatie (die zich daardoor slechts korte tijd kan handhaven).

**Ontwatering**
Aangezien de kleine ecotoop een kunstmatig systeem is dat tot in het grondwaterniveau reikt, lijkt verdroging minder bedreigend. Wel is denkbaar dat kwel naar de randzones van plassen afneemt door een verhoogde verdamping van bos op aangrenzende infiltratiegronden.

**Alkalinisering**
Landgebruik in de omgeving van de kleine ecotoop kan leiden tot ernstige verarming van de plantengemeenschappen. Dit gebeurt naast eutrofiëring ook door alkalisering. Daardoor gaan de kenmerkende soorten vaak achteruit of verdwijnen en treden algemenere soorten op de voorgrond. Gemeenschappen gekenmerkt door Haarfonteinkruid, Gewoon sterrekroos, Smalle waterpest en gemeenschappen van het Rietverbond (Phragmition) en Vlotgrasverbond (Sparganio-Glycerion) treden dan op de voorgrond met soorten als Grote waterweegbree, Riet, Gele lis, Mannagras, Liesgras, Moerasvergeet-mij-nietje, Gele waterkers, Cyperzegge, Grote watereppe, Grote egelskop en Grote lisdodde. Riet, Gele lis en Liesgras wijzen daarbij vaak op een zekere basenrijkdom, waarbij toestroom van grondwater of stromend water een rol speelt.

**Beheer**
Zowel intensief slootbeheer door intensief maaien, intensief schonen van sloten, betreding en het vastleggen van oevers met beschoeiingen als een te beperkt of uitblijvend beheer kan leiden tot het afnemen van de natuurkwaliteit van de kleine ecotoop (Nijboer, 2000). Zonder beheer verdwijnen de pionierstadia (bijvoorbeeld van korte, schaarse oevervegetatie) en verlanden van sloten, waardoor aquatische vegetatie verdwijnt. Dat gaat doorgaans gepaard met accumulatie van strooisel en organisch materiaal, toename van de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten, en vervanging door triviale vegetatietypen.

Soms worden de ecologische potenties niet goed benut doordat de kleine ecotoop wordt ingezaaid of beplant met soorten van andere ecotopen. Dit is helaas ook vaak het geval bij de aanleg van natuurvriendelijke oevers, als de abiotische condities kansen bieden voor ontwikkeling van oligotrofe of mesotrofe vegetaties, en daarmee voor hogere natuurwaarden. Ter bestrijding van oevererosie wordt gras ingezaaid (vaak met een soortenarm grasmengsel) of worden oeverplanten (vooral riet) actief aangeplant. Dit vormt een sterke beperking voor de ontwikkeling van pioniervegetaties (die

vanuit de zaadbank of vanuit de omgeving kunnen terugkomen). Bovendien zorgt het voor een versnelling van de vegetatiesuccessie op de oevers.

### 6.3.6 **Herstelmaatregelen**

**Hydrologisch herstel**
De kunstmatige insnijdingen bevinden zich langs de rand en buiten de natuurlijke kwelzones van het zandlandschap, de beekdalen. Deze landschapselementen werken vaak drainerend voor de natuurlijke kwelzones. In het kader van het hydrologisch herstel van natuurgebieden of natuurontwikkeling kunnen de kunstmatige kwelzones opnieuw worden ingericht en bijv. verondiept of gedempt worden.

Als hydrologisch herstel gericht is op de kleine ecotoop zelf (bijvoorbeeld in het kader van GGOR plannen) kunnen verschillende maatregelen relevant zijn:

1. systeemgerichte maatregelen gericht op herstel van de grondwaterstromen uit het inzijggebied, zowel kwantitatief als kwalitatief. Hierbij kan men denken aan het dichten van drainagemiddelen om de infiltratie te versterken, aan reliëfherstel en aan het beperken van grondwaterwinning;
2. lokale maatregelen, gericht op meer instroom van (schoon) kwelwater en minder menging met vervuild landbouwwater. Hierbij kan worden gedacht aan het (hydrologisch) isoleren van de kleine ecotoop;
3. beperking van de afwatering: minder snelle afwatering, langere berging van kwelwater in de sloten, vermijden van de piekafvoeren of overstroming met landbouwwater;
4. ontwikkelen van natuurvriendelijke oevers (als een van de herstelmaatregelen voor verbetering van de ecologische kwaliteit van de waterlichamen).

Er is weinig ervaring met het (herstel)beheer van de kleine ecotoop. Alleen binnen de systematiek van de KRW is inmiddels aan de hand van, weliswaar beperkte, monitoring enige ervaring opgedaan waarvan hier relevante resultaten kort worden besproken. Hierbij moet worden opgemerkt dat bandbreedte van het onderzoek aan natuurvriendelijke oevers breder is dan dat van de kleine ecotoop, omdat de oevers ook buiten de natuurlijke kwelzone liggen.

Natuurvriendelijke oevers bieden in het algemeen meer ruimte voor de ontwikkeling van de kleine ecotoop, alsook betere abiotische en biotische condities. Bij de ontwikkeling van deze oevers wordt vaak de bovenste, sterk bemeste bodemlaag verwijderd. Bovendien ontstaat een geleidelijke hoogtegradiënt die leidt tot een gradiënt in standplaatscondities. Ook gaat men uit van de aanname dat minder competitie en een betere habitatstructuur worden gecreëerd. Dit komt de ontwikkeling van kenmerkende vegetatie- en faunagemeenschappen ten goede. Uit de analyse van monitoringgegevens van de kenmerkende KRW-soorten voor natuurvriendelijke oevers blijkt een sterke relatie tussen vegetatietypen en macrofauna. Vooral de structuur van de vegetatie lijkt een belangrijke rol te spelen. Ook is sommige macrofauna afhankelijk van de aanwezigheid van bepaalde soorten macrofyten (Haye e.a., 2011).Uit het onderzoek komt dat een goede biotische kwaliteit wordt gekenmerkt door oligotrofe tot mesotrofe condities die afhankelijk zijn van kwel (van der Molen e.a., 2004; van der Molen & Pot, 2007).

Naast ontwikkeling van natuurvriendelijke oevers, zijn ook andere maatregelen voor verbetering van ecologische kwaliteit van de waterlichamen (meestal beken) van belang. Men moet hier denken aan hydrologisch en morfologisch (voor de kleine ecotoop minder relevant) herstel (Didderen e.a., 2009) alsook het verbeteren van de waterkwaliteit.

**Herstel door beheer**
Uit het onderzoek aan natuurvriendelijke oevers komt naar voren dat een goed ecologisch beheer in de vorm van een extensief maaibeheer effectief is (Haye e.a., 2011). Daarbij speelt een dilemma tussen een goede drainerende functie van de sloot en een optimale vegetatieontwikkeling die een minder intensief beheer vraagt. Een aantal gerichte maatregelen is waarschijnlijk van belang, vooral bij kwelsloten, maar hun werking en uitvoering moet veelal nog in de praktijk worden uitgetest (Nijboer, 2000; ter Heerdt, 2010):

- behoud van goed-ontwikkelde vegetatie. Bij het schonen of maaien moeten macrofyten alleen beperkt worden verwijderd, bovendien is het toelaten van enige (trage) verlanding gewenst;
- weliswaar moet regelmatig worden gemaaid, geschoond en gebaggerd, maar gewenst is dat het gebeurt met een zo laag mogelijke frequentie, gefaseerd en op een tijdstip dat voor de reproductie van soorten meest optimaal is. Anderzijds kunnen soorten ook profiteren van het schonen van de sloten. Vooral pionierstadia zijn daarvan afhankelijk;
- de schoningsfrequentie is ook van invloed op de vegetatiesamenstelling. Vegetaties van zacht water verdragen een hoge frequentie slecht. Ook is het tijdstip van schonen van belang zowel voor vegetatie als fauna (bijv. slakken). De frequentie en tijdstip van het beheer moet dan ook worden bepaald op basis van de lokale situatie en potenties voor ontwikkeling. Andere factoren die van belang zijn bij het beheer is dat geschikte apparatuur wordt gebruikt en hoe de afvoer van bagger en/of maaisel (afvoer van nutriënten) plaatsvindt. Als verschraling nodig is zal de bagger en maaisel moeten worden verwijderd.

De beheermaatregelen zoals die bij de KRW worden gebruikt zijn naast de sloten ook relevant voor andere elementen van de kleine ecotoop als poelen of randen van de plassen. Daar waar door degradatie (bemesting, ontwatering) de kwelzones dichtgegroeid zijn, is een beheer gericht op verschraling van belang. Aangepast maaibeheer en kleinschalig plaggen kunnen daarbij worden overwogen.

Op wegtaluds is optimalisatie van het maaibeheer en het verwijderen van struiken en bomen wenselijk, naast hydrologisch herstel in het inzijggebied om meer en betere kwaliteit kwel te krijgen.

Tenslotte kan de aanleg van bufferzones worden overwogen. Daarmee kan directe afspoeling van nutriënten uit de landbouwgronden worden voorkomen.

**Kennishiaten**
Er kunnen vijf belangrijke kennisvragen worden onderscheiden:
- Wat is de rol van deze kleine ecotoop (en het belang van behoud en herstel ervan) voor de realisatie van natuur- en KRW-doelen? In hoeverre spelen ze een rol bij de realisatie van robuuste natuur in natuurgebieden?
- Welke bijzondere mossoorten komen in deze kleine ecotoop voor?

- In welke mate komen in de kleine ecotoop vegetaties van het Oeverkruidklasse (*Litterelletea*) en de Dwergbiezenklasse (*Isoeto-Nanojuncetea*) voor  en wat zijn daarvoor de belangrijkste beheercondities?
- In welke mate zijn de eerder genoemde maatregelen effectief voor het behoud en herstel van de kleine ecotoop? In het bijzonder: is de ontwikkeling van de natuurvriendelijke oevers effectief voor het herstel van deze kleine ecotoop en voor de specifieke en/of soortenrijke planten- en faunagemeenschappen?

Wat is de invloed van de kwaliteit van kwelwater op de ontwikkeling van deze kleine ecotoop en hoe kan de kwaliteit van (ondiepe) kwel verbeterd worden?

### 6.3.7 **Slot**

**Synthese**
De kleine ecotoop is een kwelzone die volledig door de mens is gecreëerd, buiten de natuurlijke kwelzones van het landschap. Het zijn plekken waar grondwater tot in de wortelzone of tot in het maaiveld komt. Ze komen vaak voor in sloten buiten de randen van beekdalen of in insnijdingen die tot het grondwatervoerende pakket reiken, zoals op stuwwallen. Ook omvat de kleine ecotoop poelen en randen van gegraven plassen en kwelzones op taluds van wegprofielen of taluds van spoorwegen. Veelal is daarbij een terrestrisch en aquatisch deel binnen de ecotoop te onderscheiden. De insnijdingen werken wel vaak drainerend naar de natuurlijke kwelzones. Er kan eenzelfde vegetatietype met zijn kenmerkende soorten aanwezig zijn als in de natuurlijke kwelzones. De kleine ecotoop kan hierdoor functioneren als stepping stone voor (zeldzame) dier- en plantensoorten bij de verspreiding of herkolonisatie en als refugium of vervangend habitat als condities elders verslechteren.

De gemeenschappen in de kleine ecotoop kunnen een hoge natuurwaarde vertegenwoordigen. Meest waardevol zijn de vegetaties uit de Oeverkruidklasse, de Dwergbiezenklasse en de Fonteinkruidenklasse. Binnen de kleine ecotoop kunnen meerdere Rode Lijst-soorten voorkomen, zoals Teer vederkruid, Ongelijkbladig vederkruid, Klimopwaterranonkel, Vlottende bies, Oeverkruid, Draadgentiaan en Dwergvlas in watervoerende sloten. Onder voedselrijke omstandigheden komen meer algemene soorten voor als Fijne waterranonkel, Gewoon sterrenkroos, Waterviolier en soorten als Smalle waterpest, Haarfonteinkruid, Klein kroos en Drijvend fonteinkruid die de meest eutrofe standplaatsen aangeven.

Landgebruik in de omgeving van de kleine ecotoop kan leiden tot ernstige verarming van waardevolle plantengemeenschappen. Dit gebeurt naast eutrofiëring ook door alkalisering. Daardoor gaan de kenmerkende soorten vaak achteruit of verdwijnen en treden meer algemene soorten op de voorgrond. Ook te intensief slootbeheer door maaien, schonen, betreding en het vastleggen van oevers met beschoeiingen kan leiden tot een afname van de natuurkwaliteit.

Meerdere beheermaatregelen zijn van belang bij het behoud van goed ontwikkelde vegetatie. Bij het schonen en maaien dienen bijvoorbeeld macrofyten alleen beperkt te worden verwijderd. Het schonen en baggeren moet bovendien met een zo laag mogelijke frequentie en gefaseerd plaats vinden, liefst op een tijdstip dat voor de reproductie van soorten het meest optimaal is. Vegetaties van zacht water verdragen een hoge frequentie

bijvoorbeeld slecht. Andere factoren van belang bij het beheer zijn dat geschikte apparatuur wordt gebruikt en hoe de afvoer van bagger en/of maaisel (afvoer van nutriënten) plaatsvindt. Als verschraling nodig is zal de bagger en maaisel moeten worden verwijderd.

Nader inzicht is nodig in de rol van deze kleine ecotoop bij realisatie van natuurdoelen en KRW-doelen. In hoeverre spelen ze een rol bij de realisatie van robuuste natuur in natuurgebieden van ons land? Ook dient de vraag te worden beantwoord in welke mate de voorgestelde maatregelen effectief zijn voor het behoud en herstel van de kleine ecotoop en wat de invloed van de kwaliteit van kwelwater op de ontwikkeling van deze kleine ecotoop is.

**Conclusies**
Kwel op kunstmatige insnijdingen in het zandlandschap kunnen plantengemeenschappen en soorten met een hoge natuurwaarde omvatten. Vermesting en alkalisering vormen de belangrijkste bedreigingen van de kleine ecotoop evenals een niet adequaat beheer. De bedreigingen komen voort uit het intensieve landgebruik in de directe omgeving van de kleine ecotoop. Veel maatregelen kunnen worden genomen om de kleine ecotoop te herstellen. In het kader van KRW zijn daarvoor inmiddels enkele evaluaties uitgevoerd, maar er zijn nog veel kennislacunes omtrent het adequaat beheer van de kleine ecotoop. Nader onderzoek wordt daarom aanbevolen.
Een stapsgewijs aanpak voor nader onderzoek zou als volgt kunnen zijn:

- inventarisatie en herkenning van deze ecotoop met zijn kwelplekken;
- evaluatie van de kansen (vanuit het perspectief van verschillende doelstellingen) van de locatie zelf en van de mogelijk negatieve effecten van deze locatie elders;
- analyse van de sleutelprocessen;
- beslissing over de beheer- en herstelmaatregelen;
- monitoring en evaluatie van de uitvoering

*Met dank aan: Jos von Asmuth (KWR), Mark Jalink (KWR) & Michiel Wallis de Vries (Vlinderstichting/Wageningen Universiteit).*

# 7 Wilgen- en Gagelstruwelen

## 7.1 Inleiding

**Omschrijving ecotoop**
Wilgenstruwelen bestaan uit door Grauwe wilg (Salix cinerea) en Geoorde wilg (Salix aurita) gedomineerde struwelen. Grondwater staat een groot deel van het jaar aan of boven maaiveld, maar kan in het groeiseizoen dieper wegzakken. Naast beide wilgensoorten komen soorten als Sporkehout (Rhamnus frangula), Zachte berk (Betula pubescens), Wilde gagel (Myrica gale) of Zwarte els (Alnus glutinosa) veelvuldig in dit type voor (Figuur 7.1). De ondergroei wordt veelal gedomineerd door ruigtesoorten, zeggen en een rijke moslaag.

*Figuur 7.1: Wilgenstruweel op de overgang van elzenbroek naar bloemrijk hooiland in het Corlese veen. De wilgen vormen een belangrijke bron van nectar in het vroege voorjaar wanneer andere planten nog geen bloemen dragen. (Fotograaf Rob Felix)*

*Figure 7.1: Willow shrubs in the transition zone from alder fen wood to species-rich hay meadows in the Corlese veen. In early spring willows form an important source of nectar where other plants are not flowering yet (photo Rob Felix).*

Gagelstruwelen zijn door Wilde gagel (*Myrica gale*) gedomineerde struwelen die vaak onderdeel zijn van vochtige heiden en herstellende hoogvenen (Figuur 7.2). Ze worden tot Rompgemeenschappen van verschillende plantengemeenschappen gerekend (*Betulion pubescentis, Salicion cinereae, Oxycocco-Sphagnetea* en *Caricion nigrae*). De ondergroei van gagelstruwelen is in veel gevallen beperkt aanwezig en bestaat voornamelijk uit grassen en (veen)mossen. In het nat zandlandschap zijn gagelstruwelen vaak aanwezig langs randen van vennen en hoogvenen en op of langs vochtige heide. Daarnaast kunnen ze voorkomen in kleine-zeggenmoerassen en wilgenstruwelen, en in en langs berkenbroekbossen.

*Figuur 7.2: Bloeiende, mannelijke Wilde Gagel (Myrica gale) in het vroege voorjaar (fotograaf Jan van der Straaten).*

*Figure 7.2: Flowering* Myrica gale *(male) in early spring (photo Jan van der Straaten).*

Tot op heden hebben wilgenstruwelen weinig aandacht gehad in het Nederlandse natuurbeheer. In natuurreservaten komen wilgenstruwelen vaak voor in een vermeste vorm. Aan de andere kant kunnen ze spontaan opslaan bij het achterwege blijven van beheer op vochtige heide en natte graslanden en langs vennen en in laagten. Wilgenstruwelen vormen een tussen- of eindstadium in de successie van laagten met een zeer beperkte afvoer, die 's winters langdurig zijn geïnundeerd. Door de stapeling van organische stof kunnen op lange termijn bij droogval van deze standplaatsen in het groeiseizoen voldoenden nutriënten vrijkomen om de ontwikkeling van wilgenstruwelen mogelijk te maken. Op de overgangen naar lage vegetaties worden wilgenstruwelen vaak "opgeruimd" om de successie terug te zetten of ruimte te geven aan plantengemeenschappen die binnen het natuurbeheer een hogere prioriteit of waardering genieten. Hierdoor is de oppervlakte wilgenstruweel in het nat zandlandschap in goed ontwikkelde vorm beperkt. Het ontbreken van aandacht geldt niet voor gagelstruwelen. Zij worden over het algemeen hoog gewaardeerd binnen het natuurbeheer in Nederland. Gagelstruwelen hebben aanzienlijk meer aandacht genoten dan wilgenstruwelen en het beheer is vaak gericht op de instandhouding of uitbreiding van gagelstruwelen.

**Aansluiting bij andere indelingen**

*Plantengemeenschappen*
Stortelder e.a. (1999) onderscheiden binnen het verbond der wilgenstruwelen (*Salicion cinereae)* twee associaties. Dit zijn de Associatie van Geoorde wilg (36Aa1 *Salicetum auriae*) en de Associatie van Grauwe wilg (36Aa2 *Salicetum cinereae*). De wilgenstruwelen van het nat zandlandschap behoren plantensociologisch met name tot de Associatie van Geoorde wilg. De associatie vormt een ruimtelijke overgang tussen hoogveen en berkenbroek richting elzenbroekbossen. Deze struwelen komen voor op zure, mesotrofe veengronden met vaak op geringe diepte minerale bodem. Het grondwater staat tenminste in het groeiseizoen zelden tot aan maaiveld. De associatie met Grauwe wilg komt voor op voedselrijkere, minder zure locaties, zoals aan de randen vennen.

Stortelder e.a. (1999) & Schaminée e.a. (1995) beschrijven vier Rompgemeenschappen van Wilde gagel die alle vier kunnen voorkomen in het natte zandlandschap. De Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en slenken (RG *Myrica gale*-[*Oxycocco-Sphagnetea*]) omvat 1-2 meter hoge, soortenarme gagelstruwelen op oligotroof veen of moerige zandgronden (Schaminéé 1995). Deze gemeenschap groeit langs heidevennen en slenkvormige laagten in vochtige heide en langs hoogvenen. Gagelstruwelen kunnen ook ontstaan als opslag in natte graslanden en vormen dan een Rompgemeenschap van het Verbond van Zwarte zegge (RG *Myrica gale*-[*Caricion nigrae*])

Onder invloed van meer gebufferd water kunnen gagelstruwelen gekoloniseerd worden door wilgen, hierdoor ontstaat de rompgemeenschap *Myrica gale*-[*Salicion cinereae*]. Daarnaast kan een gagelstruweel in successie langzaam overgaan in een berkenbroek met veel gagel, waardoor een andere rompgemeenschap ontstaat (RG *Myrica gale*-[*Betulion pubescentis*]). Deze wordt veelal gevonden op de randen van hoogvenen en vennen (Stortelder et al 1999). In beekdalhoofden en dichtgroeiende maasmeanders komt gagel rijkelijk voor als ondergroei in berkenbroek (zie hoofdstuk 8).

*Natura2000*
Wilgenstruwelen zijn in Nederland niet beperkt tot het nat zandlandschap, maar komen ook (zelfs meer) voor in laagveen, duinen, beekdalen en het rivierengebied. Een deel van de Vochtige duinbossen (H2180_B) bestaat uit de Associatie van Grauwe wilg. Vanwege de ligging in het duinlandschap worden deze verder niet besproken. In actief hoogveen (H7110_A) en herstellend hoogveen (H7120) komen wilgenstruwelen zowel voor als de Associatie van Grauwe wilg als de Associatie van Geoorde wilg. Wilgenstruwelen en bossen van het beekdallandschap en langs de rivieren (ooibossen) worden verder niet besproken.

Gagelstruwelen zijn in Nederland grotendeels beperkt tot het nat zandlandschap maar komen ook voor in het beekdallandschap, laagveen, en in kalkarme duinen. In Hoogveenbossen (H91D0) worden gagelstruwelen aangetroffen als Rompgemeenschap van het Verbond der wilgenbroekstruwelen en als Rompgemeenschap van het Verbond der berkenbroekbossen. Binnen de Zure vennen (H3160) zijn gagelstruwelen aanwezig langs de randen als Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en natte heiden. Op de Vochtige heide (hogere zandgronden) (H4010_A) komen gagelstruwelen voor als Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en slenken waar ze in mozaïek met andere vegetaties voorkomen. In Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap) (H7110-A) en Herstellend hoogveen (H7120) worden gagelstruwelen gevonden van alle vier de rompgemeenschappen (Figuur 7.3). De gagelstruwelen langs Heideveentjes (H7110_B) behoren tot de Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en slenken.

*Figuur 7.3: Hoogveenlandschap (Meddose veen) met Wilde gagel (fotograaf Rob Felix).*

*Figure 7.3: Raised bog (Meddose veen) with* Myrica gale *(photo Rob Felix).*

In de duinen komen gagelstruwelen voor in Duinheiden met kraaihei (vochtig - H2140_A). Op plaatsen waar jong, basenarm grondwater uittreedt, kan dit type op termijn overgaan in struwelen met gagel. Hier vormen zij de Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en natte heiden. Door de ligging in het duinlandschap wordt deze gemeenschap niet besproken.

*Natuurdoeltypen*
Wilgenstruwelen vormen een apart natuurdoeltype (3.55) in Bal e.a. (2001). Hierin worden de wilgenstruwelen landschapoverschrijdend besproken, waarbij de wilgenstruwelen binnen het nat zandlandschap niet afzonderlijk aan de orde komen. Gagelstruwelen vormen geen apart natuurdoeltype. Ze worden genoemd onder Zwakgebufferd ven (3.22), Zuur ven (3.23), Levend hoogveen (3.44) en Hoogveenbos (3.63). Ten onrechte worden gagelstruwelen niet als plantengemeenschap genoemd bij Natte heide (3.42) (Bal e.a., 2001).

## 7.2 Natuurwaarden van Wilgen- en Gagelstruwelen

De flora en fauna van wilgen- en gagelstruwelen hebben vooral overeenkomsten met andere vochtige tot natte bostypen en lage vegetaties.

**Hogere planten, mossen en korstmossen**
Gagelstruwelen komen doorgaans voor op de meest zure en voedselarme standplaatsen, terwijl struwelen van grauwe wilg doorgaans op voedselrijkere en/of meer gebufferde bodem staan. Struwelen met geoorde wilg nemen een middenpositie in. De samenstelling van de ondergroei is in veel sterkere mate gekoppeld aan deze verschillen in bodemeigenschappen.
De meest zure en voedselarme standplaatsen worden gevormd door hoogveenranden, vochtige heiden en randen van zure, voedselarme vennen. Wilde gagel is hier dominant en heeft een sterke voorkeur voor standplaatsen waar sprake is van enige oppervlakkige stroming van grondwater. Dit wordt doorgaans ook weerspiegeld in de ondergroei. Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) is vaak de dominante soort in de ondergroei, zeker in gebieden met een hoge stikstofdepositie en op verdroogde standplaatsen. Daarnaast kunnen ook veenmossen uitgebreide tapijten vormen, met name Gewoon- en Gewimperd veenmos (*Sphagnum palustre* en S. *fimbriatum*). Op de plaatsen met een duidelijke grondwaterstroming komen vaak soorten als Veldrus (*Juncus acutiflorus*) en Draadzegge (*Carex lasiocarpa*) voor. Soms kunnen ook soorten aangetroffen worden van hoogvenen, natte heiden, kleine-zeggenmoerassen en vennen, zoals Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*), Witte snavelbies (*Rhynchospora alba*) en Wateraardbei (*Potentilla palustris*, synoniem: *Comarum palustre*). In de zonering worden deze struwelen aan de hogere zijde voorafgegaan door natte heiden met Beenbreek (*Narthecium ossifragum*). Ook deze begroeiing duidt op lateraal bewegend grondwater in de nabijheid van maaiveld.
Op iets minder voedselarme standplaatsen, zoals langs randen van vermeste vennen, worden de gagelstruwelen hoog en dicht en is er weinig plaats voor ondergroei. Daar waar ondergroei een kans krijgt, lijkt deze meer op die van wilgenstruweel, wellicht een teken dat de standplaats inmiddels meer hiervoor geschikt is voor de ontwikkeling van wilgenstruweel.

De ondergroei van wilgenstruwelen is botanisch niet bijzonder rijk en bestaat uit ruigtesoorten als Riet (*Phragmites australis*), Grote wederik (*Lysimachia vulgaris*) en Hennegras (*Calamagrostis canescens*). Daarnaast komen grotere zeggensoorten als Stijve zegge (*Carex elata*), Hoge cyperzegge (*Carex pseudocyperus*) en Pluimzegge (*Carex paniculata*) regelmatig voor. Op niet te donkere en niet te lang overstroomde plekken is de moslaag doorgaans goed ontwikkeld en tamelijk rijk aan meest algemene soorten. Dominant zijn vaak Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) en Hartbladig puntmos (*Calliergon*

*cordifolium*) en kenmerkend is Moerassnavelmos (*Oxyrrhynchium speciosum*). Op zuurdere en voedselarmere plaatsen, vaak overgangen naar berkenbroek of gagelstruweel, kunnen veenmossen dominant zijn.

Een groot verschil tussen wilgen- en gagelstruwelen is gelegen in de epifytische mosflora. Daar waar stammetjes van gagel arm aan mossen zijn, kan er op wilgenstammen en –takken een goed ontwikkelde mosflora voorkomen. Dit is te danken aan de basenrijke schors van wilgen, aan een vochtig microklimaat en aan de licht doorlatende kroon van wilgen. Op de kleinere takken komen vooral veel soorten Haarmutsen (*Orthotrichum*) en Kroesmossen (*Ulota*) voor. Pas vanaf 1992 is in Nederland Gesloten haarmuts (*Orthotrichum acuminatum*) waargenomen, met name in wilgenbossen en populierenaanplanten in zuidoost Brabant (van Tooren en Sparrius, 2007). Zeldzaam zijn ook Kale haarmuts (*O. pallens*) en Tonghaarmuts (*O. rogeri*)en op de rode lijst staan soorten als Ronde haarmuts (*O. patens*), Sterretjeshaarmuts (*O. rupestre*), Stijf kroesmos (*Ulota coarctata*), Kruipend kroesmos (*U. drummondii*) en Stekeltjesmos (*Pterigynandrum filiforme*). Ook veel soorten levermossen kunnen hier voorkomen, waaronder ook bedreigde soorten als het Blauw boomvorkje (*Metzgeria fruticulosa*) en Dwergwratjesmos (*Cololejeuna minutissima*). Op grotere, horizontale stammen en aan de stambasis overheersen grotere slaapmossen. Ook hier groeien veel bedreigde soorten, zoals Recht palmpjesmos (*Isothecium alopecuroides*), Grof etagemos (*Loeskebryum breviroste*), Stomp boogsterrenmos (*Plagiomnium ellipticum*) en Eekhoornmos (*Leucodon sciuriodes*). Kenmerkend zijn ook Kwastjesmos (*Platygyrium repens*), Boommos (*Pylaisia polyantha*) en Geplooid sikkelmos (*Sanionia uncinata*), en vermeldenswaardig is de opmars van het zeldzame Struisveermos (*Ptilium crista-castrensis*) in wilgenbroek. Deze lange opsomming laat zien dat wilgenbroekbossen bijzonder waardevol kunnen zijn voor mossen.

**Paddenstoelen**

Evenals voor de mosflora is ook voor de paddenstoelenflora het verschil in soortenrijkdom tussen gagelstruwelen en wilgenstruwelen zeer groot. Wilde gagel vormt geen ectomycorrhiza en er zijn geen specifieke paddenstoelen bekend voor het hout van Wilde gagel. Wel zijn er enkele soorten ascomyceten kenmerkend voor Wilde gagel: het Gagelmummiekelkje (*Ciboria acerina*) op afgevallen mannelijke katjes en het Gagelfranjekelkje (*Lachnum sulphurellum*) op twijgjes (Ellis & Ellis, 1985). In wilgenstruwelen kunnen grote aantallen mycorrhizabegeleiders, strooiselafbrekers en houtbewoners voorkomen. Ook komen veel mycorrhiza-vormende soorten voor in aangrenzende graslanden, heiden, bermen en greppelranden. Omdat deze aangrenzende biotopen vaak een schralere bodem hebben dan het wilgenstruweel zelf (in ieder geval minder organisch materiaal), komen hier weer andere soorten voor. Wilgenstruweel als zoomvegetatie heeft dus een duidelijke meerwaarde voor paddenstoelen, afhankelijk van de kwaliteit van het aangrenzende biotoop.

Onder de mycorrhiza vormende soorten bevinden zich veel Russula's (*Russula*), Vezelkoppen (*Inocybe*), Vaalhoeden (*Hebeloma*) en Zompzwammen (*Alnicola*) (Arnolds e.a., 1995). Grote geslachten als Gordijnzwammen (*Cortinarius*), Ridderzwammen (*Tricholoma*) en Melkzwammen (*Lactarius*) zijn minder goed vertegenwoordigd. Niettemin komen enkele tientallen bedreigde paddenstoelsoorten bij voorkeur in wilgenstruwelen voor. Locaties die langdurig onder water staan worden door paddenstoelen gemeden.

Onder de strooisel afbrekende soorten bevinden zich enkele tientallen soorten die specifiek zijn voor het geslacht wilg, maar niet nog specifieker voor grauwe of geoorde wilg. De meeste van deze soorten zijn Ascomyceten.

Enkele soorten Satijnzwammen (*Entoloma*) komen vooral in wilgenstruweel voor, maar de verspreiding van deze soorten is slecht bekend. Op afgevallen takken en oude stammen komen diverse soorten Bundelzwammen (*Pholiota*) voor, en ook een flink aantal onopvallende korstzwammen.
Ook op stammen en takken van wilgen bevindt zich een specifieke paddenstoelenflora. Bemoste stammen zijn het domein van een aantal Mycena soorten, waaronder bedreigde soorten als de Kleverige schorsmycena (*Mycena clavularis*), de Lilabruine schorsmycena (*M. meliigena*) en de Blauwgrijze schorsmycena (*M. pseudocorticola*). Op dunnere takken kan het eveneens bedreigde Egelzwammetje (*Phaeomarasmius horizontalis*) worden aangetroffen. In tegenstelling tot gagelstruwelen zijn wilgenstruwelen voor de mycoflora dus bijzonder waardevol. Er komen vele tientallen soorten bij voorkeur of uitsluitend in deze struwelen voor. Bijmenging met andere boomsoorten en/of de aanwezigheid van een reliëfrijke bodem doen de soortenrijkdom nog aanzienlijk toenemen. Voor mycorriza vormende soorten is voorts de aanwezigheid van minerale, voedselarme bodem grenzend aan wilgenstruweel een groot voordeel.

**Fauna**
Voor veel ongewervelde dieren vormt wilgenstruweel in het Nat zandlandschap een belangrijke bron van voedsel (Van Duinen e.a. 2012). Door de vroege bloeitijd is wilg één van de belangrijkste voorjaarsnectarbronnen voor bijvoorbeeld vroeg vliegende bijen en vlinders. Een sprekend voorbeeld hiervan is de Donkere wilgenzandbij (*Andrena apicata*). Deze soort nestelt op droge stuifzandachtige plaatsen, maar is in het vroege voorjaar grotendeels aangewezen op nectar van bloeiende wilg. Wilgen bieden niet alleen voedsel in de vorm van nectar en pollen maar ook de bladeren en hout dienen als voedsel voor ongewervelden. Wilg is de waardplant voor een aantal bijzondere nachtvlindersoorten, waaronder de zeldzame Hulstbladvlinder (Figuur 7.4, *Phyllodesma ilicifolia*) en de gemarmerde oogspanner (*Cyclophora pendularia*). Ook enkele dagvlinders hebben een relatie met de kleine ecotoop. Vochtige wilgenbossen vormen het leefgebied van de grote weerschijnvlinder (*Apatura iris*). Op de randen van vochtige bossen komt het bont dikkopje (*Carterocephalus paelemon*) voor.

De olie in de bladeren van Wilde gagel blijkt bij consumptie negatieve effecten te hebben op insecten (Stuart 1990). Desalniettemin vermelden Skene e.a. (2000) een redelijk groot aantal insecten dat is aangetroffen op gagel. Het betreft enkele keversoorten van de snuitkeverfamilie. Enkele soorten cicaden, schildluizen en wantsen, maar het zijn vooral nachtvlinders die geassocieerd worden met gagel. Maar liefst 50 soorten bladrollers en uilen worden genoemd, waaronder zeldzame soorten als geringde spikkelspanner (*Cleora cinctaria*), wolfsmelkuil (*Acronicta euphorbiae*), veenheide-uil (*Acronicta menyanthidis*), grote bosbesuil (*Eurois occulta*), geoogde w-uil (*Lacanobia contigua*), bruine bosbesuil (*Xylena solidaginis*), gageluil (*Lithophane lamda*) en heide-schaaruil (*Papestra biren*).

*Figuur 7.4: Rups van de Hulstbladvlinder (Phyllodesma ilicifolia) (fotograaf Frits Bink).*

*Figure 7.4: Caterpillar of* Phyllodesma ilicifolia *(photo Frits Bink).*

De hoge dichtheden aan ongewervelden zouden gagelstruwelen een geschikte opgroeiplek maken voor korhoenderkuikens (Baines e.a. 1996). Wilgen- en gagelstruwelen brengen ook structuur aan in het overwegend open Nat zandlandschap en bieden daarmee broedgelegenheid aan diverse struweelvogels als de blauwborst (Luscinia svecica), nachtegaal (Luscinia megarhynchos) en waterral (Rallus aquaticus).

Er blijkt dus redelijk wat bekend te zijn over het voorkomen van fytofage en bloembezoekende fauna in deze ecotopen. Hoe deze taxa reageren op aantastingen en veranderende standplaatscondities is echter niet bekend. Ook is niet bekend wat voor eisen zij stellen aan de struwelen in termen van oppervlakte en waardplantkwaliteit. Een groot gedeelte van de fauna zal zich in ecotopen met een hoge productie in de strooisellaag bevinden, het betreft met name detritivoren en soorten die daarop prederen of parasiteren. De bodembewonende fauna van wilgen- en gagelstruweel is echter bijzonder slecht bekend.

## 7.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Belangrijkste standplaatscondities**
De Associatie van Geoorde wilg betreft een typische overgangsgemeenschap in ruimte en tijd met een pH 4,5-5,5. Wilgenstruwelen worden aangetroffen op voedselarme tot matig voedselrijke en vochtige tot natte bodem. De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) ligt tussen de 13 en 48 cm onder maaiveld. Het grondwater staat in ieder geval in het groeiseizoen niet tot aan maaiveld. In de zomer kan het grondwater wegzakken, maar zelden tot meer dan een meter onder maaiveld. De Associatie van Grauwe wilg groeit op voedselrijkere standplaatsen. De bodem pH van deze gemeenschap ligt

tussen de 4,8-6,1. Ook is de associatie bestand tegen hogere waterstanden en kan deze perioden van inundatie goed verdragen (Bovenstaande getallen zijn afkomstig uit Synbiosis).

Veelal wordt deze ecotoop op de zandgronden in de successie voorafgegaan door kleine-zeggenmoerassen. Daarnaast worden wilgenstruwelen aangetroffen als een smalle gordel rond hoogvenen en vennen op plaatsen waar sprake is van toevoer van voedselrijker water. Ook kunnen wilgenstruwelen voorkomen in hoogvenen waarvan het veen enigszins is veraard. Wilgenbos kunnen zich ook ontwikkelen op kwelgebieden met matig zuur (Geoorde wilg) en zwak zuur (Grauwe wilg) grondwater. Deze kwel is in de meeste gevallen wel beperkt tot de winterperiode en in combinatie met innundatie van regenwater. Op de plaatsen met kwel van zuur water ontwikkelt zich het Zompzegge-Berkenbroek. Op plaatsen met inzijging onder langdurig natte omstandigheden ontwikkeld zich het Dophei-Berkenbroek. Indien de kwel sterker gebufferd is ontwikkeld zich elzenbroekbos.

De meeste gagelstruwelen binnen het nat zandlandschap behoren tot de Rompgemeenschap van de Klasse der hoogveenbulten en natte heiden. Ze ontwikkelen zich op vochtig tot nat, zeer voedselarme en zure tot zwak zure bodem (pH van 4-4,5) (Schaminée e.a, 1995). Deze is toe te schrijven aan laterale stroming van jong (zuur en mineralenarm grondwater (Jansen, 1994). Deel van de gagelstruwelen behoort tot de Rompgemeenschap van Verbond der Berkenbroekbossen. De Rompgemeenschap is karakteristiek voor situaties waarbij sprake is van afwisselend inzijging van regenwater en inundatie van oppervlaktewater of beïnvloeding doorgrondwater (Stortelder e.a., 1999). Gagelstruwelen komen hier voor op zeer voedselarme tot voedselarme en zure (pH 4) bodems. De bodems zijn vochtig tot nat. De gagelstruwelen die behoren tot de Rompgemeenschap van het Verbond der wilgenbroekstruwelen groeien op vochtige tot natte, zure tot zwak zure (pH 4-4,5) en matig voedselrijke bodems. Gagelstruwelen behorend tot de Rompgemeenschap van het Verbond van Zwarte zegge staan op nattere en minder zure bodems (pH 4,5-5).

**Sleutelprocessen**

De twee belangrijkste sleutelprocessen in het wilgenstruweel zijn hydrologie en successie. Op natte plekken in het nat zandlandschap, daar waar grondwater uitreedt of water stagneert, kunnen zich wilgenstruwelen ontwikkelen. Op natte, stagnante plekken vormen zij vaak het eindstadium van de successie. Maar als in de loop der tijd door accumulatie van bladmateriaal en afgestorven bomen het maaiveld stijgt en de invloed van regenwater toeneemt kan successie optreden richting Zompzegge-Berkenbroek (Carici curtae-Betuletum pubescentis). Op plaatsen waar gebufferde kwel uitreedt, bijvoorbeeld op natte graslanden waar het maaibeheer is stopgezet, ontwikkelt zich wilgenstruweel, deze kunnen later overgaan in Elzenzegge-elzenbroek (Carici elongatae-Alnetum). Op de langst geïnundeerde plaatsen kunnen Wilgenbroeken zich langdurig handhaven omdat deze te nat zijn voor de ontwikkeling van Elzenbroeken. Wilgenstruwelen kunnen behoorlijk gesloten zijn waardoor er weinig tot geen licht op de bodem komt op het moment dat er blad aan de bomen zit, wat de ontwikkeling van ondergroei remt. De vochtige en relatief koele klimatologische omstandigheden onder een wilgenstruweel zorgen voor een rijke mosbegroeiing, vooral op de stammen van de struiken. Wilgenstruwelen hebben voor fauna een grote waarde als nectarbron in het voorjaar.

Het belangrijkste sleutelproces voor gagelstruwelen is successie. Daarnaast spelen de factoren hydrologie en voedselrijkdom een belangrijke rol. Oppervlakkige beweging van grondwater is belangrijk om ontwikkeling van gagelstruwelen te krijgen. De grondwaterbeweging zorgt ervoor dat toxische stoffen, zoals ammonium, sulfide en gereduceerd ijzer, die ontstaan onder gereduceerde omstandigheden, niet op kunnen hopen.
Gagelstruwelen vormen een relatief bestendig onderdeel van het landschap vormen. Langdurige strooiselaccumulatie zorgt echter voor verzuring, waardoor berken zich tussen de gagel kunnen vestigen. Hierdoor ontstaat de Rompgemeenschap van het Verbond der berkenbroekbossen, dat zich in de loop der tijd tot berkenbroek ontwikkelt. Daarbij neemt de dominantie van gagel af door lichtlimitatie. Het voorkomen van gagel als ondergroei van berkenbroek vervult een belangrijke functie als broedgelegenheid voor diverse zangvogels.
In natte schraallanden komen gagelstruwelen tot ontwikkeling als gevolg van het staken van het maaibeheer (Schaminée e.a., 1995). Deze behoren tot de Rompgemeenschap van het Verbond van Zwarte zegge. Ook in het laagveen op Veenmosrietland (*Pallavicinio-Sphagnetum* 9Aa2) treedt deze successie op, waarbij uiteindelijk via moerasheide, een ontwikkeling richting elzenbroek inzet.
Ook op drijftillen in het natte zand- en laagveenlandschap komen gagelstruwelen tot ontwikkeling. De processen die daar aan ten grondslag liggen zijn nog niet onderzocht en vormen daarmee een kennislacune.

**Landschappelijke relaties**
Geschikte standplaatscondities voor wilgenstruwelen zijn binnen het Nat Zandlandschap op een flink aantal typen standplaatsen aanwezig: overal waar sprake is van voor het nat zandlandschap relatief voedselrijke omstandigheden.

- Langs het hoogveen komen wilgenstruwelen voor op natuurlijke groeiplaatsen waar sprake is van toevoer van basenrijker water. Op deze locatie komen wilgenstruwelen vaak samen voor met gagelstruwelen (RG *Myrica gale*-[*Oxycocco-Sphagnetea*])
- Rond heidevennen worden wilgenstruwelen ook op dergelijke plaatsen waargenomen. In het overstromingsbereik van voedselrijkere vennen kunnen grote wilgenstruwelen ontstaan, met vaak onvermoede natuurwaarden.
- In slenken op natte heiden kunnen zich ook wilgenstruwelen ontwikkelen. In de winter vindt in deze slenken doorstroming plaats van water over maaiveld. Het betreft hier basenhoudend water, dit ijzer is ijzerarm omdat dit hoger op de helling reeds is afgezet als Fe3+. In de ondergroei van dergelijke begroeiingen komen soorten voor als Gewone dotterbloem (*Caltha palustris*) en Waterviolier (*Hottonia palustris*). Dit zijn potentiële groeiplaatsen van Blauwgraslanden. Een voorbeeld hiervan is het Lonnekermeer.
- Ook op veel andere locaties is het voorkomen van wilgenstruwelen gekoppeld aan het uittreden van basisch grondwater. Op de plekken waar dit uittreedt is vaak elzenbroek of de vervangingsgemeenschap blauwgrasland aanwezig. Lager in het systeem stagneert dit water vaak in laagten en mengt het zich met regenwater, hier vormen zich doorgaans wilgenstruwelen.
- Op drijftillen in voedselrijkere vennen en oude Maasmeanders ontwikkelt zich ook vaak een wilgenstruweel. In voedselarmere situaties werd dit in het verleden gestimuleerd door de aanwezigheid van meeuwenkolonies; een rol die momenteel mogelijk wordt overgenomen door ganzen.

Gagelstruwelen hebben de kern van hun verspreiding binnen het Nat zandlandschap.

- Gagelstruwelen komen op vochtige heide voor in slenkvormige laagten waarbij laterale toestroom van jong grondwater vanuit nabijgelegen zandruggen plaatsvindt (Jansen 1994).
- Langs vennen ontwikkelen gagelstruwelen zicht op een helling met lateraal bewegend grondwater nabij maaiveld. De gagelstruwelen vormen daarbij de overgang van vochtige heide naar ven.
- Het is minder duidelijk welke processen de standplaats van gagelstruwelen langs de randen van hoogvenen bepalen. Vermoedelijk is op deze locaties hydrologisch gezien sprake van een afwisseling van regenwater en inundatie met oppervlaktewater of beïnvloeding van grondwater (Stortelder e.a., 1999) (Figuur 7.5). Op voedselarme drijftillen vindt vaak ook een successie plaats richting gagelstruweel. Helaas zijn veel van dergelijke groeiplaatsen verloren gegaan.

*Figuur 7.5: Een fraai ontwikkeld gagelstruweel langs het Ringselven (NB). Gedurende een groot deel van het jaar treedt hier met kanaalkwel aangerijkt grondwater uit en mogelijk vindt er soms directe inundatie plaats met kalk- en voedselrijk kanaalwater. (Fotograaf Hein van Kleef)*

*Figure 7.5: Well-developed bog myrtle shrubs along the Ringselven (Province of Noord-Brabant). Most of the year ground water enriched by seepage comes at the surface. Possibly direct inundation with calcareous and eutrophic water is taken place (photo Hein van Kleef).*

**Invloed mens**
De ontwikkeling van wilgenstruwelen wordt in veel gevallen door de mens beïnvloed. Op een aantal plaatsen (bijvoorbeeld in blauwgraslanden) ontstaan wilgenstruwelen als gevolg van het staken van het maaibeheer. Aan de rand van hoogvenen, vennen en natte heide komen wilgenstruwelen tot ontwikkeling als gevolg van de toestroom van voedingstoffen, zowel op natuurlijke wijze als lekwater uit het hoogveen of als door de mens verrijkt oppervlaktewater.

Gagel wordt al eeuwenlang door de mens gewaardeerd en geoogst. In de Middeleeuwen werd Wilde gagel bijvoorbeeld gebruikt bij het maken van bier. Wilde gagel wordt ook nog steeds om commerciële redenen geplukt, wat de belangrijkste reden is geweest om de plant in de jaren zeventig van de vorige eeuw tot beschermde plant te verklaren. In veel gagelrijke gebieden wordt actief opgetreden tegen illegale gagelknippers. Nog steeds worden gagelvelden verhuurd aan bedrijven die voor commerciële doeleinden gagel knippen. Deze zorgen ervoor dat het struweel niet verbost en illegale knippers geweerd worden.

## 7.4 Locaties van wilgen- en gagelstruwelen

Voorbeeldgebieden wilgenstruwelen:
- Eexterveld (Drenthse Aa), Dwingelderveld (Drenthe)
- Lonnekermeer, Sprengenberg, Aamsveen, Molenven, Mokkelengoor, Agelerbroek, Voltherbroek (Overijssel)
- Korenburgerveen, De Bruuk, Empese en Tondese heide, de Zumpe (Gelderland)
- Weerterbos, Deurnese peel, Kampina (Noord-Brabant)

Voorbeeldgebieden gagelstruweel:
- Appelbergen (Drenthse Aa), Eexterveld (Drenthse Aa), Dwingelderveld (Drenthe)
- De Kersdijk, de Wildernis – Hartjesbos, Twickel, Punthuizen, Stroothuizen (Overijssel)
- Korenburgerveen, Tongerense heide, Gorsselse heide, Empesense en Tondense heide (Gelderland)
- Reuselse moeren, De Malpie (Noord-Brabant)
- Brunssummerheide (Limburg)

## 7.5 Bedreigingen en aantastingen

Wilgen- en gagelstruwelen worden vooral bedreigd door veranderingen in waterstanden, vermesting en menselijk ingrijpen. Alhoewel de wilgenstruiken zelf veel kunnen doorstaan wat betreft veranderingen in de standplaats, is het vooral de ondergroei die daarop sterk reageert. Verdroging is een belangrijke oorzaak voor de achteruitgang van wilgenstruwelen. Door de ontwatering van natuurgebieden, maar ook door regionale oorzaken zoals drinkwaterwinning, dalen waterstanden in natuurterreinen. Als de grondwaterstand daalt, raakt de bodem beter doorlucht en treedt mineralisatie op van organisch materiaal. De toename van nutriënten zorgen voor verruiging van de ondergroei met braam, framboos en brandnetel. Ook komt het tegenwoordig vaker voor dat waterstand juist snel stijgt als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding. Bij een te hoge waterstand sterven de struiken af.

Al hoewel er voor Wilgentruweel geen berekeningen zijn van de kritische depositie van N, zijn de wilgen zelf vermoedelijk relatief ongevoelig aangezien zij voorkomen op de lagere delen in het terrein waar voedingsstoffen accumuleren. Het struweel als geheel (inclusief ondergroei, epifyten en bodemdieren) kan wel degelijk gevoelig zijn voor stikstofdepositie. De kenmerkende epifytische korstmossen en zwammen zijn mogelijk veel gevoeliger voor N vermesting. Vermesting met P leidt wel tot een verandering in de ondergroei, waarbij in de natte delen soorten als mannagras en kroos en in de drogere delen brandnetel en braam gaan domineren. Daarbij moet worden opgemerkt dat onder lichte aanrijking met nutriënten (N en P) wilgenstruweel juist tot ontwikkeling kan komen.
Een opmerkelijke bedreiging is dat wilgenstruweel vaak wordt opgeruimd in natte heidegebieden, in leemputten en dichtgegroeide watertjes. Oorzaak is dat deze ecotoop door beheerders vaak wordt gezien als eutrofiëringsverschijnsel of als minder waardevol biotoop dan de lage vervangingsgemeenschappen. Langs venranden wordt wilgenstruweel vaak geruimd om bladinval en beschaduwing te verminderen, de windwerking te vergroten en weer vlakke, kale oevers te maken. Er wordt echter zelden gekeken wat de natuurwaarden van deze wilgenstruwelen zijn.
In kleinschalig cultuurlandschap ontstaan vaak wilgenstruwelen langs lijnvormige elementen. Deze vallen vaak ten prooi aan netheidsdrang, terwijl de meerwaarde in zo'n landschap juist groot kan zijn.

Ook gagelstruwelen zijn gevoelig voor verdroging. Door verdroging vallen de laterale stromen van jong grondwater weg. Naast verandering in vochtigheid, leidt dit ook tot mineralisatie van organische stof. De voedingsstoffen die daarbij vrijkomen leiden vooral tot veranderingen in de ondergroei, aangezien gevestigde gagelstruiken onder deze omstandigheden nog lang kunnen standhouden. Soorten als Pijpestrootje zullen echter gaan domineren (Stortelder e.a., 1999). Door verdroging zal er een versnelde successie naar berkenbroekbos optreden. Overigens ook bij sterke vernatting zullen gagelstruiken afsterven.

Gagel is aangepast aan groei onder stikstof en fosfaatarme omstandigheden. De plant gaat een symbiose aan met ectomycorrhiza, die zorgen voor de opname van nutriënten. Alleen onder natte condities ontbreekt deze symbiose (Harley & Harley, 1987). Tevens vormt de plant clusters van wortelen, waarin grote hoeveelheden organische zuren worden vrijgelaten. Dit leidt tot het vrijkomen van fosfaat van ijzerfosfaten. Bij toenemende beschikbaarheid van fosfaat worden deze clusters minder gevormd (Crocker & Schwintzer, 1994). Over de gevoeligheid voor stikstofdepositie van gagelstruwelen is geen informatie beschikbaar. Echter voor de diverse vervangingsgemeenschappen zijn die wel voorhanden. Kritische depositie niveaus zijn voor vochtige heide (1214 $mol \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$), hoogveentjes (786 $mol \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$) en berkenbos (1800 $mol \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$). Daardoor kan verwacht worden dat ook gagelstruwelen zeer gevoelig tot gevoelig zijn voor N-depositie. Waarschijnlijk zijn de gagelstruiken zelf beter bestand tegen N vermesting dan de soorten in de ondergroei. Indien het toestromende water verrijkt raakt met fosfaat en sulfaat vindt successie plaats richting wilgenstruweel, of gaat Sporkehout (*Rhamnus frangula*) domineren. Veel gagelstruwelen verdwijnen doordat (berken)opslag niet meer verwijderd wordt en een geleidelijk successie naar berkenbroekbos optreedt. Door verdroging wordt dit proces versneld.

## 7.6 Herstelmaatregelen

**Wilgenstruweel**
De meeste wilgenstruwelen in (voormalige) heidegebieden zijn ontstaan nadat de mens zich heeft teruggetrokken waardoor maatregelen als maaien en begrazen achter wegen bleven. Struweel van de Associatie van Grauwe wilg kan zich goed ontwikkelen wanneer de juiste hydrologische condities aanwezig zijn, er geen sterke vermesting via (grond-)water optreedt en de invloed van kappen of begrazing beperkt of afwezig is. Voor de Associatie van Geoorde wilg is de landschappelijke context ook van belang, aangezien zij thuishoort op de overgang van hoogveen naar berkenbroekbos. Herstel van deze gradiënt via hoogveenherstelmaatregelen verloopt langzaam. Het is daarom verstandig om voorzichtig om te springen met het kappen van bestaande struwelen van deze associatie en daarmee te wachten tot de gradiëntzone zich voldoende ontwikkeld heeft. Uit de beheerpraktijk is bekend dat bij de juiste hydrologische omstandigheden wilgen massaal kiemen na plaggen. De ontwikkeling van wilgenstruwelen is als deze locaties met rust gelaten worden een kwestie van tijd.

Al hoewel P vermesting kan leiden tot ontwikkeling van wilgenstruweel, zorgt sterke eutrofiëring voor een afname van de kwaliteit van het struweel. Mogelijkheden om vermesting tegen te gaan zijn afhankelijk van de oorsprong van de nutriënten, bijvoorbeeld grote aantallen ganzen of meeuwen en aanvoer van met fosfaat of sulfaat verrijkt water. Momenteel worden ganzen bestreden door het verstoren van adulten, vernietigen van nesten en afschot. Deze maatregelen zijn echter niet duurzaam, aangezien populaties zich snel kunnen herstellen. Alternatieve meer natuurlijke beheersmaatregelen zijn momenteel echter niet voorhanden.

Verdroging van struwelen kan worden aangepakt door ontwatering te verminderen, aanvoer van water te vergroten en door vanuit de voedingsgebieden de toestroom van freatisch grondwater te herstellen. Dat kan door het dichten van ontwateringsloten, rabattenstelsels, begreppeling e.d., zowel in het terrein zelf als in het omliggende gebied en door verwijderen van bos in het inzijggebied. Overigens kan een te intensieve verdrogingsbestrijding ook leiden tot sterfte van struweel, indien dat te snel gebeurt.
Bestrijding van wilgenstruweel, moet weloverwogen plaatsvinden. Ze vormen namelijk een belangrijke voedselbron voor ongewervelden uit het omliggende landschap. Veel van de kruiden, die een natuurlijke nectarbron vormen, zijn verdwenen of schaars geworden in het landschap. Wilgen vormen daarmee een laatste alternatief voor veel bloembezoekende insecten. Daarnaast zijn deze struwelen een waardevol biotoop voor paddenstoelen, korstmossen en mossen. Een positief punt is het recente herstel van de epifytische mosflora in wilgenbroek. Vermoed wordt dat dit samenhangt met de verbetering van de luchtkwaliteit (van Tooren & Sparrius, 2007).

**Gagelstruweel**
Er is weinig ervaring met herstelbeheer van gagelstruweel. Nadruk in het beheer hiervan ligt namelijk op het behoud en uitbreiding in plaats van op herstel. Verdroging van gagelstruweel kan verschillende oorzaken hebben, waaronder bebossing van het inzijggebied, ontwatering in omliggend terrein en waterstanddaling in aangelegen vennen en hoogveen. Maatregelen als het verwijderen van bos en dempen van ontwateringstelsels kunnen worden genomen, om de verdroging tegen te gaan. Ook kunnen slechtdoorlatende lagen waarover water toestroomt lek raken en leiden tot verdroging. Het is

echter niet bekend onder welke omstandigheden (met uitzondering van fysieke verstoring) dat gebeurt en hoe deze hersteld kunnen worden.

Vermesting van gagelstruwelen treedt op als er aanvoer is van fosfaatverrijkt water, bijvoorbeeld doordat het aangrenzende ven of hoogveen gekoloniseerd is door ganzen. Naast het verschralen van aangrenzende voedselrijkere gronden, verwijderen of loskoppelen van de vermestingsbron kan het nodig zijn om de fosfaatverrijkte toplaag van de bodem oppervlakkig af te plaggen tot op de laag waarbij minder invloed is van fosfaat in de bodem, dit echter nooit zo diep dat een waterbak ontstaat. Ook mag nooit zo diep geplagd geworden dat dit negatieve invloed heeft op lokale grondwaterstromen. Daarbij is het van belang dat daarbij de aanwezige slecht doorlatende lagen niet worden beschadigd. Uit de beheerpraktijk is bekend dat Wilde gagel zich massaal kan verjongen op recent geplagde locaties, met name als er op enige afstand gagelstruwelen aanwezig zijn. De ontwikkeling van struwelen is hier slechts een kwestie van tijd. Het niet bekend of andere maatregelen, zoals drukbegrazing, geschikt zijn om vermesting van gagelstruweel te herstellen. Vroeger werden gagelstruwelen sterk door mensen beïnvloed, omdat de gagel regelmatig werd geoogst. Vaak blijken kleinschalige mens-natuur systemen bijzondere natuurwaarden te bezitten. Bekende voorbeelden zijn kleinschalige akkertjes op de heide, viskweek in vennen en het wassen van schapen. Het is echter niet bekend of van het snijden van gagel ook bijzondere natuurwaarden kunnen profiteren, bijvoorbeeld door verjonging van de planten en bijbehorende plant-dier interacties of het vergroten van de heterogeniteit van gagelstruwelen.
Een andere kennislacune is of en hoe met beheer de ontwikkeling van gagelstruweel op drijftillen gestuurd kan worden.

**Kennislacunes**

- De bovengrondse fauna van zowel wilgen- als gagelstruweel is goed bekend. Echter in bossen en struwelen bevindt zich de meeste fauna meestal in de bodem. Vreemd genoeg is deze bij beide typen struweel zeer slecht bekend en het is ook niet duidelijk hoe deze bodemsoorten reageren op veranderingen in hydrologie en nutriëntenhuishouding.
- Er is weinig bekend over de sleutelfactoren in het voorkomen van gagelstruweel op drijftillen in laag- en hoogveen.Dat maakt het moeilijk om daarvoor adequate beheersmaatregelen te formuleren.
- De gevoeligheid van wilgen- en gagelstruweel voor stikstofdepositie is niet bekend.
- Een kennislacune is hoe vermestende ganzen duurzaam en adequaat bestreden kunnen worden.
- Er is weinig ervaring met herstel van gagelstruwelen. Enkele voorbeeldprojecten met een goede monitoring kunnen deze kennislacune opvullen. Vooral maatregelen ter bestrijding van vermesting zijn onvoldoende bekend.
- Er is weinig kennis over het lek raken en herstel van slecht doorlatende lagen in de ondergrond. Meer inzicht in de betrokken processen is nodig om deze te kunnen beheren.
- Rol van nutriënten en basen/buffering in toestromend water in relatie tot natuurlijke standplaatsen voor wilgenstruweel in nat zandlandschap en door verstoring (eutrofiëring) ontstane standplaatsen.

## 7.7 Slot

**Synthese**
Wilgenstruwelen komen voor op plaatsen waar toevoer is van voedselrijk basenrijk water, bijvoorbeeld in slenken, aan randen van hoogveen en langs voedselrijke vennen. Twee associatie worden in het nat zandlandschap aangetroffen. De Associatie van Geoorde wilg vormt een ruimtelijke overgang tussen hoogveen en berken- of elzenbroek. De associatie met Grauwe wilg komt voor op voedselrijkere bodems, zoals aan de randen van vermeste vennen. Gagelstruwelen zijn door Wilde gagel gedomineerde struwelen die in het nat zandlandschap voorkomen langs randen van vennen en hoogvenen, op of langs vochtige heide en in moerassen met kleine zeggen, wilgen en berken. De struwelen staan op plaatsen waar grondwater tot in de wortelzone of boven maaiveld staat. Vooral wilgenstruwelen hebben weinig aandacht gehad in het Nederlandse natuurbeheer.

De gemeenschappen van gagel- en wilgenstruwelen kunnen bijzonder soortenrijk zijn. De ondergroei van gagelstruweel kan bestaan uit soorten van hoogvenen, natte heide, kleine-zeggenmoerassen en vennen. Bij hogere concentraties nutriënten worden de gagelstruiken hoog en gaat de ondergroei meer lijken op die van de botanisch weinig interessante wilgenstruwelen, die uit ruigtesoorten bestaat. Wilgenstruwelen zijn daarentegen wel van groot belang voor een groot aantal soorten paddestoelen en epifytische mossen. Gagel- en wilgen zijn waardplant van een groot aantal soorten ongewervelden en bieden tevens broedgelegenheid voor diverse vogelsoorten. Daarnaast spelen wilgenstruwelen een belangrijke rol voor vroeg-vliegende bijen, hommel en vlinders, aangezien wilg vaak de enige nectarbron is in het vroege voorjaar. Van de bodemfauna van deze stuwelen is bijzonder weinig bekend.

Wilgen- en gagelstruwelen worden vooral bedreigd door veranderingen in waterstanden, vermesting en menselijk ingrijpen. De struwelen kunnen redelijk veel doorstaan wat betreft verdroging en vermesting en het is vooral de ondergroei die daarop sterk reageert. De toename van nutriënten zorgen voor verruiging van de ondergroei met braam, framboos en brandnetel. Ook komt het tegenwoordig vaker voor dat waterstand juist snel stijgt als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding. Bij een te hoge waterstand sterven de struiken af. Een opvallende bedreiging voor wilgenstruweel is dat deze ecotoop door beheerders vaak wordt gezien als eutrofiëringsverschijnsel of als minder waardevol biotoop dan de lage vervangingsgemeenschappen en daarom wordt geruimd.

Er is weinig ervaring met herstel van wilgenstruweel. Struweel van de Associatie van Grauwe wilg kan zich goed ontwikkelen wanneer de juiste hydrologische condities aanwezig zijn, er geen sterke vermesting via (grond-) water optreedt en de invloed van kappen of begrazing beperkt of afwezig is. Voor de Associatie van Geoorde wilg is de landschappelijke context ook van belang, aangezien zij thuishoort op de overgang van hoogveen naar berkenbroekbos. Daarnaast zijn de struwelen gebaat bij maatregelen die vermesting en verdroging tegengaan.

De bodembewonende natuurwaarden van deze struwelen zijn slecht bekend en daarnaast is het het is ook niet duidelijk hoe deze bodemsoorten reageren op veranderingen in hydrologie en nutriëntenhuishouding. Er is onvoldoende kennis van de herstelmogelijkheden van gagelstruweel op drijftillen en andere plaatsen in het nat zandlandschap. Daarnaast is er te weinig ervaring met

maatregelen ter bestrijding van vermesting (door bijv. ganzen) en met herstel van waterkerende lagen.

Struwelen gedomineerd door Gagel en Wilg zijn belangrijke leefgebieden voor een groot aantal mossen, paddenstoelen en ongewervelden. Naast vermesting en verdroging worden zijn bedreigd door beheersmaatregelen, zoals het ruimen van struweel en sterke vernatting. Verschillende maatregelen zijn waarschijnlijk geschikt om deze ecotopen te herstellen, maar met gericht herstel is vrijwel geen ervaring. Nader onderzoek wordt daarom aanbevolen.

Een geschikt aanpak zou kunnen zijn:

- inventarisatie van belangrijkste natuurwaarden en relaties met hydrologie en nutriënten.
- analyse van sleutelprocessen
- herstellen van sleutelprocessen
- evaluatie van biotische ontwikkeling

*Met dank aan: Gert-Jan van Duinen (Bargerveen) en Rob van den Burg (Bosgroepen-Zuid).*

# 8 Berkenbroekbossen

## 8.1 Indeling

**Omschrijving ecotoop**
Berkenbroek is door Zachte berk (*Betula pubescens*) gedomineerd bos op zure, natte bodem. Vooral op minder natte plekken en een minerale bodem is vaak een aandeel Ruwe berk (*Betula pendula*), Zwarte els (*Alnus glutinosa*), Zomereik (*Quercus robur*), Grove den (*Pinus sylvestris*) of Fijnspar (*Picea abies*) aanwezig. De ondergroei wordt gedomineerd door veenmossen, grasachtigen of dwergstruiken van natte heide, hoogveen en zure schraallanden. In het nat zandlandschap is berkenbroekbos meestal aanwezig in laagten in ontginningsbossen, langs hoogveen, vennen, natte zure laagten en langs zure bovenlopen van beken. In de loop der successie kan het berkenbroekbos zich verder uitbreiden ten koste van de open, nattere delen van deze biotopen. Deze successie wordt versneld door onder meer verdroging.

Berkenbroekbos heeft tot op heden weinig aandacht gehad in het Nederlandse natuurbeheer. Net als andere bostypen is ook het oorspronkelijke berkenbroekbos al eeuwen geleden ontgonnen. Een halve eeuw geleden gold berkenbroek als een zeer zeldzaam bostype (Weeda e.a., 2005). In veel

opnamen uit de periode 1930-1950 zijn graslandsoorten of hakhoutgewassen aanwezig, die erop wijzen dat er destijds vrijwel alleen jonge berkenbroekbosjes aanwezig waren.
In de huidige natuurreservaten zijn vooral verdroogde vormen aanwezig waar de waterstand in de zomer diep kan wegzakken. Indien er nog een moerige laag aanwezig is, domineert Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) dan vaak in de ondergroei. Daar waar deze helemaal verdwenen is, komen vochtige Berken-eikenbossen voor. Daarnaast treedt er ook vaak spontane vorming op, bijvoorbeeld op natte heiden, langs vennen en hoogvenen en in zure schraallanden. Het (herstel-)beheer in deze ecosystemen is er vooral op gericht om bosvorming tegen te gaan, met als resultaat dat het oppervlak secundair, goed ontwikkeld berkenbroekbos gering is. Ook in natte laagten, langs plateau- en terrasranden en in reliëfrijke heideontginningsbossen ontstaan lokaal berkenbroeken door staken van onderhoud aan interne ontwateringsstelsels. Hoewel hier kansen liggen voor uitbreiding van het areaal blijft het meestal bij fragmenten omdat de waarde van berkenbroekbos als onderdeel van grotere boscomplexen door beheerders onderschat wordt.
In Nederland zijn meer dan 60 bosreservaten ingesteld, maar zuiver berkenbroekbos ontbreekt (Bijlsma, 2008). In het Overijsselse reservaat Molenven bijvoorbeeld, bestaat 7 van de 42 hectare van het reservaat uit berkenbroek. Alleen het Grootvenbos in de Deurnse peel en enkele broekbossen op laagveen kennen een groot aandeel berkenbroek. In het pre-advies natte bossen is de aandacht voor berkenbroekbos eveneens gering (Poels e.a., 2000). In dat pre-advies is er beduidend meer aandacht voor elzenbroekbos (blz. 65) en in het fauna-overzicht wordt berkenbroekbos niet eens genoemd (blz. 73). In een recent overzicht van herstelmaatregelen in Vlaanderen komt berkenbroekbos niet voor (Decleer, 2008). Tot slot zijn in het kader van de Vierde bosstatistiek 8 hoofdtypen bos onderscheiden, maar is berkenbroekbos alleen summier beschreven als natte variant van het Zomereiken-berkenbos (Dirkse, 1993).
In vergelijking met actuele oppervlak aan goed ontwikkeld berkenbroekbos, is het potentiële oppervlak in het nat zandlandschap aanzienlijk groter. Het omvat een deel van de huidige groeiplaatsen van natte heide; natte heiden waar het grondwater in de zomer diep wegzakt ontwikkelen zich tot vochtige bossen. Verder zijn veel berkenbroekbossen ontwaterd, waardoor nu de vochtige variant van het berken-eikenbos aanwezig is. In onze hoogveenreservaten zijn vaak aanzienlijke oppervlakten natte of vernatte randzone aanwezig waar zich berkenbroekbos kan vormen .

**Aansluiting bij andere indelingen**

*Natura2000*
Berkenbroekbos is in Nederland niet beperkt tot het nat zandlandschap, maar komt ook voor in bijvoorbeeld laagvenen, beekdalen en duinen.
Een deel van de vochtige duinbossen (H2180_B) bestaat uit Zompzegge-berkenbroek (*Carici curtae-Betuletum*) of uit berkenbroekbos met veel braam (*Rubus agll. fruticosus*) in de ondergroei. Door de ligging in het duinlandschap worden deze bossen hier verder niet besproken. Ook in het laagveenlandschap zijn fraai ontwikkelde berkenbroekbossen aanwezig, bijvoorbeeld rond het Naardermeer. Deze zijn vaak ontstaan door verzuring van de toplaag van beter gebufferde vegetaties en worden gerekend tot het Elzen-Berkenbroek (*Alno-Betuletum*). Ook berkenbroekbossen uit de laagvenen worden hier verder niet specifiek behandeld.
De berkenbossen op actief hoogveen (H7110_A) of herstellend hoogveen (H7120) bestaan uit Dophei-berkenbroek (*Erico-Betuletum*) of Zompzegge-berkenbroek (*Carici-curtae Betuletum*). Ook kan het berkenbroek in de

ondergroei gedomineerd worden door Wilde gagel (*Myrica gale*) of Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*). De indeling in enerzijds actief hoogveen (H7110_A) en anderzijds herstellend hoogveen (H7120) berust op een landschappelijke indeling en heeft een ontwikkelingscomponent in zich. Alle berkenbroekbossen buiten het hoogveenlandschap in de zin van H7110_A en H7120 (dus de boomarme hoogveenkern) en buiten de duinen vallen in de Natura2000 indeling onder de hoogveenbossen (H91D0). Dit zijn bossen op veenbodems in allerlei landschappen, inclusief berkenbos op hoogveen dat niet als H7110_A of H7120 is aangemeld. Het Berkenbroekbos zonder veenvorming wordt binnen de Natura2000 indeling niet onderscheiden.

*Natuurdoeltypen*
Berkenbroekbossen, inclusief die in het laagveenlandschap, vallen onder het natuurdoeltype hoogveenbos (3.63) (Bal e.a., 2001). Ze vallen niet onder het natuurdoeltype bos van bron en beek (3.67). Ook in deze indeling worden dus geen beekbegeleidende berkenbroekbossen onderscheiden. Wel worden brede beekdalen in de beschrijving genoemd als standplaats.

*Subsidiestelsel Natuur-en Landschapsbeheer (SNL)*
In de SNL regeling worden slechts drie bostypen onderscheiden. Berkenbroekbos valt hier binnen het Hoog- en laagveenbos (N14.02). Het berkenbroekbos van mineraalarme bovenlopen van beken wordt in het systeem niet genoemd. In theorie vallen die onder de beekbegeleidende bossen (N14.01), maar dit type omvat alleen de mineraalrijkere en vaak voedselrijkere bossen.

*Plantengemeenschappen*
Stortelder e.a. (1998, 1999) onderscheiden binnen de klasse der berkenbroekbossen slechts twee gemeenschappen. Dit zijn het Dophei-berkenbroek (*Erico-Betuletum pubescentis*) (40Aa1) en het Zompzegge-berkenbroek (*Carici-curtae Betuletum pubescentis*) (40Aa2). Het Dophei-Berkenbroek komt voor aan de randen van hoogvenen, terwijl het Zompzegge-Berkenbroek zowel in laagveengebieden als in en langs natte laagten in het zandlandschap optreedt. Bijvoorbeeld langs vennen, bovenlopen van beken of in oude maasmeanders.

Van der Werf (1991) onderscheidt Berkenbroek (*Periclymeno-Betuletum pubescentis*) en Berken-elzenbroek (*Alno-Betuletum pubescentis*). Onder het Berkenbroek rekent hij niet alleen de berkenbroekbossen op hoogveen, maar ook de berkenbroekbossen op mineraalarme zandgronden. Het Berken-elzenbroek zou zich in het zandlandschap ontwikkelen door verzuring van het Moerasvaren-elzenbroek.

In België wordt naast het berkenbroek op hoogveen alleen het Elzenberkenbroek (*Sphagno-Alnetum glutinosae*) erkend (de Becker e.a., 2004). De Elzen-berkenbroeken komen zeer wijd verspreid in Vlaanderen voor met hoofdverspreiding op het Kempens plateau (Vallei van de Zwarte beek, Bosbeek, Grote en Kleine Nete, Mangelbeek, Aabeek, Laambeek, Dommel). Kortom in zowat alle beekdalen die van het Kempens plateau afstromen.

Goed ontwikkeld veenbos behoort in hoogveengebieden tot de associatie Dophei-Berkenbroekbos. Bij verdroging wordt de veenlaag steeds dunner en ontwikkelt zich eerst de Pijpenstrootje-rompgemeenschap van het berkenbroekbos (40Aa R2) en vervolgens de associatie Berken-eikenbos (*Betulo-Quercetum*) (42Aa1). Langs randen van hoogvenen en vennen kunnen zich uitgebreide gagelstruwelen ontwikkelen. Wanneer daar veel berken in opslaan ontwikkelt zich een berkenbroekbos waarin Wilde gagel

(*Myrica gale*) zich nog lang kan handhaven in de ondergroei. Deze gemeenschap wordt wel opgevat als een rompgemeenschap behorende tot de klasse der berkenbroekbossen, maar wordt hier verder niet als apart type behandeld. Mogelijk heeft dit bostype vooral specifieke waarde door de gevarieerde structuur, waarin berkenbomen, gagelstruwelen en lage vegetaties elkaar afwisselen. Zie hiervoor het hoofdstuk over struwelen. Wanneer het kronendak van de berken zich sluit, kan Wilde gagel nog lang in kwijnende staat aanwezig blijven, maar lijkt de meerwaarde hiervan voor het berkenbroek gering. Vooral in laagveengebieden komt ook een rompgemeenschap voor met in de ondergroei dominantie van braam (*Rubus* spec.), evenals een derivaatgemeenschap met veel Appelbes (*Aronia x prunifolia*), ook deze worden hier niet behandeld.

Een bostype dat alleen van enkele plekken in Vlaanderen bekend is, is een door berken gedomineerd bronbos. Deze bronbossen zijn te vinden langs de volledige zuidrand van Vlaanderen. Waar die gevoed worden met mineraalarm grondwater, ontstaan op de bronlocaties zelf "veenkuipjes" van enkele tientallen vierkante meters grootte. In die veenkuipjes (veenpakketten tot meer dan een meter dik) zijn dan dezelfde soorten te vinden als hierboven beschreven, maar regelmatig aangevuld met tapijten Wolmos (*Trichocolea tomentella*) en populaties Glansmos (*Hookeria luscens*), en dat alles in een matrix van Vogelkers-essenbos (*Pruno-Fraxinetum*) . Ook dit bostype wordt hier verder niet behandeld.

**Typologie in dit pre-advies**

Voor het beheer van berkenbroekbos zijn vooral verschillen in hydrologie, landschappelijke context en soortensamenstelling van belang. Dit zijn dan ook de parameters die hier gebruikt zijn om een indeling te maken in typen berkenbroekbos. Verder is geprobeerd om deze indeling zo veel mogelijk te laten aansluiten op bestaande indelingen. Zoals uit bovenstaand overzicht blijkt, spreken deze indelingen elkaar soms tegen of zijn belangrijke bostypen niet gedefinieerd. Daarom stellen we hier een provisorische indeling voor, die meer recht doet aan de bestaande typen berkenbroekbos. Indien dit pre-advies leidt tot verder onderzoek, ligt het voor de hand deze indeling nog eens tegen het licht te houden.

In dit pre-advies onderscheiden we op standplaatsniveau drie typen berkenbroekbos: berkenbroekbos op hoogveen (Hoogveen-berkenbroek), berkenbroekbos ontstaan uit laagveenverlanding (Laagveen-berkenbroek) en berkenbroekbos in laagten en langs randen van de hogere zandgronden (Doorstroom-berkenbroek). De standplaats van Hoogveen-berkenbroek wordt gekenmerkt door een zure veenbodem, een grondwaterpeil dat in de winter aan maaiveld staat en in de zomer enkele decimeters wegzakt, en het vrijwel ontbreken van zijdelingse grondwaterbewegingen. De natuurlijke vervangingsvegetatie is vooral hoogveen. Dit type komt goed overeen met de vegetatiekundige naamgeving Dophei-berkenbroek. De natura2000-naam hoogveenbos omvat naast dit bostype ook delen van het Laagveen-berkenbroek.

Laagveen-berkenbroek bestaat uit berkenbroekbossen die ontstaan uit laagveenverlanding. Kenmerkend is de aanwezigheid van een zure toplaag (hoogveen) op een meer gebufferde onderlaag (laagveen). Overname van de vegetatiekundige benaming is hier problematischer. Zowel de naam Elzen-berkenbroek als de naam Zompzegge-Berkenbroek omvatten berkenbroektypen van zowel het Laagveen-berkenbroek als het Doorstroom-berkenbroek. Een goed onderscheid is op plantensociologische gronden niet

te maken omdat de samenstelling aan hogere planten niet wezenlijk verschilt, tenzij ook de mosflora en mycoflora hierbij wordt betrokken.

Doorstroom-berkenbroek wordt gevormd gekenmerkt door aanvoer van mineraalarm grondwater gedurende een groot deel van het jaar. Afhankelijk van de mate van grondwateraanvoer en de samenstelling van dit grondwater kan op de minerale bodem wel of geen veenvorming optreden. Dit type is vooral in Nederland sterk onderbelicht gebleven en voor zover vegetatiekundig beschreven opgenomen bij het Zompzegge-Berkenbroek. In Vlaanderen is de naam Elzen-berkenbroek meer gangbaar, maar daar is het Laagveen-berkenbroek niet of nauwelijks aanwezig, of in ieder geval niet als zodanig beschreven.
Voor het Laagveen-berkenbroek en het Doorstroom-berkenbroek moet een duidelijke afgrenzing worden gemaakt met het elzenbroekbos. In laagveenverlandingen ontwikkelt elzenbroekbos zich geleidelijk tot Zompzegge-berkenbroek. Naarmate de bovenste bodemlaag verder verzuurt, blijft verjonging van Zwarte els achterwege en breidt Zachte berk zich uit. Echter, zo lang Zwarte els dominant aanwezig blijft in de boomlaag, wordt deze vegetatie gerekend tot het Moerasvaren-elzenbroek (Thelipterido-Alnetum), en wel de vorm met veenmosontwikkeling in de ondergroei (subassociatie sphagnetosum). In de beekdalhoofden wordt het aandeel Zwarte els vooral bepaald door de mineralenrijkdom van het toestromende grondwater en van de ondergrond. In navolging van de opvattingen in Vlaanderen wordt hier aangehouden dat er sprake is van berkenbroek zo lang er meer Zachte berk dan Zwarte els voorkomt.

De indeling in de drie genoemde berkenbroektypen is op verschillende manieren te onderbouwen. Ze komen op verschillende plaatsen in het landschap voor, de hydrologie is duidelijk verschillend en ook de flora en fauna vertoont grote verschillen. Deze onderbouwing zal in de komende hoofdstukken gegeven worden, en is kort samengevat in tabel 8.1.

*Tabel 8.1: Indeling van Berkenbroekbos van het nat zandlandschap zoals deze in dit pre-advies wordt gehanteerd. De berkenbroekbossen in het laagveenlandschap worden hier niet behandeld, maar vallen meest binnen de laagveenvariant van het Zompzegge-Berkenbroek.*

*Table 8.1: Categorization of birch woods of the wet sandy areas. Birch woods of fen areas are not discussed in this report.*

| Naam | Landschap | Standplaats/ hydrologie | Soorten (myco-)flora | Gemeenschappen op verwante standplaatsen |
|---|---|---|---|---|
| Hoogveen-berkenbroek | Hoogvenen<br>Hoogveenvennen | Zure veenbodem<br>stagnant, zuur water | Eenarig wollegras<br>Hoogveenveenmos<br>Veenmosrussula | Hoogveen |
| Laagveen-berkenbroek | Gevorderde laagveenverlanding | Gebufferde veenbodem met verzuurde toplaag:<br>Regenwaterlens op grondwater of oppervlaktewater | Snavelzegge<br>Violet veenmos | Moerasheide<br>Veenmosrietland |
| Doorstroom-berkenbroek | Beekdalhoofden<br>Venranden<br>Natte laagten<br>Ontwaterde vennen | Mineraalarme bodem, soms met veenvorming<br>Toestroom mineraalarm grondwater | Veldrus<br>Riempjesmos<br>Mijtertje | Kleine zeggen-vegetatie<br>Gagelstruwelen<br>Hellingveentjes |

*Figuur 8.1: Overgang van elzenbroekbos naar berkenbroekbos op mineraalarme zandbodem in het Kaldenbroek (Grubbenvorst), met o.a. Moeraszegge (Carex acutiformis) en veenmosbulten van Hakig veenmos (Sphagnum squarrosum) (foto: E. Brouwer).*

*Figure 8.1: Transition of alder fen woods to wet birch woodlands on mineral poor sandy soils in the Kaldenbroek (Grubbenvorst).* Carex acutiformis *and sphagnum hummocks of* Sphagnum squarrosum are present *(photo: E. Brouwer).*

*Figuur 8.2: Laagveen-berkenbroek op verlande drijftil in het Lommerbroek (Lomm), met moskussens van Gewoon veenmos (Sphagnum palustre), Fraai veenmos (Sphagnum fallax), Gewimperd veenmos (S. fimbriatum), haarmossen (Polytrichum spp) en Kussentjesmos (Leucobryum glaucum) (foto: E. Brouwer).*

*Figure 8.2: Birch wood on a fen on an overgrown floating fen raft in the Lommerbroek. Sphagnum hummocks contain* Sphagnum palustre*,* Sphagnum fallax*,* S. fimbriatum*,* Polytrichum spp. *and* Leucobryum glaucum (*photo E. Brouwer).*

*Figuur 8.3: Hoogveen-berkenbroek in het Vragenderveen (Gelderland), met een ondergroei van Pijpenstrootje (Molinia caerulea) en Eenarig wollegras (Eriophorum vaginatum) (foto J. Bouwman).*

*Figure 8.3: Wet birch wood on a raised bog in the Vragenderveen (Province of Gelderland). Undergrowth of* Molinia caerulea *and* Eriophorum vaginatum *( photo J. Bouwman).*

## 8.2 Natuurwaarden van berkenbroekbos

De flora en fauna van berkenbroekbos heeft vooral overeenkomsten met a) andere bostypen op vochtige tot natte bodem, b) berkenbossen op vochtige tot droge bodem en c) lage vegetaties op natte, zure bodem (hoogveen, natte heide, zure schraallanden). Omdat berkenbroekbos ten opzichte van deze biotopen op dit moment een relatief klein oppervlak beslaat, is ook de betekenis van berkenbroekbos voor de gedeelde soorten relatief klein. Uiteraard zijn daar uitzonderingen op en deze zullen bij de afzonderlijke soortgroepen worden genoemd.

**Flora en vegetatie**
De boom- en struiklaag wordt gedomineerd door Zachte berk. In het Hoogveen-berkenbroek komen nauwelijks andere boomsoorten voor; vaak is er een gering aandeel Grove den (*Pinus sylvestris*). In ons omringende landen is dit aandeel vaak aanzienlijk, mogelijk geldt dat ook voor de oorspronkelijke situatie langs ongestoorde Nederlandse hoogvenen. In de andere twee bostypen is de boomlaag gevarieerder. Meestal is Zwarte els (*Alnus glutinosa*) aanwezig en Sporkenhout (*Rhamnus frangula*), Geoorde wilg (*Salix aurita*), Grauwe wilg (*Salix cinerea*), Wilde lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) en Zomereik (*Quercus robur*) komen in wisselende mate voor. Karakteristiek is de geringe boomhoogte (6-8 meter) en de lage kroonsluiting waardoor er veel licht op de bodem valt. De ondergroei is in botanisch opzicht niet bijzonder rijk aan hogere planten; er komen vooral soorten voor die ook in natte heiden, hoogvenen of zure kleine-zeggenmoerassen voorkomen. Verder zijn Pijpenstrootje en Pitrus heel vaak aanwezig.

In het Hoogveen-berkenbroek bestaat de ondergroei vooral uit hoogveensoorten: Gewone dophei (*Erica tetralix*), Veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), Eénarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*), Lavendelheide (*Andromeda polifolia*) en Rijsbes (*Vaccinium uliginosum*). De ondergroei van het Laagveen-berkenbroek wordt aanvankelijk gekenmerkt door soorten uit kleine-zeggenmoerassen: Zompzegge (*Carex curta*), Snavelzegge (*Carex rostrata*), Moerasviooltje (*Viola palustris*), Koningsvaren (*Osmunda regalis*), Sterzegge (*Carex echinata*), Zwarte zegge (*Carex nigra*), Wateraardbei *(Comarum palustre)* en Wilde gagel (*Myrica gale*). Met het dikker worden van de verzuurde toplaag vindt een overgang plaats naar Hoogveen-berkenbroek. In het sterker door grondwater beïnvloede Doorstroom-berkenbroek, waar de bodem vaak ook lemig is, worden (naast soorten van het Laagveen-berkenbroek) ook Klein glidkruid (*Scutellaria minor*), Holpijp (*Equisetum fluviatile*), Veldrus (*Juncus acutiflorus*) en Bospaardenstaart (*Equisetum sylvaticum*) gemeld (de Becker e.a., 2004). Op wortelkluiten kan zich Dubbelloof (*Blechnum spicant*) vestigen.

Berkenbroek is rijk aan bladmossen. Op de bodem komt vaak een gesloten moslaag voor van vrij algemene veenmossoorten (*Sphagnum fallax, S. fimbriatum, S. squarrosum, S. palustre en S. capillifolium*), Kussentjesmos (*Leucobryum glaucum*) en haarmossen. Meer bijzondere soorten die wel eens in berkenbroek optreden zijn Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*), Gerafeld veenmos (*S. girgensohnii*) en Smalbladig veenmos (*S. angustifolium*). De enige Nederlandse vondst van Klein pronkmos (*Herzogiella striatella*) is gedaan op een sterk vergane bult Pijpenstro in een Drents Hoogveen-berkenbroek (Barkman, 1992; www.verspreidingsatlas.nl). Vooral in Laagveen-berkenbroek, is soms Violet veenmos (*Sphagnum russowii*) aanwezig. In Vlaanderen komt ook Riempjesmos (*Rhytidiadelphus loreus*) regelmatig voor in Doorstroom-berkenbroek. Het aantal epifyten is niet groot; een gemeenschappelijke soort met droog berkenbos is Klein franjemos (*Ptilidium pulcherrimum*). Wel kan er een rijke mosflora ontstaan op liggende, dode stammen, met o.a. Viertandmos (*Tetraphis pellucida*) , Glanzend maanmos (*Cephalozia connivens*) en andere kleine levermossen. Ook wortelkluiten en greppelwanden kunnen een rijke mosflora van kleine topkapselmossen en levermossen ontwikkelen, met name in Doorstroom-berkenbroek waar de bodem uit leem of niet te zuur zand bestaat.

Natte bossen zijn niet bijzonder rijk aan korstmossen. Op levende stammen kan een goed ontwikkelde korstmosflora voorkomen, maar deze is doorgaans soortenarmer dan op vrijstaande bomen en ook armer dan op de eveneens zure schors van eik . Dit komt doordat veel soorten een vrije luchtcirculatie, lichtrijke omstandigheden en een beregende stam prefereren. In de rode lijst wordt berkenbroekbos dan ook niet genoemd als biotoop (Aptroot e.a. 2012). In totaal zijn er wel 7 rode lijst soorten kenmerkend voor natte (en vochtige) bossen, waarvan een deel alleen op bomen met een basische schors voorkomt, zoals wilg, populier of es. Zo blijven er 4 epifytische soorten van zure schors over; Grijs paardenhaarmos (*Bryoria capillaris*), Bleek avocadomos (*Parmeliopsis hyperoptera*), Gelig baardmos (*Usnea flavocardia*) en Glanzend baardmos (*Usnea glabrata*). Deze soorten zijn allen verdwenen uit Nederland, vermoedelijk door luchtverontreiniging.

**Paddenstoelen**

De grootste botanische diversiteit in berkenbroekbos is te vinden in de mycoflora; er kunnen enkele honderden soorten paddenstoelen voorkomen. Hierin zijn drie grote groepen te onderscheiden: houtbewonende soorten, strooiselafbrekers en mycorrhiza vormende soorten.

In natte berkenbossen worden dezelfde houtafbrekende soorten gevonden als in drogere berkenbossen. Het gaat vooral om algemene soorten zoals Berkezwam (*Piptoporus betulinus*), Echte tonderzwam (*Fomes fomentarius*) en diverse soorten elfenbankjes (*Trametes spp*) (Arnolds e.a., 1995). De minder algemene Vermiljoenhoutzwam (*Pycnoporus cinnabarinus*) komt vrij veel voor in de drogere vormen van Hoogveen-berkenbroek. Ook onder de strooisel afbrekende soorten zijn er niet veel die juist in natte berkenbossen voorkomen. Een bedreigde soort is bijvoorbeeld de Moerassatijnzwam (*Entoloma favrei*).

De meeste specifieke soorten behoren tot enkele geslachten van mycorrhiza vormende soorten, met name gordijnzwammen, melkzwammen, boleten en russula's. Voor een deel gaat het om soorten die bij voorkeur op een met veenmossen bedekte bodem groeien en dus een optimum in het Hoogveen-berkenbroek en Laagveen-berkenbroek hebben. Andere soorten hebben juist een voorkeur voor een meer minerale bodem en komen optimaal voor in Doorstroom-berkenbroek. Aan de andere kant vertonen ook het Laagveen-berkenbroek en het Doorstroom-berkenbroek overeenkomsten in de mycoflora. Het gaat dan vooral om begeleiders van Zwarte els en in mindere mate Zomereik. De drie onderscheiden typen berkenbroekbos kennen dus elk een verschillende mycoflora.
In alle typen berkenbroekbos zijn Okergele russula (*Russula claroflava*), Kokosmelkzwam (*Lactarius glyciosmus*) en Berkenboleet (*Leccinum scabrum* s.l.) algemene en kenmerkende soorten. Veel soorten zijn echter zeldzaam en komen alleen voor op zeer voedselarme standplaatsen (zie tabel 8.2). Net als voor de hogere planten geldt ook voor de paddenstoelen dat in het Hoogveen-berkenbroek ook veel soorten voorkomen die optimaal in hoogveen voorkomen. Onder de bedreigde soorten zijn dit met name Veenmosgrauwkop (*Tephrocybe palustris*) en een aantal mosklokjes (*Galerina* spp.) en zwavelkoppen (*Psilocybe* , subgenus *Hypholoma*). Vaak zijn in Hoogveen-berkenbroek ook enige Grove dennen aanwezig, hier kan Moerasringboleet (*Suillus flavidus*) worden gevonden. In onze buurlanden, bijvoorbeeld in Zuid-Duitsland, komt een tiental gordijnzwammen optimaal of uitsluitend voor bij Grove dennen op hoogveen (Krieglsteiner & Gminder, 2010). Mogelijk was dit ook in Nederland in het verleden een meer voorkomende situatie. Het zou in dit verband goed zijn om eens te letten op paddenstoelen bij grove dennen aan hoogveenranden en in Hoogveen-berkenbroek.
In het Laagveen-berkenbroek en het Doorstroom-berkenbroek wisselt het aandeel Zwarte els, maar ook bij verspreide elzen kunnen al veel elzenbegeleidende paddenstoelen voorkomen. Hieronder zitten ook een aantal bedreigde soorten, met name zompzwammen (*Alnicola* spp) en melkzwammen (*Lactarius* spp).
Het Doorstroom-berkenbroek bevat naast de genoemde soorten ook vaak andere bedreigde mycorrhiza vormende soorten van drogere bodems. Veel van deze soorten zijn door verzuring zo goed als verdwenen uit de droge bossen en handhaven zich op plaatsen waar periodiek sprake is van invloed van niet volkomen zuur grondwater. Het gaat hierbij om een grote groep van meer dan honderd bedreigde soorten. Enkele bekende voorbeelden zijn Forse melkzwam (*Lactarius trivialis*), Gele stekelzwam (*Hydnum repandum*) en Violette gordijnzwam (*Cortinarius violaceus*). In varianten met een grote invloed van grondwater komt het Mijtertje (*Mitrula paludosa*) voor, de enige semi-aquatische paddenstoel van Nederland. Dit paddenstoeltje is in Nederland vooral bekend van de Veluwse sprengen. Het is niet onwaarschijnlijk dat het graven van de sprengen heeft geleid tot het verdwijnen van Doorstroom-berkenbroek op deze plaatsen.

*Tabel 8.2: Bedreigde paddenstoelen die mycorrhiza vormen met berk en vooral of vrijwel uitsluitend op natte bodem voorkomen. Bron: Arnolds e.a. (1995), www.verspreidingsatlas.nl. Rode lijst status volgens Arnolds & Veerkamp (2008). VN= verdwenen, EB = ernstig bedreigd, Be = bedreigd, Kw = kwetsbaar, Ge = gevoelig. ? = onvoldoende gegevens.*

*Table 8.2: Endangered fungi forming mycorrhizas with birch, typical for wet soils. Source: Arnolds e.a. (1995), www.verspreidingsatlas.nl. Red list status according to Arnolds & Veerkamp (2008). VN = extinct, EB = critically endangered, Be = endangered, Kw = vulnerable, Ge = sensitive. ? = insufficient data*

| Wetenschappelijke naam | Nederlandse naam | Veen | Mineraal | Status |
|---|---|---|---|---|
| Cortinarius armillatus | Armbandgordijnzwam | | x | EB |
| Cortinarius betulinus | Bleke berkengordijnzwam | x | | Ge |
| Cortinarius huronensis | Valse veenmosgordijnzwam | x | | |
| Cortinarius pholideus | Bruinschubbige gordijnzwam | | x | Be |
| Cortinarius raphanoides | Groene berkengordijznwam | | x | ? |
| Cortinarius tubarius | Veenmosgordijnzwam | x | | Be |
| Lactarius sphagneti | Veenmosmelkzwam | x | | VN |
| Lactarius vietus | Roodgrijze melkzwam | | x | Kw |
| Leccinum melaneum | Zwarte berkenboleet | | x | ? |
| Leccinum niveum | Witte berkenboleet | x | | Kw |
| Russula aquosa | Waterige russula | x | x | Kw |
| Russula sphagnophila | Veenmosrussula | x | x | Be |

De mycoflora van berkenbroekbossen is in Nederland weinig bekeken. Bij gerichte inventarisatie worden ongetwijfeld meer kenmerkende soorten aangetroffen dan alleen de hier genoemde soorten.

**Fauna**

Slechts enkele vogelsoorten vertonen een zekere voorkeur voor berkenbroekbos (Sovon, 2002). Matkop (*Parus Montanus*) prefereert natte bossen met veel dood hout. Ook de Barmsijs (*Carduelis flammea*) broedt relatief vaak in Berkenbroek. Verder is berkenbroekbos vaak afgelegen en moeilijk toegankelijk, wat het geschikt maakt voor rustzoekers zoals Houtsnip *(Scolopax rusticola*). In het struweel aan de randen komen onder andere Blauwborst (*Luscinia svecica*) en Roodborsttapuit (*Saxicola rubicola*) voor. In het handboek Natuurdoeltypen worden verder o.a. Kleine barmsijs (*Carduelis cabaret*) , Goudvink (*Pyrrhula pyrrhula*) en Nachtzwaluw (*Caprimulgus europaeus*) als doelsoort genoemd (Bal e.a., 2001).
Voor zover bekend zijn er geen zoogdieren specifiek gebonden aan berkenbroek. In het hoogveenlandschap zijn het vaak de enige bosjes en worden ze bijvoorbeeld als rustplek gebruikt door reeën. Soorten als Adder (*Vipera berus*), Gladde slang (*Coronella austriaca*) en Heikikker (*Rana arvalis*) kunnen gebruik maken van (randen van) Berkenbroeken. Met name in combinatie met heides en hoogveen kunnen deze van belang zijn
Ook over de verspreiding van insecten in berkenbroek is weinig bekend. In het deel loopkevers van de fauna van Nederland worden natte bossen niet vermeld als belangrijk biotoop voor loopkevers (Turin, 2000). Echter, er zijn enkele loopkeversoorten kenmerkend voor vochtige bossen, waaronder *Carabus clatratus* die bossen rond vochtige heideterreinen gebruikt om te overwinteren. Voor de meeste loopkeversoorten geldt dat ze kenmerkend zijn voor vochtige bossen maar niet specifiek berkenbroekbossen, dit kunnen ook wilgenbroekbossen en elzenbroekbossen zijn.

In het deel over vlinders worden alleen de wilgenbroekbossen genoemd (Bos e.a., 2006). Bont dikkopje (*Carterocephalus palaemon*) en Spiegeldikkopje (*Heteropterus morpheus*) worden echter vaak waargenomen op de overgangen van berkenbroekbos naar vochtige heide of hoogveen. De vijf grotere, resterende populaties van het Spiegeldikkopje bevinden zich alle in terrein met een flink aandeel berkenbroekbos (Wallis de Vries, 2013). Een aantal soorten nachtvlinders is in meer of mindere mate afhankelijk van het voorkomen van berkenbroeken. De rupsen van deze soorten gebruiken berk als waardplant en kunnen zowel in droge als natte situaties voorkomen. De Tweekleurige tandvlinder (*Leucodonta bicoloria*) is één van de meest aan Berkenbroeken gebonden nachtvlinders (mond. med. Dick Groenendijk). Voor veel andere groepen ongewervelden is er weinig tot niets bekend over de verspreiding in berkenbroekbos. Voor veel van deze groepen is er sprake van gaten in de kennis over de verspreiding in het algemeen en is er slechts incidenteel kennis over de verspreiding in berkenbroekbos in het bijzonder. Voor de fauna in het algemeen wordt een minimum areaalgrootte aangegeven van 25 tot 30 hectare, zonder dat dit verder wordt onderbouwd (Bal e.a., 2001).

**Conclusie natuurwaarden**
Berkenbroekbos is het optimale biotoop voor een tiental mossoorten en een groter aantal soorten paddenstoelen. De meerderheid van de soorten komt ook in andere habitats voor, zoals andere natte bostypen, drogere berkenbossen en hoogvenen. Door de schaarse inventarisaties en door het ontbreken van echt oud berkenbroekbos is de potentiële soortensamenstelling wat betreft mycoflora en ongewervelden nog onvolledig.

## 8.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Belangrijkste standplaatscondities**
Het Berkenbroekbos vormt het natuurlijke eindstadium op kalkloze, natte bodems. De bodem is moerig, venig of bestaat aanvankelijk uit een drijftil. De optimale zuurgraad voor berkenbroekbos omvat voor de bovengrond alleen zure condities met een pH-$H_2O$ beneden 4,5 en een pHKCl beneden 3,8 (Aggenbach e.a., 1998; Brand, 2000; de Becker e.a., 2004). Het Doorstroom-berkenbroek heeft een bodem met een pH-$H_20$ tussen 3,8 en 5,3; op bodems met een nog hogere pH ontwikkelt zich een elzenbroekbos. De ondergrond van het berkenbroek mag ook een pH-$H_2O$ hebben tussen 4,5 en 5,5. Dit is vooral het geval in het Laagveen-berkenbroek. Het bostype is afhankelijk van zeer tot matig voedselarme omstandigheden in de bovengrond. De afbraak van organisch materiaal in berkenbroek verloopt traag; veelal is sprake van veenvorming. Er komen dus vrij weinig nutriënten vrij, die grotendeels weer door planten worden opgenomen of aan de bodem worden gebonden. Van alle broekbossen in Vlaanderen, werd in berkenbroekbos de laagste fosfaatconcentratie gemeten (mediane waarde 0,03 ppm, de Becker e.a., 2004). Meestal wordt het bostype in de successie vooraf gegaan door hoogveen of bepaalde typen natte heiden en kleine-zeggenmoerassen, met de kanttekening dat een voorspoedige ontwikkeling van berkenbroekbos op hoogveen alleen plaatsvindt op iets drogere en/of iets minder voedselarme plekken. Berken kunnen zich pas vestigen wanneer er in de zomer oppervlakkige uitdroging plaatsvindt, bijvoorbeeld doordat drijftillen vastgroeien, of doordat het aanbod aan voedingsstoffen wat hoger is (Limpens, 2009). Ook de bovenste bodemlaag van de meeste typen natte heide droogt kort en licht uit in de zomer, en hier kan ontwikkeling in de richting van Berkenbroek plaatsvinden wanneer de begrazingsdruk vermindert

of de vegetatie niet meer wordt gemaaid. Natte heiden waar de waterstand in de zomer langdurig wegzakt uit de wortelzone ontwikkelen zich eerder richting eiken-berkenbos.
Het strooisel van berken is matig rijk aan mineralen. Het effect op de humusvorming is intermediair tussen bekende bomen met slecht afbrekend, zuur strooisel (eik, beuk, den) en bomen met goed afbrekend, mineraalrijk strooisel (linde, es, iep, esdoorn) (Hommel e.a., 2007).

**Sleutelprocessen**
De twee belangrijkste sturende factoren in het Berkenbroek zijn de hydrologie en successie.
De abiotische randvoorwaarden kunnen kan door verschillende hydrologische processen tot stand komen, samenhangend met de typen onderscheiden berkenbroek.
Hoogveen-berkenbroek komt voor op een hoogveenbodem die gevormd is onder natte en zure condities. Bepalend voor de afgrenzing met het boomloze hoogveen is de waterstand in de zomer. Onder optimale omstandigheden omvat het bostype de vochtklassen zeer nat en nat met een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) tussen 5 cm boven tot 25 cm beneden maaiveld. In de winter kan tot enkele maanden inundatie optreden. Aggenbach e.a. (1998) melden dat de waterstand in de zomer tot 40 cm onder maaiveld kan wegzakken. Wanneer de waterstand nauwelijks wegzakt, blijft boomgroei in het hoogveen achterwege. Bij een hogere beschikbaarheid van stikstof en fosfaat neemt de concurrentiekracht van berken toe ten opzichte van het veenmos en kunnen vooral de iets drogere delen dichtgroeien met berk (Limpens, 2009). Het grondwater dat zijdelings weglekt uit hoogveen is doorgaans wat rijker aan mineralen en voedingsstoffen; hier ontwikkelt zich eerder elzenbroek of wilgenbroek.
Laagveen-berkenbroek ontstaat vaak door verzuring van elzenbroekbos dat niet gevoed wordt door grondwater. Op laagvenen en drijftillen kan zich alleen berkenbroekbos ontwikkelen wanneer zich een regenwaterlens ontwikkelt op het meer gebufferde grond- of oppervlaktewatersysteem. In het nat zandlandschap gebeurt dit slechts lokaal, bijvoorbeeld in gebufferde vennen of oude Maasmeanders.
Door veenontwikkeling vermindert het contact tussen gebufferd oppervlaktewater en de toplaag van de veenbodem. Zodra deze toplaag voldoende ontkalkt is, breiden veenmossen zich uit en ontstaat een elzenbroekbos met een ondergroei van veenmossen, vaak nog afgewisseld met grote zeggen (zie figuur 8.1). Naarmate de zure toplaag dikker wordt, verandert ook de samenstelling van de kruidlaag en uiteindelijk de boomlaag. Hier is aangenomen dat er sprake is van een Laagveen-berkenbroek wanneer zachte berk dominant is over zwarte els. Nog verder in de successie kan het Laagveen-berkenbroek overgaan in Hoogveen-berkenbroek. In sommige laagveenterreinen is dit al merkbaar aan de vestiging van Eenarig wollegras in Laagveen-berkenbroek. Laagveen-berkenbroek is dus een successiestadium dat zich langer kan handhaven naarmate de uitgangssituatie meer gebufferd was.
Het Doorstroom-berkenbroek staat doorgaans onder invloed van grondwater en dit grondwater is arm aan mineralen zoals calcium, magnesium en bicarbonaat. Daardoor is het doorgaans ook zwak zuur; Aggenbach e.a. (1998) noemen een pH van het grondwater tussen 4,6 en 5,5. Het grondwaterpeil is sterk afhankelijk van het grondwatersysteem dat het berkenbroek voedt. In sterke kwelsystemen zakt het grondwater in de zomer nauwelijks weg, maar Clerkx e.a. (1994) melden voor Doorstroom-berkenbroek ook een getal van meer dan 60 cm. De Becker e.a. (2004) vinden in elzen-berkenbroekbos in beekdalen een gemiddelde peilfluctuatie van ongeveer een halve meter, waarbij de waterstand in de zomer 25 tot 70

cm onder maaiveld wegzakt. Analoog aan het Hoogveen-berkenbroek is enig wegzakken in de zomer nodig om boomgroei mogelijk te maken.
In Vlaanderen is stroomafwaarts van het Doorstroom-berkenbroek vaak een overgang te vinden naar Elzenzegge-Elzenbroekbos (*Carici elongatae-Alnetum*). Die overgang verloopt volcontinu, waarbij je zowel in de boomlaag als in de moslaag de transitie van het ene naar het andere bostype heel geleidelijk ziet verlopen. Langs de Maasterrassen in Midden-Limburg is deze gradiënt veel scherper (Coolen, 2003). Het Doorstroom-berkenbroek komt in Vlaanderen steevast voor de oorsprong (en een eindje stroomafwaarts) van de beekdalen. Het grondwater is afkomstig uit watervoerende lagen die van nature zeer mineraalarm zijn (formatie van Diest, formatie van Kasterlee, zanden van Mol). Het zijn systemen met een zeer hoge hydraulische geleidbaarheid die maken dat er grote hoeveelheden grondwater aan de oppervlakte komt. Kwelfluxen van 20-25 mm per dag zijn geen uitzondering. Water treedt dus het hele jaar door in zeer grote hoeveelheden uit. Dikwijls wordt het gekenmerkt door grote hoeveelheden ijzer, wat in het terrein te zien is aan de abundante groei van *Gallionella ferruginea*-bacteriekolonies ("tomatensaus-beekjes"). Het bostype groeit op veen van soms aanzienlijke dikte (meer dan 2 tot plaatselijk zelfs 6 meter veen), het is duidelijk ook een actief veenvormend vegetatietype. In Zuid-Limburg, bij de bron van Rode beek, is de zonering omgekeerd (van Dijk e.a., 2009). In het beekdalhoofd treedt kwel uit die met mineralen is verrijkt na passage door bruinkoollaagjes, en domineren elzen en wilgen. Daaronder bevindt zich een zone waar kwel uittreedt uit zeer mineraalarm, mioceen zand en domineert berkenbroek langs de beek. In de rest van Nederland is dit zeer sterk grondwater gevoede berkenbroekbos een zeldzaamheid.

Voortschrijdende successie leidt in berkenbroek enerzijds tot toename van de kroonsluiting en daarmee verarming van de ondergroei met natte heide- of hoogveensoorten. Verdwijnen doet de ondergroei niet; Zachte berk laat veel licht door en leeft relatief kort waardoor er steeds gaten in het kronendak vallen. Aan de andere kant kan de rijkdom aan lagere planten en paddenstoelen sterk toenemen doordat nieuwe microhabitats ontstaan naarmate het bos ouder wordt; groot dood en levend hout, een reliëfrijkere bodem als gevolg van het ontstaan van horsten en wortelkluiten. Ook de fauna kan dan sterk toenemen in diversiteit. Door het ontbreken van oud Berkenbroek in Nederland is er onvoldoende inzicht in veranderingen als gevolg van toenemende ouderdom. Naarmate het bos zich verder ontwikkelt, neemt de gewasverdamping toe. Dit kan leiden tot lagere grondwaterstanden en een toename van kruiden, struiken en bomen van goed ontwaterde bodems. Aan de andere kant kan door de opbouw van een laag veen, veenmossen en dood hout juist een vochtiger microklimaat ontstaan, wat in principe gunstig is voor uitdrogingsgevoelige gewassen. Ook neemt de verdamping van de ondergroei af wanneer het kronendak zich sluit.

**Landschappelijke relaties**
Berkenbroekbos komt in een groot deel van de Nederlandse landschappen voor. In dit overzicht zijn alleen de relaties met het omringende landschap uitgewerkt zoals die gevonden kunnen worden in het nat zandlandschap.

Het Hoogveen-berkenbroek is op de typische standplaatsen, hoogveenranden, hydrologisch sterk verbonden met het hoogveen. In tijden van neerslagoverschot zwelt de hoogveenkern op en een deel van het neerslagoverschot komt meest via oppervlakkige afvoer ook in het berkenbroekbos terecht. In tijden van neerslagtekorten krimpt de hoogveenkern enigszins en komt de zijdelingse afvoer grotendeels tot

stilstand. Wanneer een hoogveen ontwaterd wordt, zal het berkenbroek zich uitbreiden richting de hoogveenkern. Vanuit de hoogveenkern gezien is het berkenbroek de eerste hoog opgaande vegetatie, soms vooraf gegaan door gagelstruweel. Het is dan ook belangrijk voor allerlei diersoorten die voor hun levenscyclus van zowel het open hoogveen als de aangrenzende bossen gebruik maken. Afwijkend Hoogveen-berkenbroek ontstaat langs hoogveenranden die sterk door de mens zijn beïnvloed, zoals bovenveengraslanden. De bodem is hier vaak opgeladen met nutriënten en/of bufferstoffen, waardoor met name soorten van elzenbroek een groter aandeel hebben, of eutrafente, zuurtolerante soorten zoals Pitrus (*Juncus effusus*).
Het Laagveen-berkenbroek komt in het nat zandlandschap vooral voor in verlandingsreeksen van diepere en wat beter gebufferde wateren, bijvoorbeeld de oude Maasmeanders in Midden- en Noord Limburg (Coolen, 2003). Vaak betreft het doorstroomsystemen, waar aan de hoge kant grondwater uittreedt en zich ook elzenbroek of zelfs bronbos kan ontwikkelen en waar aan de lage kant inzijging of oppervlakkige afvoer van water plaatsvindt. Hier ontwikkelt zich dan een regenwaterlens, waardoor elzenbroek geleidelijk vervangen wordt door berkenbroek.
Kenmerkend voor het Doorstroom-berkenbroek is de aanvoer van mineraalarm grondwater. In veel gevallen vindt deze aanvoer vooral in de winter plaats en droogt de bodem in de zomer oppervlakkig uit. Dit is bijvoorbeeld het geval langs randen van vennen met een relatief klein inzijggebied. Door de oppervlakkige uitdroging is de veenmosgroei vaak beperkt, maar kan zich wel een rijke mycoflora ontwikkelen. Wanneer het Doorstroom-berkenbroek onder invloed staat van grotere grondwatersystemen, kan het hele jaar grondwateraanvoer plaatsvinden en blijft de waterstand hoog. Wanneer dit grondwater ijzerarm is, zijn de omstandigheden voor veenmosgroei ideaal. Op plekken waar ijzerhoudend grondwater uittreedt komt juist geen veenmos voor. Het grondwatersysteem waarvan het Doorstroom-berkenbroek afhankelijk is bepaalt dus in hoge mate de soortensamenstelling. In veel van deze berkenbroekbossen kan ook overstroming optreden met beek- of venwater en ook dit heeft een grote invloed op de soortensamenstelling.
Vanwege de veenvorming en de aanwezigheid van een dikke moslaag in intact berkenbroek, levert dit biotoop een belangrijke bijdrage aan de waterretentie van een terrein. Op de zandgronden ontstaan beekdalen vaak als een serie in elkaar overlopende laagten, hoog in de dekzanden. Momenteel zijn zulke laagten vrijwel overal door greppels ontwaterd en komen alleen in zeer natte perioden de grondwaterstanden nog in de buurt van het maaiveld. Herstel van berkenbroekbos kan hier goed samengaan met herstel van grotere hydrologische systemen.

Vaak komt het berkenbroekbos voor als een nauwe zone op een hoogtegradiënt, met aan de lage kant bijvoorbeeld open water, hoogveen of een gagelzone, en aan de hoge kant vochtig bos. Wanneer deze overgangen geleidelijk verlopen kan zo’n overgangszone zich goed ontwikkelen. Aan de natte kant ontstaan er zodoende beschutte, semi-aquatische biotopen die met name voor aquatische macrofauna van groot belang kunnen zijn. Aan de droge kant ontstaan gradiënten in vocht en mate van buffering, waardoor ook verschillen in beschikbaarheid van voedingsstoffen ontstaan. De grote variatie aan milieu-omstandigheden is hier een goede basis voor een gevarieerde ondergroei van hogere planten, mossen en paddenstoelen.

**Invloed mens**
Berkenbroekbossen floreren vooral op plaatsen waar de invloed van de mens gering is. Oorspronkelijke berkenbroekbossen bestaan in Nederland allemaal

gekapt en ook berkenbroekbossen van meer dan 100 jaar oud zijn zeer schaars.
In veel ontwaterde varianten van het berkenbroek zijn oude greppelsystemen aanwezig. Door verdroging vindt hier ontwikkeling richting Berken-eikenbos plaats. Ook zijn veel van dergelijke bosjes ontstaan door ontginning en begreppeling van natte plekken in het voormalige heidelandschap; bijvoorbeeld vennen en de oorsprong van beken. De wanden van de greppels kunnen rijk zijn aan varens, mossen en paddenstoelen met bijvoorbeeld Dubbelloof (*Blechnum spicant*), Nerflevermos (*Diplophyllum albicans*) en Bruine bekerzwam (*Peziza badia*). Op de greppelbodem kunnen zich veenmosvegetaties ontwikkelen. Zachte berk is ongeschikt als hakhoutboom, waardoor er geen hakhoutvormen bekend zijn van berkenbroekbos.
De mate waarin begrazing plaats vond in berkenbroekbos is onvoldoende bekend. Op veel plekken werd ontwikkeling van berkenbroekbos tegengegaan door begrazing. Het Hoogveen-berkenbroek in het Witterveld werd vroeger vermoedelijk begraasd (Baaijens e.a., 1982). Een mossoort die mogelijk profiteert van begrazing in venen, veenmosrijke gagelstruwelen en berkenbroekbossen is Kruikmos (*Splachnum ampullaceum*). In ieder geval is deze weer teruggekeerd door begrazing van het Witterveld (Bijlsma, 2010).

## 8.4 Locaties van Berkenbroekbos

In het kader van de vierde bosstatistiek is de verspreiding van de vochtige tot natte bossen met berk in beeld gebracht (Dirkse, 1993). Ofschoon hierin dus niet alleen het berkenbroekbos is opgenomen, maar ook de vochtige eiken-berkenbossen, komt er wel een duidelijk beeld naar voren. Berkenbroek komt vooral voor in Drenthe, Overijssel, de Veluwe, de Achterhoek, het zuiden van Noord-Brabant en in de Peelregio. Daarnaast zijn er voorkomens in de laagveengebieden. Het totale oppervlak (inclusief vochtig eiken-berkenbos) bedraagt volgens deze statistiek ongeveer 10.000 hectare.

Het Hoogveen-berkenbroek komt in en langs vrijwel alle grotere hoogveencomplexen voor, maar in de meeste gevallen is er sprake van sterke ontwatering. Grotere oppervlakten van hydrologisch meer intacte vormen zijn te vinden in onder andere het Witter veld, het Korenburgerveen (Vragender veen, Meddosche veen), het Wooldse veen en het Aamsveen. Ook hoogveenvennen kunnen begroeid raken met Hoogveen-berkenbroek, met name wanneer enige ontwatering plaatsvindt. Bijvoorbeeld de Vaarvennen bij Valkenswaard en het Pikmeeuwenwater op de Hamert. Hoogveen-berkenbroek komt in Vlaanderen niet meer voor. In Wallonië zijn er wel nog fraaie voorbeelden te vinden op het plateau van de Hoge Venen en het Plateau des Tailles.

Het Laagveen-berkenbroek kent zijn hoofdverspreiding in de grote laagveengebieden, maar komt ook hier en daar voor in het nat zandlandschap. Goed ontwikkelde voorbeelden zijn bekend uit oude Maasmeanders (Lommerbroek, Dubbroek). In verlande, gebufferde vennen (Peelvennen, Oisterwijkse vennen) gaat het meestal slechts om kleine oppervlakten.

Het Doorstroom-berkenbroek komt optimaal voor in reliëfrijkere streken met een mineraalarme ondergrond. In Nederland is dat bijvoorbeeld het geval aan de oostrand van de Veluwe, in het Wissels veen en in het Vossenbroek, en in het Reutemerveen in Overijssel. In de beekdalen van het Kempens plateau zijn voorbeelden te vinden in het Kaldenbroek en aan de westkant van de

Strabrechtse heide en langs de Maasterrassen onder meer bij het Broekhuizer Schuitwater en de Holtmuhle. Verder komen langs vennen en laagten vaak fragmenten van dit bostype voor in een smalle zone, bijvoorbeeld bij Kliploo (Drenthe), het Brandeveen (Uffelte) en langs de Gerritsfles en de Kreelse plas (Veluwe). Vaak maken de smalle zones van berkenbroek hier deel uit van lekzones van veentjes, een kleine ecotoop wat elders in dit rapport wordt behandeld. Grotere oppervlakten kunnen zich ontwikkelen in laagten en ontwaterde veentjes die ontwaterd zijn, bijvoorbeeld in de Boswachterijen Grolloo en Hooghalen. Doorstroom-berkenbroek komt zeer wijd verspreid in Vlaanderen voor met hoofdverspreiding op het Kempens plateau (Vallei van de Zwarte beek, Bosbeek, Grote en Kleine Nete, Mangelbeek, Aabeek, Laambeek, Dommel, … kortom in zowat alle beekdelen die rondom van het Kempens plateau afstromen). Daarnaast zijn nog zeer goed ontwikkelde voorbeelden te vinden in het Hageland (overgang van Leemstreek naar Kempen met zeer goede voorbeelden in het Walenbos bij Aarschot) en in het Brugse Houtland, naast tal van andere snippers.

## 8.5 Bedreigingen en aantastingen

**Belangrijkste bedreigingen en aantastingen**
Ondanks de vrij brede range aan standplaatsen waarop Berkenbroek zich kan ontwikkelen, zijn goed ontwikkelde berkenbroekbossen toch zeer schaars. Na de laatste ijstijd raakte Nederland voor een groot deel met bos bedekt en het is aannemelijk dat ook grote oppervlakten berkenbroekbos tot ontwikkeling kwamen. Toen de mens de laatste drie millennia gaandeweg zijn invloed op het landschap vergrootte, zijn deze evenals andere bossen grotendeels door ontginning verloren gegaan. In het zeer bosarme landschap van rond 1850 was nauwelijks berkenbroekbos aanwezig; de berkenbroekbossen die we nu kennen zijn grotendeels pas na die tijd ontstaan. De factoren waardoor deze relatief jonge bossen worden bedreigd kunnen in drie clusters worden samengevat: verdroging & vernatting, vermesting en ingrijpen in de successie.

Verdroging kan optreden als gevolg van ontwatering van het berkenbroek zelf of door verlaging van het grondwaterpeil in de omgeving. Ook verschillen de gevolgen nogal per berkenbroek-type. Het Hoogveen-berkenbroek heeft zich op veel plekken in onze hoogveenrestanten ontwikkeld na het staken van de turfwinning. De drooggelegde veenbodem breekt af, waardoor voedingsstoffen worden nageleverd. Hierdoor is op veel plekken een tamelijk soortenarm berkenbroek ontstaan met dominantie van Pijpenstrootje in de ondergroei en waar kenmerkende mossen en paddenstoelen schaars zijn. Op nattere plekken, bijvoorbeeld in oude turfputten, is lokaal wel een goed ontwikkeld Hoogveen-berkenbroek ontstaan. In veel hoogveenrestanten zijn de laatste decennia herstelmaatregelen genomen, waarbij het vasthouden van water vaak centraal stond. Het Hoogveen-berkenbroek wordt hierdoor verdreven naar de meer natuurlijke standplaats, namelijk de randen van de hoogvenen. Daar waar de waterstand plotseling met een grote stap verhoogd is, zijn de berken grotendeels of geheel afgestorven. Op de iets minder natte plekken treedt door vernatting mobilisatie van fosfaat en uitbreiding van Pitrus in de ondergroei op. Op nog wat drogere plekken overwegen de positieve effecten van verdroging; de mineralisatie wordt geremd waardoor veenmossen en andere mossen zich kunnen uitbreiden tussen het gras.
Het Laagveen-berkenbroek heeft zich in het nat zandlandschap slechts op enkele plaatsen kunnen ontwikkelen. In principe is er voor dit bostype ook ruimte in de zogenaamde laagveenvennen; vennen die meestal door contact

met oppervlaktewater van elders relatief goed gebufferd zijn en een relatief stabiele waterstand kennen. Echter, dit oppervlaktewater is de afgelopen eeuw steeds voedselrijker geworden, waardoor zich in latere successiestadia nu veel eerder wilgenstruwelen ontwikkelen dan berkenbroekbossen. Ook is middels actief herstelbeheer in vennen veel van dit wilgen- en berkenbroek verwijderd.
Het Doorstroom-berkenbroek wordt op verschillende manieren bedreigd door verdroging. Door ontwatering in en rond de beekdalen zakt het peil in de zomer vaak te diep weg. Ook zijn vaak greppels gegraven in de laagste delen of is het beekje zelf omgevormd tot een diepe greppel. Zowel ontwatering in de omgeving als ontwatering van het terrein zelf leiden tot versterkte mineralisatie, verruiging met o.a. braam en dominantie van boomsoorten van drogere bodems. In berkenbroek dat met grondwater gevoed wordt, leidt verdroging vaak tot een afname van de grondwatervoeding. Deze bijzondere bostypen nemen daardoor in oppervlakte  en kwaliteit af. De meest gevoelige soorten verdwijnen daarbij het eerst; bijvoorbeeld Klein glidkruid (*Scutellaria minor*) en Mijtertje (*Mitrula paludosa*).

Vermesting kan optreden als gevolg van stikstofdepositie uit de lucht, als gevolg van overstroming met vermest oppervlaktewater of als gevolg van vermesting van het aangevoerde grondwater.
De effecten van stikstofdepositie op berkenbroekbos zijn niet goed bekend. De kritische depositiewaarde voor berkenbossen is vastgesteld op 1800 mol N/ha/jaar (= 25 kg N/ha/jaar) en deze worden daarmee als gevoelig beschouwd. Vaak ligt berkenbroekbos aan de buitenrand van een natuurgebied en grenst het aan intensieve landbouw. Dergelijke randen vangen zeer veel stikstof in en hier is een duidelijk negatief effect aanwezig; woekering van Pitrus (*Juncus effusus*), Fioringras (*Agrostis stolonifera*), bramen, stekelvarens of Pijpenstrootje en de afwezigheid van oligotrafente hogere planten, mossen en paddenstoelen. Net als in drogere bossen, verdwijnen al bij veel lagere depositieniveaus (van 3-10 kg N/ha/jaar) gevoelige epifytische korstmossen en paddenstoelen, vooral mycorrhiza vormende gordijnzwammen en russula's (Bobbink & Hettelingh, 2010). Ook een ondergroei van veenmos en/of kussentjesmos gaat bij de hierboven genoemde waarde van 25 kg N/ha/jaar vermoedelijk achteruit.
Vooral in beekdalen en langs vennen vindt ook vermesting van berkenbroekbos plaats, door de inlaat van voedselrijk oppervlaktewater. In de randen van het Korenburgerveen heeft dat geleid tot de uitbreiding van zwarte els in het berkenbroekbos (Jalink e.a., 2004).
De door grondwater gevoede Doorstroom-berkenbroeken kunnen ook aangetast worden door wijzigingen in de samenstelling van het grondwater. Veel grondwatersystemen zijn sterk verrijkt met nitraat; afkomstig uit de landbouw of door invang van en vervolgens uitspoeling uit bossen. Dit nitraat leidt tot mobilisatie van sulfaat en afname van de ijzerconcentratie. De gevolgen hiervan voor Doorstroom-berkenbroeken zijn niet bekend. In lage vervangingsvegetaties op de Brunsummerheide werd geconstateerd dat veenmossen plekken met nitraatrijke kwel mijden en wilgen deze juist prefereren (van Dijk e.a., 2012).  Mogelijk gebeurt dat ook in berkenbroekbos.

Door de opkomst van het actieve natuurbeheer vinden ingrepen in de successie op vrij grote schaal plaats. Op de meeste plekken waar de hydrologie intact is of kan worden hersteld, wordt de voorkeur gegeven aan het ontwikkelen en/of in stand houden van de lage vervangingsgemeenschappen: hoogvenen, natte heiden en vennen. Centrale delen van onze hoogvenen worden boomvrij gehouden door regelmatig te

kappen, evenals veel drijftillen, vennen en beekdalen. Veel berkenbroekbosjes zijn ook betrokken in een begrazings-eenheid. De effecten hiervan op het berkenbroek worden slechts zelden onderzocht.

Ondanks de flinke uitbreiding van het areaal berkenbroekbos sinds 1850, zijn met name door verdroging en vermesting nog maar weinig goed ontwikkelde berkenbroekbossen aanwezig in Nederland. Probleem hierbij is dat het referentiebeeld van een goed ontwikkeld berkenbroek nog incompleet is. Enerzijds doordat oude berkenbroekbos in Nederland vrijwel ontbreekt en anderzijds doordat de natuurwaarde in grote mate bepaald wordt door soortgroepen die minder goed geïnventariseerd zijn, zoals mossen en paddenstoelen. Voor zover er wel een beeld bestaat van de karakteristieke soorten, zijn er nog grote hiaten aanwezig in de kennis over de gevolgen van de genoemde bedreigingen voor deze soorten.

*Figuur 8.4: Beginnend berkenbroek op een drijftil met meeuwenkolonie in de Vaarvennen (Malpieheide Valkenswaard). Aan de rand o.a. Wilde gagel (Myrica gale), Grauwe wilg (Salix cinerea), Pitrus (Juncus effusus) en Stijve zegge (Carex elata) (foto: E. Brouwer).*

*Figure 8.4: Wet birch woodland in an early stage on a floating fen raft with a colony of seagulls in the Vaarvennen (Malpieheide Valkenswaard). On the edge of the rafe* Myrica gale*,* Salix cinerea*,* Juncus effuses *and* Carex elata *are present (photo: E. Brouwer).*

## 8.6 Herstelmaatregelen

Berkenbroek kan zich goed ontwikkelen wanneer de juiste hydrologische condities aanwezig zijn, er geen vermesting via lucht of (grond-)water optreedt en de invloed van kappen of begrazing beperkt of afwezig is. Vaak kan hydrologisch herstel echter niet plaatsvinden zonder aanvullende maatregelen te nemen in de omgeving.
Herstel en ontwikkeling van Hoogveen-berkenbroek kan niet los worden gezien van herstel van de rest van het hoogveenrestant. Centraal daarin staat vaak het vasthouden van regenwater door de inzijging en zijdelingse afstroom te vertragen. Op termijn wordt er in veel gevallen gestreefd naar herstel van de natuurlijke zonering: Hoogveen-berkenbroek in de randzone en open hoogveen in het centrale deel, rond meerstallen en langs veenbeekjes. Knelpunt hierbij is dat op dit moment vooral de kernen geschikt zijn voor Hoogveen-berkenbroek en er in de rand vooral ontwikkeling van verdroogde vormen optreedt. Het lijkt daarom raadzaam om terughoudend te zijn met het kappen of te sterk vernatten van goed ontwikkelde Hoogveen-berkenbroeken in het centrale deel zo lang dit in de randzone nog niet voldoende ontwikkeld is. Voor de ontwikkelingsduur van berkenbroek wordt een periode van 30 tot 100 jaar aangegeven (Bal e.a., 2001). Een extra knelpunt in de randzone is de invang van grote hoeveelheden stikstof uit de aangrenzende landbouwgronden. Dit kan worden verzacht door aan de uiterste rand een houtwal te laten staan die als een stikstoffilter kan fungeren.
In het Doorstroom-berkenbroek staat herstel van de hydrologie en kwaliteit van het grondwater centraal. In plaats van het vasthouden van regenwater staat hier het verhogen van de grondwaterinvloed centraal in het hydrologisch herstel. Dit kan door de grondwateraanvoer te verbeteren door maatregelen te nemen in het inzijggebied. Evenzo belangrijk is de afvoer van grondwater tegen te gaan door interne sloten te dempen. Om te voorkomen dat regenwater op grote schaal kan stagneren moet wel in de gaten worden gehouden dat er geen obstakels zijn voor een oppervlakkige afvoer van water over het maaiveld.
Daar waar berkenbroekbos middels greppels is ontwaterd, is vaak vochtig bos ontstaan. Veel van de natuurwaarden bevinden zich dan vaak in of langs deze greppels (Londo, 1991). Denk hierbij aan hogere planten (Witte klaverzuring, *Oxalis acetosella*), varens (Dubbelloof, *Blechnum spicant*), mossen (Neptunusmos, *Lepidozia reptans*, IJl stompmos, *Cladopodiella fluitans*) en mycorrhizapaddenstoelen. Een groot deel van de genoemde soorten, met name de mossen, varens en paddenstoelen, is afhankelijk van de permanent open bodem op de steilkanten en dus ook in de vernatte situatie geen plek zal vinden. Dit hoeft geen belemmering te zijn om deze begreppelde bossen niet weer te vernatten; uiteindelijk zal de natuurwinst groter zijn dan het mogelijke verlies aan soorten langs de greppels. Maar om een zorgvuldige afweging te kunnen maken is het wel nodig om voorafgaande aan het dempen, verondiepen of vernatten van greppels eerst de flora van de greppels te inventariseren.

Voor alle typen berkenbroekbos geldt dat een ongestoorde successie in hoge mate bijdraagt aan herstel. In de schaarse, oudere berkenbroekbossen in bijvoorbeeld het Naardermeer en het Lommerbroek hebben zich Violet veenmos, Eénarig wollegras en Gerafeld veenmos gevestigd (Weeda e.a., 2005). Door successie wordt ook de variatie in microreliëf en kleine habitats sterk vergroot. Met name de aanwezigheid van wortelkluiten (plus resulterende poeltjes) en van oud dood hout zijn van belang. Recent is een herstel van de levermosflora van groot, dood hout waargenomen in oude bossen op de zuidoostelijke Veluwezoom (Bijlsma & Ten Hoedt, 2006). Vooral

stammen van grove den en zomereik in een vochtig microklimaat zijn geschikt gebleken voor bijvoorbeeld Krulbladmos (*Nowellia curvifolia*) en Breed moerasvorkje (*Riccardia latifrons*). Ook vormen verterende stammen een geschikt kiemingsmilieu voor kruiden en bomen. Doordat de ontwatering hier beter is, kan dit ook leiden tot een bijmenging van bijvoorbeeld grove den of zomereik in het berkenbroek, en dus tot een grotere variatie. In Twente vestigt Wielewaal (*Oriolus oriolus*) zich in ouder wordend berkenbos langs hoogveenranden, dat zich ontwikkelt naar berkenbroekbos of vochtig berken-eikenbos (mondelinge mededeling Roy Dear).
Afname van de stikstofdepositie is met name van belang voor de (korst-)mossen, planten van hoogveenvegetaties en de mycorrhiza vormende paddenstoelen. Berkenbroekbos dat grenst aan intensieve landbouw kan sterk profiteren van afname van de lokale stikstofdepositie. Er zijn ook aanvullende maatregelen denkbaar om dominantie van Pijpenstrootje of braamsoorten te doorbreken, bijvoorbeeld maaien en afvoeren van de ondergroei. In berkenbroekbossen zonder veenlaag kunnen humuslagen worden verwijderd die veel voedingsstoffen naleveren. Indien nodig kan dit dan gevolgd worden door hydrologisch herstel. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met soortenrijke ruigtes in de luwte van berkenbroek, die bijvoorbeeld voor het Spiegeldikkopje (*Heteropterus morpheus*) van belang kunnen zijn (Wallis de Vries, 2013).
Met de grootschalige ontginning van de heide zijn rond 1900 grote oppervlakten bos aangeplant. De nattere plekken op deze heide zijn ontwaterd door uitgebreide greppelsystemen, het gaat dan om voormalige vennen, natte heiden en verdroogde beekdalhoofden. Ook deze voormalig natte plekken zijn ingeplant met bomen. Dergelijke locaties lenen zich bij uitstek voor herstel van natte bossen; voornamelijk Berkenbroek, maar op plekken met een beter gebufferde bodem of aanvoer van beter gebufferd grondwater ook Elzenbroek. Juist door de variatie in terreinhoogte kunnen hier ook allerlei overgangen naar bostypen van minder natte bodem ontstaan. Daar waar naaldbossen op natte bodem voorkomen, kan geleidelijke omvorming naar Berkenbroek worden overwogen. Naaldbossen op natte standplaatsen zijn soms al rijk aan veenmossen en/of mycorrhizapaddenstoelen, waardoor deze omvorming niet altijd wenselijk is. Beter is het dan om het aandeel naaldbomen geleidelijk te verminderen en op lange termijn een klein aandeel te behouden. Ook hier zullen de maatregelen voorafgegaan dienen te worden door of gecombineerd met gefaseerd hydrologisch herstel.

**Ervaringen met al uitgevoerde herstelmaatregelen (beheer)**
Gericht herstel van Berkenbroekbossen heeft in Nederland nog vrijwel niet plaatsgevonden. Een belangrijke herstelmaatregel, namelijk niets doen, wordt in een aantal terreinen al toegepast en is de belangrijkste oorzaak voor de recente uitbreiding van het areaal berkenbroek in Nederland. In Twente wordt berkenbroekbos bewust buiten begrazingseenheden gehouden (mondelinge mededeling Roy Dear). Londo (1991) meldt een negatieve invloed van begrazing op berkenbroek. Monitoring vindt echter nauwelijks plaats. In de 60 bosreservaten in Nederland is slechts op enkele plaatsen berkenbroekbos aanwezig, bijvoorbeeld in het Molenven in Overijssel. Daarnaast is herstel van de hydrologie een essentiële maatregel. Er zijn nog geen beschrijvingen van de effecten van een verbetering van de grondwaterkwaliteit op de ontwikkeling van berkenbroek. Wel zijn er beschrijvingen van de effecten van verbetering van de kwantitatieve hydrologie. Deze worden hieronder besproken.

**Vasthouden van regenwater**
In sterk verdroogde vormen van Hoogveen-berkenbroek leidt het vasthouden van regenwater tot een vermindering van de mineralisatie van het veen en waarschijnlijk dus tot een lagere beschikbaarheid van voedingsstoffen. Vaak is daar enig herstel waarneembaar; bramen en pijpenstrootje gaan achteruit terwijl (veen-)mossen zich uitbreiden. Langs veel hoogveenrestanten zijn hier voorbeelden van te vinden. Het verhogen van de grondwaterstand kan van grote invloed zijn op met name de volwassen bomen. De hoeveelheid beschikbare wortelruimte neemt af, omdat bomen vooral wortelen in de goed gedraineerde bovenlaag. Bomen van goed gedraineerde bodem, zoals beuk, zijn hier meer gevoelig voor dan bomen die ook op nattere bodems kunnen groeien, zoals eik (Olsthoorn e.a., 2003). Echter, op een bodem waar de waterstand al hoog is, is de wortelruimte al beperkt en leidt een geringe peilstijging al snel tot boomsterfte. Bekend zijn de beelden van massaal afgestorven berken in vernatte hoogvenen, bijvoorbeeld in de Groote Peel, de Mariapeel, het Grootvenbos in de Deurnse peel, het Vragenderveen, het Haaksbergerveen en het Bargerveen (figuur 8.5). Enige sterfte van bomen hoeft overigens ook voor het Berkenbroek geen probleem te zijn; de hoeveelheid dood hout in het bos wordt hiermee naar een meer natuurlijk peil getild en door het ontstaan van gaten ontstaan meer structuurvariatie en meer kansen op verjonging. Olsthoorn e.a. (2003) plaatsen de berk (zonder onderscheid tussen ruwe en zachte berk) in de klasse matig tolerant voor vernatting. Wilgen worden gezien als tolerant en eiken als intolerant. Dit kan dus betekenen dat door vernatting eiken het eerst zullen verdwijnen. De website www.natuurkennis.nl geeft onder het kopje veenbos een maximale vernatting op voor berk van 15 cm in 10 jaar.

In tegenstelling tot in Hoogveen-berkenbroek kan het vasthouden van regenwater in Laagveen-berkenbroek en Doorstroom-berkenbroek tot mobilisatie van fosfaat leiden. Wanneer er enige grondwateraanvoer kan blijven plaatsvinden, wordt er al snel genoeg ijzer aangevoerd om de fosfaat te binden. Na vernatting van broekbossen in het Korenburgerveen wordt een verhoogde fosfaatbeschikbaarheid gemeten, en een iets hogere basenverzadiging (Jalink e.a., 2004). Hier heeft wilg zich uitgebreid. Na vernatting van het paddenstoelrijke berkenbroekbos in de Kruispeel, voornamelijk door water vast te houden, werd een sterke uitbreiding van Pitrus geconstateerd (de Mars e.a., 2004). Vernatting van bossen leidt mogelijk wel tot een versterkte denitrificatie en een verminderde beschikbaarheid van kalium (Poels e.a., 2000). Ook hier geldt weer dat sterk verdroogde vormen niet voedselrijker worden door vernatting, zo lang er in de zomer voldoende droogval plaatsvindt. In het Kaldenbroek, waar Berkenbroekbos vooral voorkomt als een iets drogere gordel langs Elzenbroekbos, treedt na vernatting uitbreiding van Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) op, soms zelfs tussen Bramen. Ook aan de westkant van het Haaksbergerveen in het oorspronggebied van de Koffijgoot, leidt vernatting van laag naar hoog tot berksterfte, pitrusontwikkeling en respectievelijk veenmosuitbreiding (mondelinge mededeling Roy Dear).

Eiken kennen een rijke mycoflora en vaak ook een goed ontwikkelde epifytenflora. Hier dient bij vernatting dus speciale aandacht voor te zijn. Bij plotselinge vernatting van een bodem met grondwatertrap II, wordt voor wilgen een maximaal toelaatbare stijging van 2-3 decimeter aangegeven, voor berk 1-2 dm, en voor eik 1 dm (Olsthoorn e.a., 2003). Op drogere bodems (gt v) loopt dit voor alle boomsoorten op tot boven de 3 decimeter.

**Verbeteren grondwateraanvoer**
Helaas lukt het slechts op weinig plaatsen om de grondwateraanvoer van het Doorstroom-berkenbroek te verbeteren. Een voorbeeld is de vernatting van de oorsprong van de Heiloop op de Brabantse wal. Door het dichten van een greppel is hier een natte laagte ontstaan boven het beekdalhoofd, van waaruit gedurende een groot deel van het jaar kwel optreedt. In de kwelzone vindt uitbreiding van Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Veldrus en veenmossen plaats. Ook zijn volwassen berken aanwezig en vindt opslag van berk plaats. Het lukt vaak wel om de afvoer van grondwater uit het berkenbroek tegen te gaan door greppels te dempen. Hierdoor kan de grondwaterstand stijgen en lokaal aan maaiveld uittreden. Specifiek voor het doorstroom-berkenbroek is de voorwaarde wel dat regenwater oppervlakkig kan afstromen en er geen stagnatie optreedt. Op de Groote Heide onder Eindhoven zijn op deze wijze vanuit een uitgangssituatie met naaldhout-productiebos verschillende locaties met berkenbroek hersteld.

*Figuur 8.5: Afgestorven berken en pitrusontwikkeling in de Mariapeel, als gevolg van het vasthouden van regenwater in een uitgedroogd hoogveen. Ook vindt hogerop (rechts) regeneratie van berken plaats (foto: J. Bouwman).*

*Figure 8.5: Dead birch trees and development of Soft rush (*Juncus effuses*) in the Mariapeel, as a consequence of water retention in a dried out raised bog. On the right of the photo regeneration of birch occurs (photo J. Bouwman).*

**Ontwikkeling op voormalige landbouwgronden**
Recent zijn aanzienlijke oppervlakten landbouwgrond omgevormd tot natuur. In sommige gevallen ontwikkelt zich hier spontaan berkenbroekbos. Bijvoorbeeld op de Appelse heide, waar de bouwvoor verwijderd is tot op de minerale ondergrond. Alhoewel de bosopslag hier tegengegaan wordt door kap en begrazing, hebben zich bij de berken al tientallen mycorriza-vormende paddenstoelen gevestigd. Ook in voormalige groeven, zoals de Grote Allee (Schinveldse bossen) hebben zich al snel kenmerkende soorten gevestigd, zoals Roodgrijze melkzwam (*Lactarius vietus*), Oranje berkenboleet (*Leccinium versipelle*) en Riempjesmos (*Rhytidiadelphus loreus*). Het lijkt er op dat zich onder de juiste omstandigheden binnen enkele tientallen jaren een soortenrijk berkenbroek of vochtig berkenbos kan ontwikkelen.

Overzicht noodzakelijke herstelmaatregelen in relatie tot knelpunten
Voor het Hoogveen-berkenbroek is herstel van het juiste waterstandsverloop prioritair. Dit kan vaak door vasthouden van regenwater. Meestal staat het Hoogveen-berkenbroek op veenrestanten die voldoende voedselarm zijn. Na vernatting vindt weinig of geen mobilisatie van fosfaat plaats. Een knelpunt is soms de afweging tussen de ontwikkeling van berkenbroek of de ontwikkeling van hoogveen. Deze afweging kan alleen worden gemaakt wanneer er een lange termijn visie voor het hele hoogveenrestant aanwezig is.
Gezien de opgetreden pitrusontwikkeling in de Kruispeel en de eutrofieringsverschijnselen langs het Korenburgerveen, kan het vasthouden van regenwater in sommige typen berkenbos tot eutrofiering leiden. Het is nog onvoldoende duidelijk onder welke omstandigheden de balans van het vasthouden van regenwater naar de positieve of de negatieve kant uitpakt.
Voor het Doorstroom-berkenbroek lijkt vasthouden van regenwater niet de juiste strategie. Vooral voor Doorstroom-berkenbroek moet de nadruk liggen op herstel van de grondwaterstroom, ook in kwalitatieve zin. Als hiervoor greppels moeten worden gedicht, is het raadzaam om eerst de natuurwaarden van deze greppels in beeld te brengen en dan een afweging te maken tussen het verlies aan waarden en de te verwachten natuurwinst. Ook maken greppels vaak deel uit van oude ontwateringspatronen die een eigen, cultuurhistorische waarde kunnen vertegenwoordigen.

**Kennislacunes**
Het oplossen van een aantal kennislacunes kan het beheer en herstel van berkenbroekbos in grote mate optimaliseren. Hierbij een overzicht van de belangrijkste vragen en kennislacunes.

- De huidige indelingen van berkenbroekbossen doen geen van alle recht aan de diversiteit van de bestaande berkenbroekbossen. Voor een goede indeling moeten aspecten als flora, fauna, fungi, hydrologie en samenstelling van water en bodem voldoende worden meegewogen
- De landschapsecologische positie van de grondwatergevoede "Doorstroomberkenbroeken", inclusief de sturende processen op landschapsschaal, is slecht bekend. Deze kennis is noodzakelijk om betere herstelstrategieën op landschapsschaal en herstelmaatregelen op standplaatsschaal te ontwikkelen.
- Een groot deel van de floristische waarde van berkenbroekbossen is aanwezig in de vorm van mossen en paddenstoelen. Het is nog onvoldoende bekend welke soorten kenmerkend zijn voor welke berkenbroektypen en onder welke omstandigheden zij daar kunnen voorkomen.
- Ook de faunistische waarde van berkenbroekbossen is nog onvoldoende bekend. Enerzijds gaat het dan om minder bekende soortgroepen en anderzijds gaat het om beter bekende soorten maar is de relatie met de kwaliteit van het berkenbroek en met de omgeving onvoldoende bekend.
- In Nederland zijn nauwelijks echt oude berkenbroekbossen aanwezig. Om hier een goed beeld van te krijgen is het wellicht nodig om op zoek te gaan naar representatieve buitenlandse voorbeelden.
- De invloed van wijzigingen in kwaliteit van aangevoerd grondwater op berkenbroek is onvoldoende bekend. Met name de relatie met nitraatuitspoeling in het inzijggebied verdient aandacht.
- Ook de invloed van vermesting van oppervlaktewater in berkenbroek dat in de winter inundeert is onvoldoende in beeld. Hoe veel belasting met P en N kan het berkenbroek hebben? Welke soorten zijn het meest gevoelig? Wat is de relatie met grondwateraanvoer en mogelijke P-immobilisatie?

- Kan een eenmaal vermest berkenbroek door optimalisatie van de hydrologie spontaan herstellen? Of zijn aanvullende maatregelen nodig, bijvoorbeeld ingrepen in de veraarde toplaag van de bodem?
- In welke gevallen is water vasthouden de beste manier van hydrologisch herstel en in welke gevallen een verbetering van de grondwateraanvoer? In welke mate en met welk tempo kan vernatting worden doorgevoerd?
- Kunnen alle kenmerkende soorten zich spontaan vestigen na herstel van de standplaatscondities?
- Wat zijn de mogelijkheden voor de ontwikkeling van berkenbroekbos op voormalige landbouwgronden? Is ontwikkeling mogelijk op de voedselrijke bouwvoor of moet deze (deels) worden afgegraven?
- Het is onvoldoende bekend wat de gevolgen van beweiding zijn voor berkenbroekbos.

## 8.7 Slot

**Synthese**
Het gros van de berkenbroekbossen in het nat zandlandschap valt binnen twee typen. Het eerste type wordt hier provisorisch Hoogveen-berkenbroek genoemd en dit komt vegetatiekundig overeen met het Dophei-berkenbroek. Het tweede type wordt hier Doorstroom-berkenbroek genoemd en is vegetatiekundig onderdeel van het Zompzegge-Berkenbroek. Dat laatste geldt echter ook voor het berkenbroek op laagveen (provisorisch Laagveen-berkenbroek genoemd), dat slechts op enkele plekken in het nat zandlandschap voorkomt maar in onze laagveengebieden vrij grote oppervlakten inneemt.

De floristische waarde van het Berkenbroek is doorgaans een zwakke afspiegeling van de lage vervangingsgemeenschappen. In Hoogveen-berkenbroek gaat het vooral om hoogveensoorten, in Doorstroom-berkenbroek vooral om soorten van kleine zeggen-moerassen, veldrusschraallanden en van natte heiden. Enkele mossen komen optimaal voor in berkenbroekbos. Daarnaast zijn er tamelijk veel kenmerkende paddenstoelen, waarvan de grote meerderheid mycorrhiza vormt met berk en in mindere mate els, eik en grove den. De faunistische waarde moet vooral gezien worden in relatie tot het omringende landschap.

Het areaal berkenbroekbos heeft zich de afgelopen eeuw fors uitgebreid en kan onder de juiste condities verder in soortenrijkdom toenemen. Hierbij kunnen de standplaatscondities van de lage vervangingsgemeenschappen wellicht als uitgangspunt dienen voor verder onderzoek aan (herstel van) de standplaatscondities van het berkenbroekbos. In het natuurbeleid is met name het Doorstroom-berkenbroek tot nu toe onderbelicht, en verdient meer aandacht.

**Conclusies**
Het Berkenbroekbos, vooral dat in beekdalen, staat veel minder in de belangstelling bij beheerders, beleidsmakers en onderzoekers dan veel van de lage vervangingsgemeenschappen. Enerzijds is dit geen probleem; juist niets doen is een belangrijke vorm van beheer in deze bossen. Maar aan de andere kant heeft dit tot gevolg dat het kennisniveau van deze ecotoop lager is en dat bij de afweging voor behoud of ontwikkeling van berkenbroek of van de lage vervangingsvegetaties makkelijker voor de vervangingsvegetaties wordt gekozen. Juist omdat er sprake is van kennislacunes op het niveau van de

typologie en soortensamenstelling van berkenbroekbos is het op dit moment moeilijk in te schatten wat de gevolgen zijn van de keuzes die nu gemaakt worden in het natuurbeheer.

Het verdient daarom aanbeveling om een beter referentiebeeld op te bouwen van de diverse typen berkenbroek die in Nederland voorkomen. Het is essentieel dat ook hydrologie, successie, bodemopbouw en soortensamenstelling van mossen en paddenstoelen hierbij wordt betrokken. Verder valt op dat op veel plekken in Nederland berkenbroekbos wel voorkomt op plekken waar beheermaatregelen worden genomen, maar dat de gevolgen voor het berkenbroek niet in kaart worden gebracht. Het verdient aanbeveling om dit alsnog te doen, en hierbij niet alleen te kijken naar vertebraten en hogere planten.

De tijdsdruk om maatregelen te nemen in berkenbroekbos is doorgaans niet groot; veel berkenbroek is pas vrij recent ontstaan waardoor er weinig kenmerkende soorten op uitsterven staan. De meest logische volgorde lijkt dan ook om eerst een beter referentiebeeld op te bouwen van berkenbroek en de invloed van uitgevoerde maatregelen te evalueren. Een volgende stap kan dan zijn om nieuwe of aangepaste beheermaatregelen voor berkenbroek te ontwerpen en uit te testen.

*Met dank aan: Gert Jan Baaijens (Baaijens advies), Piet De Becker (INBO, België), Rob van der Burg (Bosgroepen-Zuid), Gert-Jan van Duinen (Bargerveen), André Jansen (Bosgroep Midden Nederland) & Juul Limpens (Wageningen Universiteit).*

# Literatuur

**Literatuur hoofdstuk twee**

Baaijens, G.J. 1992. Types of heath pools and their origin. In: J.T.A. Verhoeven (ed.): Fens and bogs in the Netherlands, p.194-195. Kluwer Ac. Pub. Dordrecht.

Baaijens G.J., E. Brinckmann, P. van der Molen & J. Mulder, 2007. De Buurserbeek – vloeien versus varen. Jaarboek Twente, 62-76.

Baaiiens, G.J. 2003. Korte schets van de oecohydrologische positie van de Achterhoek en Liemers en de betekenis daarvan voor de situering van de EHS. Uitgave Commissie Mer.

Baaijens, G.J., F.H. Everts, N. de Bakker & E. Brinckmann m.m.v. P.C. van der Molen 2012. Landschapsecologische verkenning Boswachterij Grolloo en Hooghalen. baaijensAdvies, Dwingeloo.

Baaijens, G.J. & P.C. van de Molen, 2004. Landschapsecohydrologische Structuurbeeld Noord-Brabant. DLG, Tilburg/baaijensAdvies, Dwingeloo.

Baaijens, G.J. & P.C. van de Molen, 2006. Haller en Lindese Laak – een landschapsecologische studie. baaijensAdvies, Dwingeloo.

Baaijens, G.J. P. Van der Molen & A. Grootjans, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Rapport nr. 2011/OBN147-1A-NZ Directie Kennis en Innovatie, Ministerie EL&I, Den Haag.

Baaijens, G.J., F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 2003. Vloeiweidesysteem Klein Bieler (Leven op kwelkraters). Rapport RU, Groningen, EGG consult, Geldersch Landschap, Groningen, Groningen, Arnhem.

Bakker, T.W.M., I.I.Y. Castel, F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 1986. Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap. Pudoc Wagerningen.

Bakker, T.W.M, J.A. Klijn & F.J. van Zadelhoff, 1979. Duinen en duinvalleien. Een Landschapsecologische studie van het Nederlandse duingebied. Pudoc, Wageningen, 201 p.

Broek, T. van den, J.P. Smolders, M.J. Emke, J.M. de Wit & G.J. Baaijens, 2009. Ecohydrologisch herstelplan Groot Zandbrink. Provincie Utrecht.

De Bosatlas van Nederland, 2007. Wolters-Noordhof, Groningen, p. 284 en 285,

De Gans, W. 2008. Geologieboek Nederland. ANWB, Den Haag.

Ebbinge Wubben, F.A. 1835. Plaatsbeschrijving der gemeente Staphorst, provincie Overijssel, met eenige oudheidkundige bijvoegselen. Oomkens, Groningen, p.29.

Everts, F.H. 2001. Monitoring Proefprojecten Natuurmonumenten.(1996-2000): Fochteloërveen, Zwartebroek, Oldenaller, Westerbroek. Rapport EGG consult everts & de vries, Vereniging Natuurmonumenten, 's Graveland.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Een landschapsecologische studie van enkele Drentse beekdalen. (Proefschrift). Historische uitgeverij Groningen.

Gonggrijp, G.P., 1977. Aardwetenschappelijke waarde van de Roerstreek. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, afdeling Geografie, Leersum.

Grontmij 1994: Haalbaarheidsonderzoek bestrijding verdroging: Project 't Zand/ de Wiersse. Basisrapport. Zeist.

Grootjans, A.P., F.H Everts, G.J Baaijens, & P.C. Stijfzand, 2004. Mokkelengoor; Hydro-ecologische systeemanalyse. Rapport COCON, Groningen/EGG/Kiwa, Nieuwegein

Jansen, A.J.M. 2000. Hydrology and restoration of wet heatheland and fen meadow communities. Thesis, RUG Groningen

Polak, B. 1959. Palynology of the Uddeler Meer. A contribution to our knowledge of the vegetation and the agriculture in the northern part of the Veluwe in prehistoric and early historic times. Acta Botanica Neerlandica 9, 547-571.

Rappol. M 1985. Enkele nieuwe resultaten en een overzicht van het onderzoek naar de aard van steen oriëntatie in keileem. Grondboor en Hamer 39, 88-97.

Rappol, M. e.a. 1993. In de bodem van Salland en Twente geologie - archeologie - excursies. Ligua terrae, Amsterdam.

Römer J.H. 1956. Oldenzaal. Grondboor en Hamer. Nederlandse Geologische Vereniging. No. 1 februari 1956.

Wartena, L. 1969 Een grondwaterstandssprong op de Veluwe. Tijdschrift kon.Ned. Heidemij, afl. 6.

Werkgroep Florakartering Drenthe, 1999. Atlas van de Drentse Flora. Schuyt & Co, Haarlem

Westhoff, V. & H. de Miranda, 1938. Kotten zoals de NJN het zag. Uitgave NJN, Utrecht

**Literatuur Hoofdstuk 3**

Everts, F.H., E. Brouwer, A.T.W. Eysink, R. van der Burg & H. van Kleef, 2011. PAS gradiënten Nat zandlandschap.

Schaminee, J.H.J., E.J. Weeda, V. Westhoff, 1995. De Vegetatie van Nederland, deel 2: wateren, moerassen, natte heiden. Opulus press, Uppsala, Leiden.

Schaminee, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda, 1996. De Vegetatie van Nederland, deel 3; graslanden, zomen, droge heiden. Opulus press, Uppsala, Leiden.

Stortelder, A.F.H., J.H.J. Schaminee & P.W.F.M. Hommel, 1999. De Vegetatie van Nederland, deel 5; ruigten, struwelen en bossen. Opulus press, Upssala, Leiden.

**Literatuur Hoofdstuk 4**

Aggenbach, C.J.S., D. Groenendijk, R.H. Kemmers, H.H. van Kleef, A.J.P. Smolders, W.C.E.P. Verberk & P.F.M. Verdonschot, 2009. Preadvies Beekdallandschappen. Knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen. Directie Kennis Rapport DK nr. 2009/dk107-O.

Audorff, V., 2009. Vegetation ecology of springs: ecological, spatial and temporal patterns. PhD-thesis, University of Bayreuth, Germany.

Audorff, V., J. Kapfer & C. Beierkuhnen, 2011. The role of hydrological and spatial factors for the vegetation of Central European springs. Journal of Limnology 70 (suppl. 1), 9-22.

Bal, D., H.M. Beije, M. Felliger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff , 2001. Handboek natuurdoeltypen. Rapport Expertisecentrum LNV 2001/020, Wageningen.

Bobbink, R. & L.P.M. Lamers, 1999. Effecten van stikstofhoudende luchtverontreiniging op vegetaties: een overzicht. Rapport R13 1999. TCB, Den Haag. 77 pp.

CBS, PBL & Wageningen UR, 2011. Herkomst van vermestende depositie in Nederland, 2010 (indicator 0507, versie 03, 24 mei 2011). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

Dam, H. van, A. Mertens & L.M. Janmaat, 1993. De invloed van atmosferische depositie op diatomeeën en chemische samenstelling van het water in sprengen, beken en bronnen. IBN-DLO 052, Wageningen.

Dufour, F.C., 1998. Grondwater in Nederland. Onzichtbaar water waarop we lopen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO – Delft. 265 pp.

Eysink, A.T.W., M.A.P. Horsthuis, R.J.J. van Dongen & J.H.J. Thielemans, 2012. Terug naar de Bron. Evaluatie van herstelprojecten. Waterschap Regge en Dinkel in opdracht van projectgroep Terug naar de Bron. 102 pp.

Eekeren, N. van, G. Iepema & F.W. Smeding, 2007. Natuurherstel in grasland door klaver en kalibemesting. De Levende Natuur, jaargang 108/1.

Gennip, B. van, J.A.M. Janssen & E.J. Weeda, 2007. De Kalktufbron, kleinood met een grote status. Stratiotes 35, 22-37.

Gerrits, M., 2009. Na regen komt interceptie. Stromingen 15 (1), 37-40.

Groenendijk, D., 2002. Bosbeekjuffer en Gewone bronlibel in Nederland: ecologie en bescherming. Rapportnummer VS2002.006. De Vlinderstichting, Wageningen.

Hefting, M., B. Beltman, D. Karssenberg, K. Rebel, M. van Riessen & M. Spijker, 2006. Water quality dynamics and hydrology in nitrate loaded riparian zones in the Netherlands. Environmental Pollution 139, 143-156.

Hendrix, W.P.A.M. & C.R. Meinardi, 2004. Bronnen en bronbeken van Zuid-Limburg; kwaliteit van grondwater, bronwater en beekwater. RIVM rapport 500003003/2004.

Horsthuis, M.A.P., 2006. De Bron van de Burger, een weidebron in Noordoost-Twente. Stratiotes 32, 3-9.

Horsthuis, M.A.P., 2007. Twentse bronnen aan de basis van natuurkwaliteit. Handleiding voor bescherming en beheer van bronnen in Twente. Provincie Overijssel en Waterschap Regge en Dinkel. 53 pp.

Horsthuis, M.A.P., 2010. Bronnen in het Bergherbos. Voorstel voor herstel en beheer van bronnen en bronvijvers. Bosgroep Midden Nederland, in opdracht van Natuurmonumenten.

Horsthuis, M.A.P. & A.T.W. Eysink, 2010. Beheeradvies voor bron- en beekdalgraslanden in het
Dal van de Mosbeek. Interne notitie voor Landschap Overijssel.

Horsthuis, M.A.P., R.J.J. van Dongen & A.T.W. Eysink, 2009. Het Dal van de Brunninkhuizerbeek (Noord-Twente). Over herstel en beheer van bronvegetaties en beekdalgraslanden. Stratiotes 39, 64-75.

Lucassen, C.H.E.T. & J.G.M. Roelofs, 2005. Vernatten met beleid: lessen uit het recente verleden. Natuurhistorisch maandblad (24), 211-215.

Maas, F.M., 1959. Bronnen, bronbeken en bronbossen van Nederland, in het bijzonder die van de Veluwezoom. Een plantensociologische en oecologische studie. Dissertatie. 166 pp.

Meinardi, C.R., 1988. Veranderingen in de samenstelling van het water in de Veluwse sprengen. H2O 21, 52-57.

Meinardi, C.R., 1999. Stroming en samenstelling van de sprengen en het grondwater van de Veluwe in 1996; een vergelijking met de toestand in 1986. RIVM rapport nr. 714851004.

Molen, D.T., van der, & R. Pot (red.), 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water. Aanvullingen kleine typen. Aanvulling op STOWA-rapport nr. 2007-32.

Nijboer, R.C. & P.F.M. Verdonschot, (red.) 2001. Zeldzaamheid van de macrofauna van de Nederlandse binnenwateren. WEW-Themanummer 19, Werkgroep Ecologisch Waterbeheer/Alterra, Wageningen, 84 pp.

Nijboer, R.C., R. Wiggers, T.H. van den Hoek & C.H. van Rhenen-Kersten, 2003. Herstel van een brongebied in het natuurreservaat het Springendal. Kolonisatie van nieuwe bronnen door macrofauna. Alterra-rapport 857. 102 pp.

Nijboer, R.C., M.W. van den Hoorn, T.H. van den Hoek, R. Wiggers, & P.F.M. Verdonschot, 2005. Keylinks. Ecologische processen in sloten en beken. II. De relatie tussen afvoerdynamiek, temperatuur en de populatiegroei van

Agapetus fuscipes. Alterra-rapport 1069, Alterra, Wageningen.

Nijboer, R.C. & P.F.M. Verdonschot, 2006. Dispersie van aquatische organismen; Verspreidingsmogelijkheden en onderzoeksmethoden. Alterra-rapport 1365, Alterra, Wageningen, 82 pp.

Nijboer, R.C. 2011. Ecologische kwaliteit van de Veluwse HEN- en SED-beken. Waterschap Veluwe, Apeldoorn, 116 pp.

Rhett Jackson, C., 2006. Wetland hydrology. In: Ecology of freshwater and estuarine wetlands (D.P. Batzer & R.R. Sharitz eds.). University of California Press, Berkeley, USA.

Rosmalen, R. van, F. Koops, K. Nooren, e.a., 2012. Natuur in Sonsbeek, Zijpendal en Gulden Bodem. (red. W. Renaud & M. Zwarts) BDU-uitgeverij. KNNV afdeling Arnhem.

Schaminée, J., K. Sýkora, N. Smits & M. Horsthuis, 2010. Veldgids Plantengemeenschappen van Nederland. KNNV Uitgeverij. 439 pp.

Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1995. De vegetatie van Nederland. Deel 2. Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden. Opulus Press Uppsala, Leiden. 358 pp.

Schaminée, J.H.J., C.A. Aggenbach,B. Crombaghs, M. de Haan, P.W.F.M. Hommel, A. Smolders, W. Verberk, R.W. de Waal, M.F. Wallis de Vries, E.J. Weeda, 2009. Preadvies Beekdalen Heuvellandschap. Ede, Ministerie van LNV, Directie Kennis, 2009 (Rapport DK nr. 2009/dk108-O). 110 pp

Smolders A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. van der Velde & J.G.M. Roelofs, 2006. Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. Chemistry and Ecology 22, 93-111.

Smolders A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers, 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. Biogeochemistry 98, 1-7.

Staelens, J., & F. Mohren, 2010. Waterhuishouding. In: Bosecologie en bosbeheer (J. Den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). Acco, Leuven/Den Haag.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, 1999. De vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen. Opulus Press Uppsala, Leiden. 376 pp.

STOWA, 1998. Hydrologische verkenning van maatregelen tegen verdroging. Nationaal onderzoeksprogramma Verdroging. NOV - rapport 14-2. 86 pp.

Verdonschot, P.F.M., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 1, bronnen. Achtergronddocument bij het 'Handboek Natuurdoeltypen in Nederland'. 86 pp.

Verdonschot, P.F.M., L.W.G. Higler, R.C. Nijboer & T.H. van den Hoek, 2003. Naar een doelsoortenlijst van aquatische macrofauna in Nederland.

Platwormen (Tricladida), steenvliegen (Plecoptera), haften (Ephemeroptera) en Kokerjuffers (Trichoptera). Alterra-rapport 858, Wageningen, 128 pp.

Verdonschot, P.F.M. & H.E. Keizer-Vlek, 2008. Abiotische randvoorwaarden. Deel 1: Permanente bronnen. Alterra-rapport 1715. 98 pp.

Verdonschot, P.F.M., A. Besse-Lototskaya & M.W. van den Hoorn, 2010. Het effect van piekafvoeren op de levensgemeenschap in beekbovenlopen. I. Resultaten van twee veldexperimenten in een natuurlijke beek. Alterra-rapport 2001. 68 pp.

Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren, 2000. Atlas van plantengemeenschappen in Nederland. Deel 1. Wateren, moerassen en natte heiden. 334 pp.

Weeda, E.J., H. de Mars & S.M.A. Keulen, 2011. Kalkmoeras in Zuid-Limburg. Natuurhistorisch Maandblad 100, 233-242.

www.natuurkennis.nl
www.synbiosis.alterra.nl

**Literatuur Hoofdstuk 5**

Aggenbach, C.J.S. & A.J.M Jansen, 1989. Hydro-ecologie van een bronnetjesbos in Zuid-Limburg. De Levende Natuur 92, 12-18.

Aggenbach, C.J.S., D. Groenendijk, R.H. Kemmers, H.H. van Kleef, A.J.P. Smolders, W.C.E.P. Verberk, P.F.M. Verdonschot. Preadvies Beekdallandschappen, knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen, KWR watercycle Research, Nieuwegein, 2008.

Baaijens, G.J., P. Van der Molen & A. Grootjans, 2011a. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Rapport nr. 2011/OBN147-1A-NZ Directie Kennis en Innovatie, Ministerie EL&I, Den Haag.

Baaijens, G.J, E. Brinckmann, P.L. Dauvelier & P.C. van der Molen, 2011b. Stromend landschap – vloeiweidenstelstels in Nederland. KNNV Uitgeverij, Zeist, 202 pp.

Boeye D., L. Clement & R.F., Verheyen, 1994. Hydrochemical variation in a groundwater discharge fen. Wetlands 14 [2], 122-133.

Boeye D., D., van Straaten & R.F., Verheyen, 1995. A recent transformation from poor tot rich fen caused by artificial groundwater recharge. Journal of Hydrology 169, 111-129.

Boeye D., V. Van Haesebroeck, B. Verhagen, B. Delbaere , M. Hens & R.F. Verheyen, 1996. A local rich fen fed by calcareous seepage from an artificial river water infiltration system. Vegetatio 126, 51-58.

Circel, G. & K. van Beek, 2012. Sulfaat, bedreiging of zegen voor vorming kalkmoeras? $H_2O$, 31-33.

De Mars, H., J. Schunselaar & J. Schaminée, 2012. Ecohydrologie van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen. O+BN rapport 159-HEBE.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen; een landschapsecologische studie van enkele Drentse beekdalen. Historische Uitgeverij Groningen, 223 pp.

Grootjans, A.P., F.H. Everts, A.T.W. Eysink, A.J.M. Jansen, A.J.P. Smolders & E. Takman, 2013. Beekdalen. Documentatie voor PAS gradiënten (In voorbereiding).

Grootjans, A.P., F.H. Everts, G.J. Baaijens & P.C. Stijfzand, 2004. Mokkelengoor; Hydro-ecologische systeemanalyse. Rapport COCON/EGG/Kiwa, 37 pp.

Grootjans, A.P., A. Alserda, R.E.M. Bekker, M. , Janáková, R.F. Kemmers, M. Madaras, V. Stanova, J. Ripka, B. Van Delft & L. Wołejko, 2005.

Calcareous spring mires in Slovakia; Jewels in the Crown of the Mire Kingdom. In: Steiner, G.M. (ed.). In: Steiner, G.M. (ed.). Mires, from Siberia to Tierra del Fuego. Stapflia 85, 97-115.

Grootjans, A.P., P.J. Stuyfzand & F.P. Sival, 1996. Hydrogeochemical analysis of a degraded dune slack. Vegetatio 126, 27-38.
Hermans, J.T., 2007. De Gewone bronlibel in de Meinweg. Natuurhistorisch Maandblad 96 (6), 165-169.

Hermans J.T. & G.G.F. van der Mast, 1994. De Brandenberg op de Brunssummerheide en de Breukberg. Excursieverslagen 1992. Plantensociologische Kring Nederland, Wageningen.

Hesen, P.L.G.M., M.H. Jalink, A.J.M. Jansen & A. Oosterhof, 2000. Ecologische potenties Oost-Veluwe: methode voor het aanwijzen van kansrijke gebieden bij verdrogingsbestrijding. Rapport SWI 99.238. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Horsthuis, M.A.P. & L. van Tweel-Groot, 2002. Een rasterkartering in het brongebied van de Mosbeek. Stratiotes 2, 13-26.

Jalink, M.H., 1997. Natuurherstel Den Opslag (onderdeel van het object Reuselbeemden). Systeemanalyse en inrichtingsplan. Kiwa-rapport KOA-97.095, Kiwa N.V., Nieuwegein

Jalink, M.H., 2003. Kalkrijke leem en kanaalkwel: kansen voor de EHS in Noord-Brabant. De Levende Natuur 104(6),286-290

Jalink, Mark, 2010. Kalkmoeras. www.natuurkwaliteit.nl

Jalink, M.H., J. Grijpstra, A.C. Zuidhoff, 2003. Hydro-ecologische systeemtypen met natte schraallanden in pleistoceen Nederland. OBN-rapport 2003/225-O. EC-LNV, Wageningen

Jalink, M.H. & A.J.M. Jansen, 1989. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalvegetaties. Report SWE 89.029. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Jalink, M.H., A.J.M. Jansen, R. Straatman, E. Broers, 2000. Van diepe naar ondiepe kwel. H2O 33(4),20-22.

Jalink, M.H., M.P. Laeven, W. van Boschinga, 2000: Winplaatsonderzoek Lieshout. Eindrapport. KOA 99.225, Kiwa N.V., Nieuwegein.

Jansen, A.J.M., 2010. Systeemanalyse Boetelerveld. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M. & J.H. Hoogendoorn, 1993. Hydro-ecologie van vijf NB-wet-terreinen op het landgoed Twickel (Overijssel). Report SWO 93.214. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Jansen, A.J.M., M.C.C. De Graaf & J.G.M. Roelofs, 1996. The restoration of species-rich heathland communities in The Netherlands. Vegetatio 126, 73-88.

Jansen, A.J.M., J.G.M. Roelofs, 1996. Restoration of Cirsio-Molinietum wet meadows by sod cutting. Ecological Engineering 7, 279-298.

Jansen, A.J.M., W.H.G.J. Athmer & W.J.M.K. Senden, 1997. Bestrijding verdroging be-schermd natuurmonument de Zumpe: projectbeschrijving. Report KOA 97.173. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Jansen, A.J.M., A.P. Grootjans & M.H. Jalink, 2000. Hydrology of Dutch Cirsio-Molinietum meadows: prospects for restoration. Applied Vegetation Science 3, 51-64.

Jansen, A.J.M., A. Th.W. Eysink& C. Maas, 2001. Hydrological processes in a *Cirsio-Molinietum* fen meadow: implications for restoration. Ecological Engineering 17, 3-20.

Jansen, A.J.M.; L.F.M. Fresco, A.P. Grootjans, M.H. Jalink, 2004. Effects of restoration measures on plant communities of wet heathland ecosystems. Applied Vegetation Science 7, 243-252.

Jansen, A.J.M., M.A.P. Horsthuis & J. Sevink, 2008. EGM Vooronderzoek Deelensche Veld. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede. 100 p.p. + bijlagen.

Jansen, A.J.M. m.m.v. W.A.J. Klutman, M. Kramer & Th.G. Giesen, 2009. Synthese: het hydro-ecologisch functioneren van de Zumpe. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M. & P. Verbeek, 2009. EGM vooronderzoek Haeselaarsbroek. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M. & J.H. Bouwman, 2010. Hydro-ecologische analyse landgoederen Appel-Zuid, Gerven en Hell. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M., M.I. Kamphuis, J.H. Bouwman, M.A.P. Horsthuis & L.J.A.M. Ruesen, 2010. Landgoederen Westerflier en Diepenheim: hydro-ecologische en cultuurhistorische analyse. Rapport Unie van Bosgroepen. Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M. m.m.v. F. Koop & R. van Dongen, 2011. Herstel van de waterhuishouding van het Natura 2000 gebied Boddenbroek (Twente). Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M., A. Klimkowska & A.T.W. Eysink, 2011. Waterberging en natuurherstel in het Aaltense Goor en omgeving. Rapport Unie van

Bosgroepen, Ede. Te downloaden via http://www.baaksebeek.nl/nieuws/rapport-aaltense-goor-waterberging-en-natuurherstel.html.

Jansen, A.J.M. & E. Remke, 2012. Ökohydrologische Analyse „Tiefes Bruch", Fuhrberg (D). Rapport Unie van Bosgroepen/Stichting Bargerveen, Ede/Nijmegen.

Janssen, I.C.J.M., 2000. Monitoring van het Haeselaarsbroek in het brongebied van de Pepinusbeek. Ontwikkelingen in een natuurherstelproject in de Midden-Limburgse gemeente Echt. Nijmegen; Katholieke Universiteit Verslagen Milieukunde nr. 189. Sittard; Intern stagerapport Waterschap Roer en Overmaas. Natuurbalans/Limes Divergens, 1999. Flora en fauna in het Haeselaarsbroek. Ontwikkelingen in een natuurherstelproject 1998.

Jongman, M., F.H. Everts, A.P. Grootjans & H. Woesthuis, 2009. Herstel van Blauwgraslanden in de Bruuk bij Nijmegen. De Levende Natuur 110-5, 209-214.

Ketelaar, R. & J.H. Bouwman, 2008. Een reconstructie van de libellen- en dagvlinderfauna van Het Koningsven (ODONATA, LEPIDOPTERA). Nederlandse Faunistische Mededelingen 29, 5-20.

Meuleman, A.F.M., J.W. Kooiman, C.M.L. Mesters, P.J.Stuyfzand & F. Luers, 1994. Verdrogingsproject Meinweg. Systeemanalyse en plan van aanpak. SWO 94.268. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Paulissen, M. P. C. P., P.J.M. Van der Ven, A.J. Dees & R. Bobbink, 2004. Differential effects of nitrate and ammonium on three fen bryophyte species in relation to pollutant nitrogen input. New Phytologist 164, 551-458.

Paulissen, M. P. C. P., L. Espasa Besalu, H. De Bruin, P.J.M. Van der Ven & R.

Bobbink, 2005. Contrasting effects of ammonium enrichment on fen bryophytes. Journal of Bryology 27, 109-117.

Schaminee, J.H.J. & J.A.M. Janssen, 2009 Europese Natuur in Nederland Natura 2000-gebieden van Hoog Nederland. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Smolders A.J.P., R.J.J. Hendriks, H.M. Campschreur & J.G.M. Roelofs, 1997. Nitrate induced iron deficiency chlorosis in Juncus acutiflorus. Plant and Soil 196, 37-45.

Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. Van der Velde & J.G.M. Roelofs, 2006.Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it' - a review. Chemistry and Ecology 22, 93-111.

Succow, M. & H. Joosten, (Eds.), 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart and Borntraeger science publishers, Stuttgart.

Van der Mast G.G.F., 1992. Het dal van de Rode beek. Excursieverslagen 1991. Plantensociologische Kring Nederland, Wageningen.

Van der Molen, P., Gert Jan Baaijens, A.P. Grootjans, A.J.M. Jansen, J. van Beek, D. Bal & H. Beije, 2010. Landschapsecologische analyse LESA. Dienst Landelijk Gebied, Utrecht.

Van Dijk, G., C. Fritz, A. Smolders, N. Straathof, G.J. van Duinen & A.P. Grootjans, 2009. De Brunssummerheide, een uniek maar bedreigd stukje Nederland, - een systeemanalyse van het hellingveen op de Brunssummerheide. Natuurhistorisch Maandblad 98, 233-238.

Van Dijk, G., A. Smolders, N. Straathof, C. Fritz, G. van Duinen & A.P. Grootjans, 2012. Ecologische gradiënten op de helling. De Levende Natuur 113, 174-179.

Van Mullekom, M., A.J.P. Smolders, E. Brouwer & J.G.M. Roelofs, 2007. Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse veen. Onderzoekcentrum B-ware, in opdracht van Stichting het Geldersch Landschap.

Verhoeven, J.T.A., B. Beltman, E. Dorland, S.A. Robat, & R. Bobbink, 2011. Differential effects of ammonium and nitrate deposition on fen phanerogams and bryophytes. Applied Vegetation Science 14, 149-157.

Weeda, E.J., H. de Mars & S.M.A. Keulen, 2011. Kalkmoeras in Zuid-Limburg. Natuurhistorisch Maandblad 100, 233-242.

**Literatuur Hoofdstuk 6; Paragraag 6.1**

Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink, A.J.M. Jansen, bewerkt door M.J. Nooren, 1998. Indicatoren voor verdroging, verzuring en eutrofiering van plantengemeenschappen in vennen. Staatsbosbeheer, Driebergen.
Arts, G. & G. van Duinhoven, 2000. Sleutelen aan vennen. Ministerie van LNV, Wageningen.

Baaijens, G.J., A.P., Grootjans, N.P.J. de Vries & A. Verschoor, 2005. Grootschalige landschappen en heidebeheer: Dwingelderveld. De Levende Natuur 106(5), 193-199.

Dierssen, K., 1982. Die Wichtigsten Pflanzengesellschaften Der Moore NW-Europas. Conservatoire et Jardin botaniques. Geneve

Bakker, T.W.M., I.I.Y. Castel, F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 1986. Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap. Pudoc Wagerningen.

Bobbink R. and Hettelingh JP (eds.) 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. RIVM report: 680359002.

Bragazza, L., A. Buttler, J. Habermacher, L. Branceleoni, R. Gerdol, H. Fritze, P. Hanajík, R. Laiho & D. Johnson, 2012. High nitrogen deposition alters the decomposition of bog plant litter and reduces carbon accumulation. Global Change Biology 18 (3), 1163-1172

Brouwer, E., 2011. Watersamenstelling en hydrologie van twee laagten op het Oefenterrein Woensdrechtse heide. Rapport 2011.29, Onderzoekcentrum B-ware. In opdracht van Dienst Vastgoed Defensie.

Eysink, A,T,W. & A.J.M. Jansen, 2011. Hoorns Veentje op Landgoed Ooster- en Westerzand. Natuurherstel. 20 jaar effectgerichte maatregelen. KNNV Uitgeverij en Unie van Bosgroepen.

Jansen, A.J.M. & J. Bouwman, 2010. Hydro-ecologische analyse landgoederen Appel-Zuid, Gerven en Hell. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, m.m.v. G.J. Baaijens, 1984. Het Dwingelderveld: vegetatie. Laaglandbekenrapport, no. 8 (Vakgroep Plantenoecologie), SBB/NM/RUG: 237 pp.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 1988. Inventarisatie van Natuurterreinen in de boswachterij Smilde & Dwingeloo. SBB, Assen: 191 pp. Rapport Everts & de Vries, Groningen.

Everts, F.H., D.P. Pranger & N.P.J. de Vries, 1990. Vegetatiekartering van natuurterreinen in de boswachterij Appelscha, Ruinen en Gees. Rapport EV 90/5, Oecologisch advies- en onderzoeksbureau Everts en De Vries, Groningen/ Staatsbosbeheer, Driebergen.

Everts F.H. 1991. Vegetatiekartering van natuurterreinen in de Boswachterij Schoonloo, Grollo en Gieten. Rapport 91/3, Bureau Everts & De Vries-Groningen/SBB Driebergen.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 2006. Vegetatiekartering Vereniging Natuurmonumenten Dwingelderveld 2006. Rapport 577b EGG-consult everts & de vries.

Everts, F.H., M. Jongman & N.P.J. de Vries, 2011. Inventarisatie van natuurterreinen in de boswachterij Ommen en Hardenberg. Rapport 959 EGG-consult everts & de vries.

Floron, 2011. Nieuwe Atlas van de Nederlandse Flora. KNNV, Zeist.

Jansen, A.J.M., M.A.P. Horsthuis & J. Sevink, 2008. EGM vooronderzoek Deelensche Veld. Bosgroep Midden Nederland. 135 pp.

Jansen, A.J.M., G.A. van Duinen & H.B.M. Tomassen, 2012. Herstelstrategie H7110A: Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap). Ministerie van ELI.

Jansen, A.J.M., M.A.P. Horsthuis & J. Sevink, 2008. EGM vooronderzoek Deelensche Veld. Rapport Bosgroep Midden Nederland, Ede. 100 p.p. + bijlagen.

Jansen, A.J.M., G.J. Baaijens, J. Bouwman, J. Sevink & A.C. Seijmonsbergen m.m.v. A.Th.W. Eysink, P.C. van der Molen & M. den Haan, 2010. Hydro-ecologische analyse van Boschoord. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Hommel, P.W.F.M., S.A.M. van Rooij, R.W. de Waal, F. de Vries & C.M. Goossen, 2005. Bos in water, Water in bos; Kansenkaarten voor multifunctionele natte bossen met meerwaarde voor waterbeheer, natuur en recreatie. Alterra-rpport 1267 75 pp

Lamers, L. P. M., S.M.E. Van Roozendaal & J.G.M. Roelofs, 1998. Acidification of Freshwater Wetlands: Combined Effects of Non-Airborne Sulfur Pollution and Desiccation. Water, Air, & Soil Pollution 105, 95-106.

Lamers, L.P.M., R. Bobbink & J.G.M. Roelofs 2000. Natural nitrogen filter fails in raised bogs. Global Change Biology 6, 583-586.

Limpens, J. & F. Berendse 2003. How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing Sphagnum. Oikos 103, 537-547.

Limpens, J., F. Berendse & H. Klees 2003a. N deposition affects N availability in interstitial water, growth of Sphagnum and invasion of vascular plants in bog vegetation. New Phytologist 157, 339-347.

Scherpenisse-Gutter, M.C., Brouwer, E. & Verbeek, P.J.M., 2009. Beheerevaluatie Mosterdveen. Bureau Natuurbalans-Limes Divergens. In opdracht van gemeente Nunspeet & Provincie Gelderland.

Schaminée, J.H.J, E.J. Weeda & V. Westhoff, 1995. De Vegetatie van Nederland. Opulus Press Uppsala/Leiden.

Sevink, J. & M. Vlaming 2006. Bodemeutrofiëring in het noordelijk deel van het Laarder Wasmerengebied. Universiteit van Amterdam, Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica, Amsterdam

Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. Van der Velde & J.G.M. Roelofs, 2006. Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it' - a review. Chemistry and Ecology 22, 93-111.

Tomassen, H.B.M., A.P. Grootjans & A.J.P. Smolders, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap - Herkomst van CO2 voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes. Eindrapport deel 3. Rapport nr. 2011/OBN147-3-NZ, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.

Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, G.J. van Duinen, S. van der Schaaf, J.G.M. Roelofs, F. Berendse, H. Esselink & G. van Wirdum 2003. Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001. (Rapport EC-LNV nr. 2003/139). Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ede/Wageningen, 186 pp.

Van Kleef, H., E. Brouwer & H. Esselink 2007. OBN-Vooronderzoek naar de mogelijkheden voor natuurherstel in de Malpievennen. Rapport Stichting Bargerveen en Onderzoekscentrum B-Ware, Nijmegen.

Van Os, M., 2011. Eco-hydrologische analyse Hilversums Wasmeer. Rapport Bosgroep Midden-Nederland, Ede.

Verschoor, A.J., G.J. Baaijens, F.H. Everts, A.P. Grootjans, W. Rooke, S. van der Schaaf & N.P.J. de Vries, 2003. Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen op het Dwingelerveld; een landschapsbenadering. Deel 2: landschapsontwikkeling en hydrologie. Rapport EC-LNV nr. 2003/227 O, Ede.

Von Asmuth, J., A. Grootjans en S. van der Schaaf, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes. Eindrapport deel 2. Rapport nr. 2011/OBN147-2-NZ Directie Kennis en Innovatie Ministerie EL&I.

**Literatuur Hoofdstuk 6; Paragraaf 6.2**

Bakker, T.W.M., I.I.Y. Castel, F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 1986. Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap. Pudoc Wagerningen.

Bijlsma, R-J., H. Leys & I. Zonneveld 2011. Vijftig jaar groeiend veen op het Kootwijkse stuifzand. De Levende Natuur 112 (1), 18-21.

Bobbink, R., M. Hornung & J.G.M. Roelofs 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural vegetation. Journal of Ecology 86, 717-738.

Bobbink R. & J.P. Hettelingh, 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM report 680359002/2011, 244 pp).

Brouwer, E., 2011. Watersamenstelling en hydrologie van twee laagten op het Oefenterrein Woensdrechtse heide. Rapport 2011.29, Onderzoekcentrum B-ware. In opdracht van Dienst Vastgoed Defensie.

De Graaf, M.C.C., R. Bobbink, P.J.M. Verbeek, & J.G.M. Roelofs, 1998. Differential effects of ammonium and nitrate on three heathland species. Plant Ecology 135, 185-196.

De Graaf, M.C.C., R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. Van Diggelen & J.G.M. Roelofs 2009. Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. Biological Conservation 142, 2191-2201.

Everts, F.H.& N.P.J. de Vries, 1988. Inventarisatie van natuurterreinen in de boswachterij Smilde en Dwingeloo, juli 1988. Rapport Everts & de Vries, Groningen.

Everts, F.H., D.P. Pranger & N.P.J. de Vries (1990). Vegetatiekartering van natuurterreinen in de boswachterij Appelscha, Ruinen en Gees. Rapport EV 90/5, Oecologisch advies- en onderzoeksbureau Everts en De Vries, Groningen/ Staatsbosbeheer, Driebergen.

Everts F.H. 1991. Vegetatiekartering van natuurterreinen in de Boswachterij Schoonloo, Grollo en Gieten. Rapport 91/3, Bureau Everts & De Vries-Groningen/SBB Driebergen.

Everts, F.H., E. Brouwer, A.T.W. Eysink, R. van der Burg & H. van Kleef, 2011. PAS gradiënten Nat zandlandschap.

Jansen, A.J.M., M.A.P. Horsthuis & J. Sevink, 2008. EGM vooronderzoek Deelensche Veld. Bosgroep Midden Nederland. 135 pp.

Jansen, A.J.M., G.J. Baaijens, J Bouwman, Sevink & A.C. Seijmonsbergen m.m.v. A. Th. W. Eysink, P.C. van der Molen & M. de Haan, 2010. Hydro-ecologische analyse van Boschoord, Rapport Unie van Bosgroepen, Ede

Kleijn, D., R.M. Bekker RM, R. Bobbink, M.C.C. De Graaf & J.G.M. Roelofs, 2008. In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. Journal of Applied Ecology 45, 680-687.

Lamers, L.P.M., 2001. Tackling biogeochemical questions in peatlands. Proefschrift, K.U. Nijmegen. 160 pp.

Roem, W.J., H. Klees & F. Berendse (2002). Effects of nutrient addition and acidification on plant species diversity and seed germination in heathland. Journal of Applied Ecology 39, 937-948.

Scherpenisse-Gutter, M.C., Brouwer, E. & Verbeek, P.J.M., 2009. Beheerevaluatie Mosterdveen. Bureau Natuurbalans-Limes Divergens. In opdracht van gemeente Nunspeet & Provincie Gelderland.

Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, G.J. van Duinen, S. van der Schaaf, J.G.M. Roelofs, F. Berendse, H. Esselink & G. van Wirdum 2003. Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001. (Rapport EC-LNV nr. 2003/139). Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ede/Wageningen, 186 pp.

Verschoor, A.J., G.J. Baaijens, F.H. Everts, A.P. Grootjans, W. Rooke, S. van der Schaaf & N.P.J. de Vries 2003. Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen op het Dwingelerveld; een landschapsbenadering. Deel 2: landschapsontwikkeling en hydrologie. Rapport EC-LNV nr. 2003/227 O, Ede.

Von Asmuth, J.R., A. Grootjans en S. van der Schaaf, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes. Eindrapport deel 2. Rapport nr. 2011/OBN147-2-NZ Directie Kennis en Innovatie Ministerie EL&I.

**Literatuur Hoofdstuk 6; Paragraaf 6.3**

Baaijens, G.J., E. Brinckmann, P.L. Dauvellier & P.C. van der Molen 2011. Stromend Landschap. Vloeiweidenstelsels in Nederland. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Baaijens, G.J., F.H. Everts, N. de Bakker & E. Brinckmann m.m.v. P.C. van der Molen 2012. Landschapsecologische verkenning Boswachterij Grolloo en Hooghalen. Baaijens advies Dwingeloo.

Didderen K., P.F.M. Verdonschot B.P.F.J.M. Knegtel & A.A. Besse-Lototskaya, 2009; Enquête beek(dal)herstelprojecten 2004-2008. Evaluatie van beekherstel over de periode 1960-2008 en analyse van effecten van 9 voorbeeldprojecten; published: 02 Apr 2009; 78 pp. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1858.

Everts, F.H. & N.P.J. de Vries 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen. Een landschapsoecologische studie van enkele Drentse beekdalen. (Proefschrift). Historische uitgeverij Groningen.

Everts F.H., M. Jongman. & N.P.J. de Vries 2009. Vegetatiekartering Boswachterij Staphorst. Rapport EGG844-d EGG/SBB Groningen/Deventer

Haye, M.A.A., de la, E.C. Verduin, G. Everaert, P. Goethals, I. Pauwels & C. Blom, 2011. Scoren met natuurvriendelijke oevers, oevers langs regionale M-typen wateren. Grontmij. Rapportnummer: 275711 GM-1032497/MDH

Nijboer, R. 2000. Natuurlijke levensgemenschapen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 6, Sloten. Rapport EC-LNV AS-06. Wageningen Alterra.

Ter Heerdt, G. 2010. Natuurvriendelijk onderhoud en ecologische kwaliteit. Literatuuronderzoek naar de ideale frequentie van schonen en onderbouwing van het nut van het afvoeren van maaisel. Waternet 2010.

Schaminée, J.H.J, E.J. Weeda & V. Westhoff, 1995. De Vegetatie van Nederland. Opulus Press Uppsala/Leiden.

Van der Molen D.T. (ed.) 2004. Referenties en maatlatten voor rivieren ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water. Expertteam Rivieren. STOWA rapportnummer 2003-W06. STOWA Utrecht.

Van der Molen, D.T. & Pot, R. 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. STOWA rapportnummer 2007-32. STOWA, Utrecht.

Van Weeren B., S. Sollie, E. Brouwer & P. de Kwaadsteniet, 2011. Handreiking natuurvriendelijke oevers Een standplaatsbenadering. Uitgave Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, STOWA-rapportnummer 2011-19, ISBN 978.90.5773.521.9.

Van Diggelen, R. & J. Klooker, 1990. Het voorkomen van Klimopwaterranonkel (Ranunculus hederaceus) in Nederland in relatie tot hydrologie. Gorteria 16, 29-38.

Wallis de Vries, M.F., 2010. Aandacht voor het Spiegeldikkopje in Limburg. Rapport VS2010.031.
De Vlinderstichting, Wageningen.

Wallis de Vries, M.F., 2013. Het Spiegeldikkopje tussen hoop en vrees. Natuurhistorisch Maandblad 102 (in druk).

**Literatuur Hoofdstuk 7**

Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink, 1998. Indicatorsoorten voor verdroging en eutrofiëring van plantengemeenschappen in hoogvenen. Deel 4 uit de serie "Indicatorsoorten". Staatsbosbeheer.

Aptroot, A., K. van Herk & L. Sparrius 2012. Basisrapport voor de Rode Lijst Korstmossen. Buxbaumiella 92, speciale uitgave.

Arnolds, E., Th. W. Kuyper & M.E. Noordeloos 1995. Overzicht van de paddestoelen in Nederland. Nederlandse Mycologische Vereniging

Bal, D., H.M. Beije, M. Fellinger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Rapport expertisecentrum LNV nr. 2001/020, Wageningen.

Baines, D., Wilson, I.A. & Beeley, G. 1996. Timing of breeding in black grouse Tetrao tetrix and capercaillie Tetrao urogallus and distribution of insect food for the chicks. IBIS, 138, 181-187.

BLWG 2007. Voorlopige verspreidingsatlas van de Nederlandse mossen. Bryologische en Lichenologische Werkgroep van de KNNV.

Crocker, L.J. & Schwintzer, C.R. 1994 Soil conditions affect the appearance of cluster roots in Myrica gale L. in the field. Soil Biology and Biochemistry 26, 615-622.

Ellis, M.B. & J.P. Ellis 1985. Microfungi on and plants, an identification handbook. The Richmond Publishing, Slough, England.

Harley, J.L. & Harley, E.L. 1987. A check list of mycorrhiza in the British Flora. New Phvtologist Suppl. 105, 1-102.

Jansen, A.J.M., 1994. De ecologische effecten van de waterwinning Rodenmors op de vegetatie van het Kanaal Almelo-Nordhorn bepaald via een analyse van de hydrologische processen. Rapport SWE 94.205, KIWA Niewegein.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & P. W.F.M. Hommel, 1999. De vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen. Opulus press, Uppsala/Leiden.

Schaminée J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1995. De vegetatie van Nederland. Deel 2. Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden. Opulus press, Uppsala/Leiden.

Skene, R.K., J.I. Sprent, J.A. Raven & L. Herdman, 2000. Myrica gale L. Journal of Ecology, 88(6), 1079-1094.

Stuart, A.E. 1990. Paralysis of Cullicoides impunctatus after exposure to the oil of Myrica gale. Proceedings of the Royal College of Physicians of Edinburgh 20, 463- 466.

Van Duinen, G., J. Bouwman, H. van Kleef, A. Klimkowska, J. Limpens & M. Wallis de Vries, 2012. Randvoorwaarden voor het herstel van kenmerkende en bedreigde soorten in het natte zandlandschap. Rapport 1e fase OBN-onderzoeksproject.

**Literatuur Hoofdstuk 8**

Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink & A.J.M. Janssen, 1998. De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van pleistoceen Nederland. Kiwa, Nieuwegein.

Aptroot, A., K. van Herk & L. Sparrius, 2012. Basisrapport voor de Rode Lijst Korstmossen. Buxbaumiella 92, speciale uitgave.

Arnolds, E., Th. W. Kuyper & M.E. Noordeloos, 1995. Overzicht van de paddestoelen in Nederland. Nederlandse Mycologische Vereniging

Arnolds, E.J.M. & M.T. Veerkamp, 2008. Basisrapport Rode Lijst Paddenstoelen. Nederlandse Mycologische Vereniging, Utrecht.

Baaijens, G.J., J.J.Barkman & W.A. Casparie, 1982. Het Witterveld bij Assen – schets van de natuurlijke gesteldheid en een evaluatie van de gevolgen van intensivering van het militair gebruik. Rapport RIN Leersum, Biol.Station Wijster, BAI Groningen.

Bal, D., H.M. Beije, M. Fellinger, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff, 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Rapport expertisecentrum LNV nr. 2001/020, Wageningen.

Barkman, J.J., 1992. Plant communities and synecology of bogs and heath pools in the Netherlands. Ch. V (p.173-235) in J.T.A.Verhoeven (ed.)Fens and

Bogs in the Netherlands: Vegetation, history, nutrient dynamics and conservation. Dordrecht.

Becker, P. de, H. Jochems & W. Huybrechts, 2004. Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno-Padion & Alnion incanae-gemeenschappen. Instituut voor Natuurbehoud, verslag nr. 2004.17. In opdracht van AMINAL.

Bobbink, R. & J.P. Hettelingh (eds.) 2010. Review and revision of emperical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 june 2010.

Bos, F. , M. Bosveld & D. Groenendijk, 2006. De Nederlandse fauna deel 7 – De dagvlinders van Nederland. KNNV uitgeverij.

Bijlsma, R.J. 2010. De vreugdevolle terugkeer van een strontmos. De Levende Natuur 111 (5), 222-223.

Bijlsma, R.J. 2008. Bosreservaten: koplopers in de natuurlijke ontwikkeling van het Nederlandse boslandschap. Alterra rapport 1680.

Bijlsma, R.J. & A. ten Hoedt, 2006. Spectaculaire bryologische ontwikkelingen op en rond dood naaldhout in "Neerlands Thuringen"(Zuidoost-Veluwe). De Levende Natuur 107 (5), 208-212

Brand, J. 2000. Untersuchungen zur synsystematischen umgrenzung und untergliederung sowie zur standortlichen und landschaftsraumlichen bindung von feuchtwaldern im Nordwestdeutschen tiefland. Band 323. J. Cramer Verlag, Berlijn.

Clerkx, A.P.P.M., K.W. van Dort & P.W.F.M. Hommel, 1994. Broekbossen van Nederland. IBN rapport 96, Wageningen.

Coolen, F., 2003. Veenmostapijten op de overgang van terrrasrand naar elzenbroek bij oude Maasmeanders. Natuurhistorisch Maandblad 92, 308-312.

Decleer, K. (ed.) 2008. Ecological restoration in Flanders. Mededelingen van het instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO. M 2008.04, Brussel, Belgium, 160 pp.

Dijk, G. van, C. Fritz, F. Smolders, N. Straathof, G.J. van Duinen , A. Grootjans, 2009. De Brunsummerheide, een uniek maar bedreigd stukje Nederland! Natuurhistorisch Maandblad 98 (12), 233-238.

Dijk, G. van, A.J.P. Smolders, C. Fritz, A.P. Grootjans, N. Straathof & G.J. van Duinen, 2012. Ecologische gradiënten op de helling van de Brunsummerheide. De Levende Natuur 113 (4), 174-179

Dirkse, G.M. 1993. Bostypen in Nederland. Wetenschappelijke mededeling KNNV nr. 208. Stichting KNNV, Utrecht.

Hommel, P., R. de Waal, B. Muys, J. den Ouden & T. Spek, 2007. Terug naar het Lindewoud. KNNV Uitgeverij, Zeist, 2007.

Jalink, M., R.H. Kemmers, A.H.F. Stortelder & R.W. de Waal, 2004. Referentieproject Springendal/Korenburgerveen. Rapport EC-LNV 2004/331-O

Krieglsteiner/Gminder (Hrsg.), 2010. Die Großpilze Baden-Württembergs, Band 5, Verlag Ulmer, Stuttgart 2010

Limpens, J., 2009. De rol van de berk bij herstel en beheer van hoogveen. Directie Kennis, Ministerie van LNV. Rapport nr. dk 2009/dk119-O.
Londo G., 1991. Natuurbeheer in Nederland 4. Natuurtechnisch bosbeheer. Pudoc Wageningen.

Mars, H. de, P. Kloet & L. Wortel, 2004. Ecohydrologische atlas Limburg: evaluatie verdrogingstoestand Limburg 1989-2003. Royal Haskoning, in opdracht van Provincie Limburg.

Olsthoorn, A.F.M., J. Kopinga, G.W. Tolkamp, C.A. van den Berg & C.J.F. ter Braak, 2003. Effecten van vernatting in bossen. Rapport EC-LNV 2003/173 O.

Poels, R.L.H., P. Schmidt, J. van den Burg, R.H. Kemmers & H.A. Verhoef, 2000. Pre-advies natte bossen. IKC-Natuurbeheer, Wageningen.
Sovon vogelonderzoek, 2002. Nederlandse fauna deel 5 – Atlas van de Nederlandse broedvogels. KNNV uitgeverij.

Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel, R.W. de Waal, K.W. van Dort, J.G. Vrielink & R.J.A.M. Wolf 1998. Broekbossen, Bosecosystemen van Nederland deel 1. KNNV, Utrecht.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & PW.F.M. Hommel, 1999. De vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeen¬schappen van ruigten, struwelen en bossen. Opulus press, Uppsala/Leiden. 376 pp.

Turin, H., 2000. Nederlandse fauna deel 3 – De Nederlandse loopkevers. KNNV uitgeverij.

Wallis de Vries, M. 2013. Het Spiegeldikkopje tussen hoop en vrees. Natuurhistorisch Maandblad 102 (1), 1-5.

Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren 2005. Atlas van Plantengemeenschappen in Nederland deel 4, Bossen, struwelen en ruigten. KNNV, Utrecht.

Werf, S. van der, 1991. Natuurbeheer in Nederland, deel 5: Bosgemeenschappen. Pudoc, Wageningen.

**Literatuur Bijlage 1**

Bakker, T.W.M., I.I.Y. Castel, F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 1986. *Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap.* Pudoc Wageningen.

Bobbink, R., E. Brouwer, J. ten Hoopen & E. Dorland, 2004. Herstelbeheer in heidelandschap: effectiviteit, knelpunten en duurzaamheid. In: G.A. van Duinen et al (red.) Duurzaam herstel van biodiversiteit; 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur. Rapport EC- LNV nr 2004/305, Ede.

Brouwer, E., 2008. Oorzaken van eutrofiering in een gebaggerd deel van het Eendenmeer en perspectieven voor verder herstel. Rapport 2008.42 Onderzoekcentrum B-ware. In opdracht van Centrum voor Landbouw & Milieu.

Brouwer, E., 2010. Fosfaatophoping in het Hilversums Wasmeer als gevolg van een voormalige meeuwenkolonie. Rapport 2010.08, Onderzoekcentrum B-ware, in opdracht van Bosgroep Midden-Nederland.

Brouwer, E., 2011. Watersamenstelling en hydrologie van twee laagten op het Oefenterrein Woensdrechtse heide. Rapport 2011.29, Onderzoekcentrum B-ware. In opdracht van Dienst Vastgoed Defensie.

Brouwer, E., H. van Kleef, H. van Dam, J. Loermans, G.H.P Arts & J.D.M. Belgers, 2009. Effectiviteit van herstelbeheer in vennen en duinplassen op de middellange termijn. Dienst Kennis, Ministerie van LNV. Rapport DKI nr. 2009/dki 126-O

G. van Duinen, H. Tomassen, J. Limpens, F. Smolders, S. van der Schaaf, W. Verberk, D. Groenendijk, M. Wallis de Vries, J. Roelofs. 2010. Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. Samenvatting onderzoek en handleiding hoogveenherstel 1998-2009.

Everts, F.H.& N.P.J. de Vries, 1988. Inventarisatie van natuurterreinen in de boswachterij Smilde en Dwingeloo, juli 1988.

Everts, F. H., G.J. Baaijens, A.P. Grootjans, N.P.J. de Vries & A. Verschoor, 2005. Grootschalige landschappen en heidebeheer: Dwingelderveld. De Levende Natuur 106(5), 193-199.

Everts, F.H., M. Jongman & N.P.J. de Vries, 2011 (in prep). Inventarisatie van natuurterreinen in de boswachterij

Eysink, A,T,W. & A.J.M. Jansen, 2011. Hoorns Veentje op Landgoed Ooster- en Westerzand. Natuurherstel. 20 jaar effectgerichte maatregelen. KNNV Uitgeverij en Unie van Bosgroepen.

Ommen en Hardenberg. Rapport EGG-consult everts & de vries.
Jalink, M.H., Grijpstra, J. & A.C. Zuidhoff, 2003. Hydro-ecologische systeemtypen met natte schraallanden in Pleistoceen Nederland. Rapport Expertisecentrum LNV, Ede.

Jansen, A.J.M., G.J. Baaijens, J. Bouwman, J. Sevink & A.C. Seijmonsbergen m.m.v. A.Th.W. Eysink, P.C. van der Molen & M. den Haan, 2010. Hydro-ecologische analyse van Boschoord. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M., R.M. Bekker, R. Bobbink, J.H. Bouwman, R. Loeb, G.A. van Duinen, M.F. Wallis de Vries, 2010. De effectiviteit van de regeling Effectgerichte Maatregelen (EGM) voor Rode-Lijstsoorten; de tweede Rode Lijst met Groene Stip voor vaatplanten en enkele diergroepen in Nederland. Rapport. Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M. & J. Bouwman, 2010. Hydro-ecologische analyse landgoederen Appel-Zuid, Gerven en Hell. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Jansen, A.J.M., M.A.P. Horsthuis & J. Sevink, 2008. EGM Vooronderzoek Deelensche Veld. apport Unie van Bosgroepen, Ede. 100 pp.

Kleef, H. van, Brouwer, E. & H. Esselink 2006. OBN-vooronderzoek naar de mogelijkheden voor natuurherstel in de Malpievennen. Rapport Stichting Bargerveen en Onderzoekcentrum B-ware, Nijmegen.

Scherpenisse-Gutter, M.C., Brouwer, E. & Verbeek, P.J.M., 2009. Beheerevaluatie Mosterdveen. Bureau Natuurbalans-Limes Divergens. In opdracht van gemeente Nunspeet & Provincie Gelderland.

Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders & A.P. Grootjans, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap, deel 3: herkomst van CO2 voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes. OBN-rapport. Bosschap, Driebergen.

Van Duinen, G.J. , H. van Kleef, M. Wallis de Vries & A. van den Burg, 2010. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap, deel 4: betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap. OBN-rapport, Bosschap, Driebergen.

Van Os, M., 2011. Eco-hydrologische analyse Hilversums Wasmeer. Rapport Bosgroep Midden-Nederland, Ede.

Verbeek, P.J.M., Brouwer, E. & M.C. Scherpenisse-Gutter, 2006. Vooronderzoek OBN Moseven. Bureau Natuurbalans-Limes Divergens. In opdracht van Bosgroep Zuid-Nederland.

Verschoor, A.J., G.J. Baaijens, F.H. Everts, A.P. Grootjans, W. Rooke, S. van der Schaaf & N.P.J. de Vries, 2003. Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen in het Dwingelderveld; een landschapsbenadering. Deel 2 Landschapsontwikkeling en hydrologie. Rapport expertisecentrum LNV 2003/227O.

Von Asmuth, J., A. Grootjans & S. van der Schaaf, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes. Eindrapport deel 2. Rapport nr. 2011/OBN147-2-NZ Directie Kennis en Innovatie Ministerie EL&I.

**Literatuur Bijlage 2**

Brouwer, E., H.H. van Kleef, H. van Dam, J. Loermans, G.H.P. Arts & D. Belgers, 2009. Effectiviteit van herstelbeheer in vennen en duinplassen op de middellange termijn. In opdracht van LNV, Directie Kennis. Rapport DKI nr. 2009/dki 126-O.

Roelofs, J.G.M. & M.J.R. Cals, 1989. Effecten van de inlaat van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit en vegetatie-ontwikkeling in laag- en hoogveenplassen. In: Aanvoer van gebiedsvreemd water : omvang en effecten op ecosystemen: proceedings van een symposium gehouden op 21 december 1988 (J.G.M. Roelofs ed.). K.U. Nijmegen, Nijmegen, p. 72-85.

Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs, & L.P.M. Lamers, 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. Biogeochemistry 98, 1-7.

Van Kleef H., 2010. Identifying and crossing thresholds in managing moorland pool macroinvertebrates. Thesis Radboud University Nijmegen, 2010.

Van Duinen G, H. H. van Kleef H, M. Wallis de Vries, M. & A van den Burg, 2011. Herstel van biodiversiteit en landschappelijke relaties in het natte zandlandschap. Betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor

herstel van de fauna van het natte zandlandschap. Eindrapport deel 4. Rapportnr. 2011/OBN147-4-NZ.

**Literatuur Bijlage 3**

Baaijens, G.J., F.H. Everts, & A.P. Grootjans, 2001. Bevloeiing van grasland in Nederland; een studie naar mogelijke vroegere bevloeiing van reservaten, in het bijzonder in het Pleistocene deel van Nederland. Rapport OBN nr 18

Baaijens, G.J., F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 2003. Vloeiweidesysteem Klein Bieler (Leven op kwelkraters). Rapport RU, Groningen, EGG consult, Geldersch Landschap, Groningen, Arnhem.

Baaijens, G.J., E. Brinckmann, P.L. Dauvelier & P.C. van der Molen 2011. Stromend Landschap Vloeiweidenstelsels in Nederland. KNNV uitgeverij 224 pp.

Bloemendaal, & J.G.M. Roelofs, 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. KNNV Uitgeverij, Utrecht/Zeist, pp. 189.

Burny, J., 1999. Bijdrage tot de historische ecologie van de Limburgse Kempen. Maastricht.

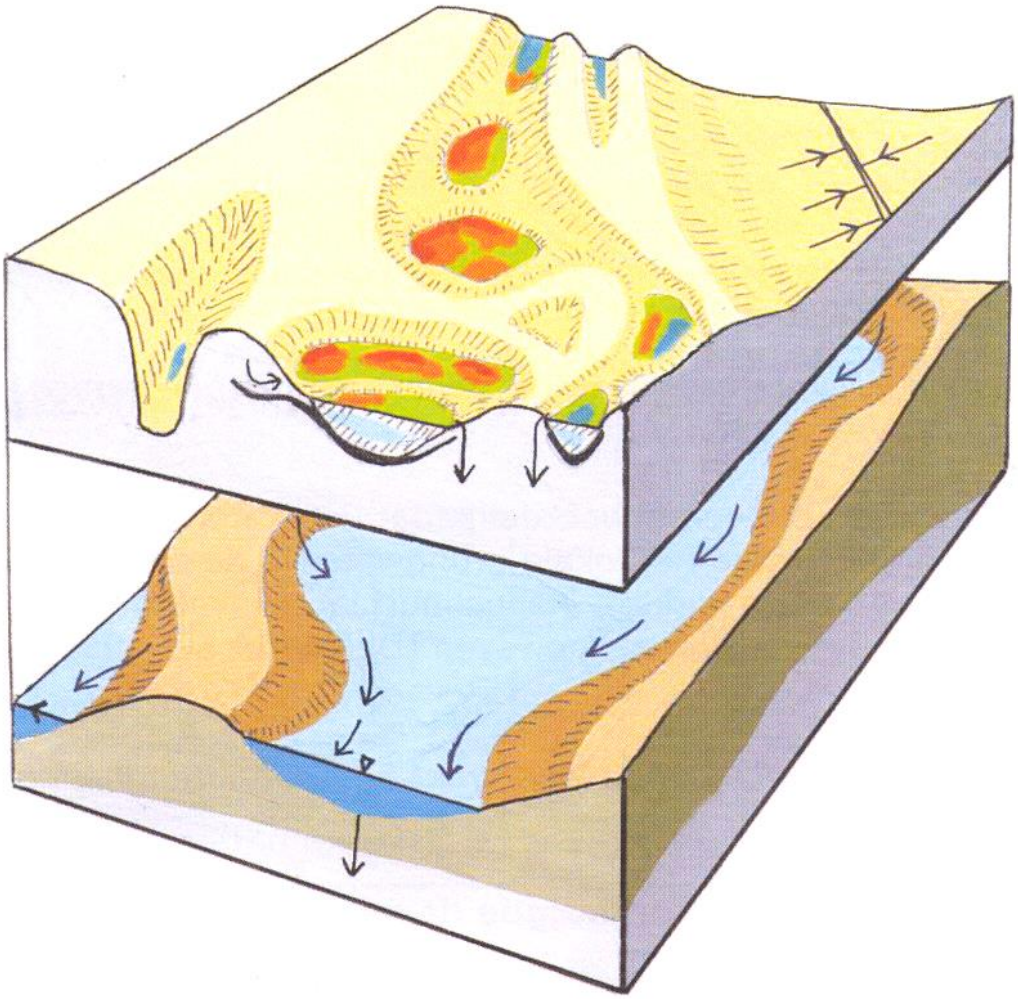
# Bijlage 1 Schijngrondwaterspiegelvennen en -veentjes

## B1.1 Inleiding

Op tal van plaatsen komen in het Pleistocene landschap vennen en veentjes voor met een schijngrondwaterspiegel. Men vindt ze zowel nabij de waterscheiding, op de flanken van beekdalen als in de zone daartussen. Dit soort veentjes heeft een uiteenlopende ontstaanswijze. Ze zijn ontstaan door afsnoering van (langgerekte) laagten (zoals erosiegeulen in keileem) en als uitblazingslaagten in stuifzandgebieden, maar het kunnen evenzeer pingoruïnes zijn (Bakker e.a., 1986). Ook zijn er forten, die hoog liggen ten opzichte van hun omgeving, veelal door geomorfologische processen waarbij omkering van reliëf is opgetreden. Stagnatie- of schijnspiegelvennen tonen veelal een ruimtelijk patroon. Binnen geulsystemen komen ze bijvoorbeeld voor in ketens (Figuur B1.1). Schijnspiegelveentjes worden hoofdzakelijk gevoed door regenwater. Het zijn als het ware soepborden in het landschap waarin regenwater zich verzamelt en die in perioden met een neerslagoverschot via oppervlakkige afvoer water verliezen naar de omgeving (Bakker e.a, 1986;  Jalink e.a., 2003; Von Asmuth e.a., 2011).

De schijnspiegelveentjes kunnen hydrologisch volledig onafhankelijk van hun omgeving functioneren, of er kan in natte perioden aanvoer van jong grondwater plaatsvinden doordat het peil van het onderliggende grondwatersysteem stijgt tot boven de laagste rand van de ondoorlatende laag. In het navolgende worden daarom twee typen schijnspiegelveentjes onderscheiden, namelijk schijnspiegelveentjes met invloed van atmoclien grondwater en veentjes zonder die invloed (Von Asmuth e.a., 2011). Het periodiek toestromend atmoclien grondwater is vaak (zeer) zwak gebufferd en heeft vaak hoge koolzuurgehaltes, waardoor de vennen en veentjes van dit type ook zwak of zeer zwak gebufferd zijn, dan wel daarvan plaatselijk kenmerken hebben.

Op wat kleinere schaal komen op de plekken waar de hierboven beschreven grondwaterstromen optreden, afwijkende vegetaties voor die op zichzelf ook gezien kunnen worden als kleine ecotopen. Enerzijds gaat het om grondwater dat uit de hogere delen van het lokale grondwatersysteem richting de laagte stroomt (kwelzones van schijnspiegelveentjes). Anderzijds gaat het juist om de locaties waar de ondoorlatende laag het laagst gelegen is, en waar dus grondwater weglekt uit het systeem, de zogenaamde lekzones van deze veentjes of vennetjes. Op beide typen plekken ontstaat in natte perioden stroming van oppervlakkig grondwater en deze stroming komt in droge perioden geheel of gedeeltelijk tot stilstand.



*Figuur B1.1: Ligging van schijngrondwaterspiegelveentjes in een geulensysteem waarin zich verkitte B-horizonten bevinden, waarop het neerslagwater stagneert. Daaronder is het reliëf van slecht doorlatende keileemlaag aangegeven (Verschoor e.a., 2003).*

Binnen het cluster schijnspiegelveentjes worden dus vier typen "kleine ecotoop" onderscheiden waarvan we hier alleen ingaan op de eerste twee. De overige twee kleine ecotopen zijn in deze rapportage afzonderlijk beschreven:

- Schijnspiegelveentje
- Schijnspiegelveentje met toestroom van atmoclien grondwater
- Kwelzones langs schijnspiegelveentjes (zie H6)
- Lekzones langs schijnspiegelveentjes (zie H6)

Het karakter van deze kleine ecotopen hangt nauw samen met hun positie in het landschap (Bakker e.a., 1986, Verschoor e.a., 2003). Het eerste hoofdtype (zuur) wordt volledig gevoed door regenwater. Vennen en veentjes van dit type liggen veelal op of nabij de waterscheiding of in de oorspong of op de flank van het dicht gestoven geulsysteem waarvan ze deel uitmaken. Het tweede type (zwak zuur) wordt niet alleen door regenwater gevoed, maar ook door zwak gebufferd, koolzuurrijk lokaal grondwater.
Kwelzones komen alleen goed tot ontwikkeling langs schijnspiegelveentjes met een ondoorlatende laag van enige omvang. In de winter vindt opbolling van de schijngrondwaterspiegel plaats in de hogere delen van het systeem, waardoor nog langere tijd grondwater wordt nageleverd aan de lagere delen.

Dit type lokaal kwelsysteem kan jaarrond functioneren bij grotere systemen, of daar waar de bodem slechts langzaam water doorlaat (zie verder H6). De lekzones functioneren vrijwel op dezelfde manier als de kwelzones. In veel systemen ontbreken ze schijnbaar, omdat de overloop van "het soepbord" zich in de diepere ondergrond en buiten het bereik van de wortelzone bevindt. Daarom dagzomen deze lekzones vooral in reliëfrijke gebieden en neemt het de gedaante van een kwelzone aan die onderaan in het systeem ligt. In het geval van forten, overstoven schijnspiegelveentjes, vindt er opbolling van het grondwater plaats in het stuifzandpakket op het schijnspiegelveentje en is de lekzone, veelal op een helling de enige natte plek aan de oppervlakte van het systeem.

In schijnspiegelveentjes vindt doorgaans een ontwikkeling plaats van zure vennen richting hoogveenvennen en door verder gaande successie in combinatie met verdroging of eutrofiering kan er berkenbroek ontstaan. De kwel- en lekzones kunnen worden geïndiceerd door de ontwikkeling van Gagelstruweel en ook door soorten als Beenbreek (*Narthecium ossifragum*) en Veldrus (*Juncus acutiflorus*) (Everts e.a., 2011, Scherpenisse-Gutter e.a., 2009). Daar waar Gagelstruweel sterk ontwikkeld is, gaan ze lijken op basenarme doorstroom- of hellingvenen. In de Drentse situatie is de ontwikkeling van Wilde gagel (*Myrica gale*) in deze zones veel zeldzamer dan in elders in ons land en veelal beperkt tot vennen die nabij of in de flank van beekdalen liggen.

Schijnspiegelveentjes met invloed van grondwater uit een omliggend systeem behoren vaak tot de (zeer) zwak gebufferde vennen. Echter, ze behoren niet tot de (zeer) zwak gebufferde vennen met een zandbodem (oeverkruidvennen), en ontwikkelen zich eerder ook tot hoogveenvennen. De lekzones langs forten zijn slechts in weinig andere indelingen opgenomen en zijn in dit rapport beschreven in hoofdstuk H6.

## B1.2 Natuurwaarden

In de omgeving van de vennen bestaan de hoge delen van de gradiënt uit droge heiden of stuifzandheiden. In de vennen zelf komen verschillende successiestadia voor met als uitersten het pionierstadium van hoogveenverlanding en het eindstadium met een patroon van hoogveenbulten en -slenken. In de meeste schijnspiegelveentjes worden veelal mozaïeken aangetroffen van verschillende gemeenschappen, die kenmerkend zijn voor de verschillende verlandingsfasen (successiestadia) van open water naar hoogveen. In de laagten die grenzen aan het ven en die in natte periode van het jaar water ontvangen uit het ven, komt veelal vochtige heide voor of pionierstadia daarvan met snavelbiezen (Bakker e.a., 1986).

**Vegetatie**
In geheel door regenwater gevoede schijnspiegelveentjes (co-)domineren in de pionierstadia vaak afzonderlijke of enkele soorten als Veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), Snavelzegge, Veelstengelige waterbies (*Eleocharis multicaulis*), Waterveenmos (*Sphagnum cuspidatum*), Gewone waterbies (*Eleocharis palustris ssp. palustris*) en Pijpenstrootje (*Molinia cearulea*). In een volgende verlandingsfase voegen zich daar soorten bij als Witte snavelbies (*Rhynchopspora alba*) en veenmossen als Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) en Wrattig veenmos (*S. papillosum*). In een nog wat latere fase verschijnen de eerste soorten van hoogveenbulten als Kleine veenbes (*Vaccinium oxycoccus*), Lavendelhei (*Andromeda polifolia*), Hoogveen-

veenmosmos (*S. magellanicum*), en Eénarig wollegras (Figuur B1.2). Op de hoogste bulten zijn tevens Gewone dophei (*Erica tetralix*), Struikhei (*Calluna vulgaris*) en Kraaihei (*Empetrum nigrum*) aanwezig. Gaandeweg ontwikkelt zich een fraai patroon van bulten en slenken.

De successie in het zwak zure type schijnspiegelveentjes met toestroom van atmoclien grondwater is vergelijkbaar, maar kent een extra reeks gemeenschappen van het Draadzegge-verbond (*Caricion lasiocarpae* en soorten die een licht verhoogde pH aangeven). Het gaat meestal om Waterdrieblad, Wateraardbei (*Potentilla palustris*), Draadzegge (*Carex lasiocarpa*) Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) en Vensikkelmos (*Warnstorfia fluitans*). Vaak zijn er drijftillen aanwezig in dit ventype. Kwelzones en lekzones hebben een geheel eigen vegetatie, deze is beschreven in de betreffende hoofdstukken (H6).

*Figuur B1.2: Goed ontwikkelde hoogveenvegetatie het ven Poort II in het Lheebroekrzand. Detail hoogveenbult met Wrattig veenmos, Kleine veenbes en Beenbreek in het vroege voorjaar.*

In deze kleine ecotoop komen weinig soorten korstmossen voor. De paddenstoelenflora is wel wat rijker, ook al omdat gereduceerde verbindingen zich niet ophopen. Op kale plekken met enige algengroei op de bodem is de zeer zeldzame Lenteknotszwam (*Clavulinopsis vernalis*) soms aanwezig. Verder zijn soorten van natte graslanden, natte heide en hoogveen kenmerkend. Dit zijn met name satijnzwammen (*Entoloma* spp) en zwavelkoppen (vnl. subgenus *Hypholoma*).

**Fauna**

De schakering aan plantengemeenschappen in de vennen biedt habitat aan een groot aantal diersoorten (Van Duinen e.a., 2010). Op hoogveenbultjes met veenbes leven de Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) en het Veenbesblauwtje (*Plebejus optilete*). De volwassen vlinders foerageren op Gewone dophei (*Erica tetralix*). De pionierstadia met Waterveenmos en Veenpluis zijn het leefgebied van kleine waterkevers van het geslacht

*Hydroporus* en dansmuggen van het geslacht *Ablabesmia*. In het open water leven onder andere het Dwergschrijvertje (*Gyrinus minutus*) en diverse soorten waterwantsen. Hoewel elk ontwikkelingsstadium haar eigen kenmerkende diersoorten kent, is er ook een groep diersoorten die juist afhankelijk is van een mozaïekpatroon van verschillende successiestadia. Voorbeelden van soorten uit deze groep zijn de waterkevers *Ilybius guttiger* en *I. aenescens* en de waterwantsen *Hesperocorixa linnei* en *H. sahlbergi*.

## B1.3 Standplaatscondities & sleutelprocessen

**Standplaatscondities**
Daar waar de ondoorlatende lagen nog intact zijn, fluctueren de grondwaterstanden in de regel over de seizoenen niet meer dan 30(-40) cm (Bakker e.a., 1986). Peilfluctuaties zijn gering doordat er weinig wegzijging optreedt en de hoogste standen worden afgevlakt, doordat het water bij oplopende standen over de rand van de slecht doorlatende laag wegstroomt (Von Asmuth e.a., 2011). Hydro- of bodemchemische samenstelling: het water bestaat vooral uit regenwater. Het ondiepe grondwater dat toestroomt in de zwak zure schijnspiegelvennen heeft een hoog gehalte aan koolzuur en is daarnaast zwak gebufferd en heeft een hoger gehalte aan basische kationen dan het regenwater.
Doordat schijnspiegelveentjes vooral gevoed worden door regenwater, zijn ze voedselarm. Open water bevat meestal minder dan 1 micromol fosfaat per liter. In de winter lopen de concentraties mineraal stikstof op tot die in het regenwater, maar in de zomer dalen de concentraties vaak tot nauwelijks meetbare waarden (Brouwer e.a., 2009). Het water is tamelijk rijk aan koolzuur, dat via afbraak van organisch materiaal en met grondwater wordt aangevoerd. Wel is het open water soms sterk gekleurd door humuszuren, waardoor de lichtcondities in dieper water ongeschikt zijn voor plantengroei. De plantengemeenschappen in de gradiënt zijn kenmerkend voor oligotrofe (gemeenschappen hoogveenverlanding en natte heiden) tot licht mesotrofe omstandigheden (Gagelstruwelen en moerassen met onder meer Draadzegge, Waterdrieblad en Wateraardbei) (Bakker e.a., 1986, Everts & de Vries, 1988).

**Sleutelprocessen**
Hydrologisch gezien zijn deze systemen stagnante inzijggebieden d.w.z. de schijngrondwaterspiegel is (het grootste deel van het jaar) hoger dan de stijghoogten in het watervoerend pakket van de omliggende gronden. Peilfluctuaties zijn gering doordat er weinig of geen wegzijging optreedt en hoogste standen worden afgevlakt. In de zwak zure schijnspiegelvennen speelt naast voeding door regenwater ook voeding van grondwater uit de omgeving een rol. Deze vennen maken veelal deel uit van geulsystemen, waar in een veelal dun watervoerend pakket grondwaterstroming optreedt en waarin zich (oude) B-horizonten bevinden met organische stof (Verschoor e.a., 2003, Everts e.a. 2005, Von Asmuth e.a., 2011). Door bacteriële activiteiten in deze horizonten is het afstromende grondwater veelal koolzuurrijk (Tomassen e.a., 2011). In neerslagrijke perioden met hoge grondwaterstanden kan het koolzuurrijke grondwater over de slecht doorlatende randen van het ven en zo in het ven stromen. Dit leidt, in vergelijking met de alleen door regenwater gevoede schijnspiegelveentjes, niet alleen tot een versnelde veenmosgroei (vooral de initiële fasen van de verlanding profiteren veenmossen van de koolzuurrijkdom, Tomassen e.a. 2011). Ook kennen ze (binnen de genoemde habitattypen) een inslag van planten(gemeenschappen), die gebonden zijn aan (zeer) zwakgebufferde omstandigheden.

In hydrologisch geïsoleerde vennen draagt beschutting tegen de wind door aangrenzend bos bij aan het verminderen van de verdamping door open water en door de venvegetatie. Ook neemt de windwerking af waardoor het kwetsbare veen beter is beschermd tegen erosie als gevolg van golfslag.

Aanvoer van jong grondwater kan behalve de ophoping van ammonium ook de ophoping van aluminium voorkomen (Bobbink e.a., 2004, Scherpenisse-Gutter e.a., 2009, Brouwer, 2011). Veel zuurmijdende soorten zijn gevoelig voor hoge aluminiumconcentraties. Mogelijk verklaart dit de binding van Beenbreek aan kwelplekken in het nat zandlandschap, terwijl de soort bijvoorbeeld in hoogvenen niet gebonden lijkt aan kwelplekken.

**Varianten & relaties met landschap**
Binnen de kleine ecotoop komt naast de eerder genoemde 4 typen ook variatie voor in verlanding en in mate van mesotrofie. De verlanding is zowel afhankelijk van menselijk ingrijpen als de positie van het ven in het landschap. De mesotrofie is op haar beurt afhankelijk van de positie en aard van het bodemmateriaal. De snelheid van de hoogveenverlanding is in belangrijke mate afhankelijk van de omgeving en een goede hydrologie. Ze verloopt sneller naarmate meer koolzuurrijk water het ven instroomt, zeker in de initiaalfase van de verlanding (Tomassen, 2011). Het verkrijgen van een optimale hydrologie, waarbij de verdroging is gestopt, is cruciaal. Door het dichten van slootranden en vernatting van de omgeving is bijvoorbeeld hoogveenherstel in veentjes op het Dwingelderveld succesvol gebleken (Everts e.a., 2005).

Het successiestadium is vaak ook afhankelijk van tijdstip en aard van menselijk ingrijpen. Veel vennen zijn het verleden verdroogd geraakt mede door de vervening die er in plaatsvond en waarbij ondoorlatende bodemlagen zijn verstoord. In de jaren tachtig lagen in vrijwel alle vennen in de boswachterijen van Drenthe sloten die het venwater afvoerden naar de omgeving. Vernattingsmaatregelen, waarbij vooral sloten door de randen werden gedicht hebben geleid tot reactivering van de hoogveengroei. Daarbij ontwikkelden zich veelal eerst initiaalstadia met Waterveenmos en vervolgens Fraai veenmos. Later voegden zich daar soorten bij als Veenpluis, Snavelzegge, Veelstengelige waterbies en Gewone waterbies. In een nog later stadium vestigden zich soorten als Witte snavelbies, Kleine veenbes en Wrattig veenmos gevolgd door ook hoogveenbultensoorten als Lavendelhei, Hoogveen-veenmos en Eénarig wollegras. De verlanding die door herstelmaatregelen wordt ingezet is dus afhankelijk van de mate van verdroging of vervening. Soms is de uitgangssituatie een pure Pijpestrootje vegetatie, soms bestaat ze uit een pallet van verdroogde vegetaties met plaatselijk nog hoogveenbulten en slenkvegetaties in bijvoorbeeld putjes. Vernatting van deze verschillende situaties leidt ook tot een verschillende successie. In het eerste geval zien we voornamelijk initiaal fasen van de hoogveenverlanding ontwikkelen. In de andere situatie worden alle nog aanwezige elementen gereactiveerd en zien we vanaf het begin al een gevarieerdere vegetatie. Deze ontwikkeling is echter alleen mogelijk als hoogveenbulten niet door de vernatting verdrinken. De mate van peilverhoging is daarbij maatgevend.

Zoals reeds geschetst is trofiegraad afhankelijk van de positie in het landschap en de aard van het landschap. Naar mate het voedingsgebied groter en de aard van het bodemmateriaal rijker is, neemt het aandeel mesotrafente of meer gebufferde soorten toe. Het maakt daarbij bijvoorbeeld

uit of het bodemmateriaal uit dekzand of Rijnsediment bestaat, of welke positie het ven inneemt in de keten van vennen in de erosiegeul.

Schijngrondwaterspiegels ontstaan op plaatsen waar zich water ondoorlatende lagen vormen zoals gliede- en waterhardlagen (Verschoor e.a. 2003). Na vorming kan in perioden met neerslagoverschot het overschot alleen in horizontale richting worden afgevoerd. Omdat de rand van ondoorlatende lagen nooit volkomen horizontaal ligt, wordt deze afvoer vaak sterk geconcentreerd op het laagste punt. Op een klein oppervlak ontstaan dan een systeem met een sterke doorstroom met grondwater. Zodra het neerslagoverschot is afgevoerd of zodra het waterpeil in het laagste deel van het schijngrondwatersysteem gelijk is aan de hoger gelegen delen, stopt de doorstroom.

Enerzijds komt dit type systeem voor aan ven- of veenranden met een schijngrondwaterspiegel. De water ondoorlatende laag strekt zich dan uit tot ver voorbij de venomtrek. Vanuit de hoger gelegen delen vindt dan oppervlakkige en periodieke grondwateraanvoer plaats. Soms liggen er zelfs meerdere vennen in zo'n systeem, en kan er oppervlakkig of via het grondwater doorstroom van het ene ven naar het andere plaatsvinden. Voorbeelden zijn het Andromedaven (Hoge Veluwe) en het Moseven (Hoogerheide). Aan de onderkant gaan deze systemen over in aquatische gemeenschappen, vaak met een sterk verlandingskarakter.
Anderzijds komen deze systemen voor aan de randen van ondoorlatende lagen, dus waar het grondwater over de rand van de ondoorlatende laag stroomt totdat het daaronder gelegen grondwatersysteem is bereikt. Dergelijke systemen zijn dus nat aan de bovenkant, maar juist droog aan de onderkant. Een voorbeeld vormen afzettingen waarbij door verstuiving een dik zandpakket is afgezet op een on- of slechtdoorlatende laag. Het zijn veelal reliëfrijke gebieden waarbij stagnatie en opbolling van het grondwater optreedt in perioden met een neerslagoverschot. De zone waar het grondwater uittreedt bevindt zich vaak halverwege de helling.

**Invloed mens (Beheer en cultuur)**
De veentjes werden in het verleden gebruikt voor vervening waarbij turf werd gewonnen of ze werden gebruikt voor boekweit brandcultuur. Ook is bekend dat sommige vennen werden gebruikt voor het wassen van schapen (Bakker e.a. 1986, Everts & de Vries, 1988). In het begin van de vorige eeuw stonden ze onder belangstelling van natuurbeschermers die soms ook maatregelen troffen die nu wat vreemd ogen. Bekend is dat soms veentjes werden bemest met het oog bepaalde soorten zoals Witte waterlelie te introduceren. De vervening leidde er veelal toe dat de successie van de hoogveenverlanding werd teruggezet en dat er verdroging optrad. Veel veentjes zijn in de tweede helft van 19$^{de}$ eeuw en de 20$^{ste}$ eeuw aangetast of verdwenen door heidebebossingen, heideontginningen en ruilverkavelingen.
Onder het huidige natuurbeheer is het van belang de veentjes zoveel mogelijk te ontzien van storingsinvloeden en het beheer te beperken tot herstelmaatregelen die leiden tot een optimale waterhuishouding.

**Voorbeeldgebieden**

- Drenthe: Dwingelderveld (Verschoor e.a., 2003), Boschoord (Zuidwest-Drenthe; Jansen e.a., 2010), Hoornsch Veentje (landgoed Ooster- en Westerzand, Zuidwest-Drenthe; Eysink&Jansen 2011);

- Overijssel: Boswachterij Ommen en Hardenberg (Everts e.a, 2011);

- Gelderland: Appelsche Heide (landgoed Gerven, Gelderse Vallei; Jansen & Bouwman, 2010), Deelensche Veld (Hoge Veluwe; Jansen e.a., 2008), Mosterdveen (Scherpenisse-Gutter e.a., 2009), Moseven (Verbeek e.a., 2006);

- Noord-Holland: Hilversums Wasmeer (Van Os, 2011), Laarder Waschmeer ('t Gooi; Sevink & Vlamink, 2006), Botersnijder Overasselt, ven Moerkantse Baan (Brouwer, 2011)

## B1.4 Bedreigingen en huidige status

- Er bestaan verschillende menselijke ingrepen die van invloed zijn op degradatie van dit type ecotoop. Veel voorkomend is de verdroging door aantasting van de slecht doorlatende laag of sloten die ooit voor de historische vervening van de veentjes zijn gegraven in de rand van het ven (Everts & de Vries, 1988). Ook is in veel natte-heidesystemen, waarvan de schijnspiegelveentjes onderdeel zijn, de grondwaterstand vanwege allerlei oorzaken verlaagd. Daardoor "hangen de zure vennen niet meer met hun buik in het water" en is er een mogelijk risico dat als gevolg daarvan scheuren in de venbodem ontstaan en grote lekverliezen optreden. Er is nog veel onduidelijkheid omtrent dit risico. Het soort lekverliezen worden vooralsnog laag ingeschat en voornamelijk verwacht aan de randen van vennen (Von Asmuth, e.a. 2011). Anderzijds leidt verdroging van de omgeving tot verminderde toestroom van grondwater uit de omgeving. De grondwaterstanden in de omgeving van en in de geulsystemen zijn van belang voor de voeding van grondwater in de zwak zure schijnspiegelvennen. Hieraan kunnen verschillende ontwateringmaatregelen ten grondslag liggen (Everts e.a., 2005):
- lagere grondwaterstanden in dekzandruggen door drooglegging en toegenomen verdamping in omliggende laagten (begreppeling en aanleg diepe watergangen voor de bosbouw, aanplant van naaldbos, aanleg van zandwinplassen (Von Asmuth e.a., 2011);
- lagere grondwaterstanden in dekzandruggen door verlaagde peilen in aangrenzende beekdalen (Bakker e.a. 1986);
- lagere grondwaterstanden en verminderde grondwaterstroming in dekzandruggen als gevolg van het graven van sloten en vergravingen in freatische pakketten van de geulsystemen alsmede de doorgraving van de B-horizonten. Het meest ingrijpend zijn vergravingen in de rand of dwars door het ven, waarbij de slecht doorlatende laag is aangetast en de stagnante situatie al dan niet geheel verdwenen is (Everts & de Vries, 1988);
- een verminderde toestroming van grondwater als gevolg van een hogere verdamping van vooral donker naaldbos (evatranspiratie en interceptie) in het intrekgebied van het lokale grondwater;
- een verminderde toestroming van grondwater als gevolg van vergraving van reliëf in het intrekgebied van het lokale grondwater. We zien dit vaak terug in diepe doorsnijdingen van wegen door dekzandruggetjes (binnen geulsystemen). Hierdoor kan vroegtijdig waterverlies optreden.

De verdroging is vaak het eerst merkbaar in de achteruitgang van de kwaliteit van de kwel- en lekzones. Grondwaterstromen worden kleiner, waardoor deze zones ook in oppervlak kleiner worden. Bovendien leidt verminderde

nalevering van relatief koolzuurrijk grondwater tot een minder snelle hoogveenontwikkeling, mede door de te grote peilfluctuaties.

Soms is de vegetatiestructuur in de omgeving niet optimaal waardoor de windwerking te groot is. Windwerking met golfslag treedt op in vennen met een groot oppervlak open water en in weinig verlandde vennen die in een weinig beschut landschap liggen. Een goede structuur kenmerkt zich door een goed afgestemde situering en omvang van bos in het beïnvloedinggebied van het ven. Hierin spelen mate van beschutting, inwaai van blad en grootte verdamping (zie boven) een rol. Inwaai van blad kan bijvoorbeeld leiden tot slibophoping in het ven en op de oevers, waardoor extra voedingsstoffen vrijkomen. Ook speelt inspoeling van meststoffen een rol. Vennen grenzend aan (voormalige) landbouwgebieden of op plekken waar via watergangen instroming van voedselrijk oppervlaktewater plaatsvindt, zijn geëutrofieerd. Ook heeft (veelal in het verleden) eutrofiëring plaatsgevonden doordat de vennen door meeuwen werden gebruikt als broed- en rustbiotoop (Bakker e.a., 1986).

Systemen op schijngrondwaterspiegels zijn ook gevoelig voor veranderingen in luchtkwaliteit en terreingebruik. Atmosferische zwaveldepositie heeft in veel vennen tot sterke verzuring geleid en vermoedelijk ook tot het afzinken van drijftillen omdat zwavelreducerende bacteriën concurreren om organisch materiaal met methaanproducerende bacteriën. De periode met hoge zwaveldepositie is inmiddels verleden tijd, maar juist in geïsoleerde vennen met een ondoorlatende laag is de afvoer van in de bodem opgehoopt zwavel zeer gering. Dit kan bij droogval leiden tot sterke verzuring en in natte perioden tot interne eutrofiëring en afsterven van wortelende water- en moerasplanten.
Vaak bestaat een deel van het inzijggebied uit bos en dit bos vangt veel stikstof in wat vervolgens in de vorm van nitraat in het lokale grondwatersysteem terecht komt. Dit nitraat heeft net als zuurstof een oxidatieve werking waardoor het grondwater kan verzuren en ijzerconcentraties sterk af kunnen nemen. Daarnaast is het uiteraard ook een voedingsstof. Bosaanplant in het inzijggebied kan dus grote gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit. In de venbodem raakt steeds meer ijzer gebonden aan zwavel en fosfor, en kan het punt bereikt worden dat de bodem grote hoeveelheden fosfaat gaat naleveren aan de waterlaag. Dit wordt nog bevorderd door bladinwaai, omdat blad meer zwavel en fosfaat bevat dan ijzer.
Wanneer in het inzijggebied ook landbouw aanwezig is, is de nitraatverontreiniging in potentie vaak nog stukken groter. Het grondwater bereikt dan echter door verdroging vaak niet meer het schijnspiegelveentje tenzij het ven aan landbouwgebied grenst.

De knelpunten van verdroging en eutrofiëring uiten zich in schijnspiegelveentjes of –vennen via verschillende vegetatiedegradatiereeksen, afhankelijk van het successiestadium waarin de verstoring heeft plaatsgevonden. Veelal treedt een verschuiving op in het vegetatiemozaïek, waarbij in sterk aangetaste situaties rompgemeenschappen en gefragmenteerde gemeenschappen geheel de overhand krijgen (Verschoor e.a. 2003). In het pionierstadium van de verlanding treden Pijpenstrootje en Waterveenmos dan op de voorgrond, evenals Knolrus (*Juncus bulbosus*). Bij latere verlandingsstadia trekken de kenmerkende veenmossen zich terug naar de lagere delen zoals veenputjes en laagtes. Op de vlakten bepalen heideachtigen als Struikhei, Gewone dophei en Kraaihei dan het aspect. Ook neemt dan de opslag van Zachte berk (*Betula pubescens*) en Grove den (*Pinus sylvestris*) sterk toe.

De schijnspiegelveentjes kennen ook karakteristieke eutrofiëringindicatoren zoals Grote lisdodde (*Typha latifolia*), Pitrus (*Juncus effusus*) in hoge bedekking en Mannagras (*Glyceria fluitans).*

**Huidige status**
Deze kleine ecotopen bevatten zeer hoge natuurwaarden. Deze worden vooral vertegenwoordigd door weinig aangetaste vennen met een mozaïek van verschillende verlandingstadia van hoogveenvegetaties, in onze klimaatzone een sterk bedreigd biotoop. In de verschillende regio's van ons land zijn veel veentjes aangetast en herbergen nog slechts verdroogde vegetaties waarin de soortenarmoede wordt bepaald door dominanties van Pijpenstrootje, heidesoorten en Berk, plaatselijk afgewisseld met Waterveenmos en Veenpluis. In geval van eutrofiëring voegen zich daar soorten bij als Pitrus en Grote lisdodde. De aangetaste veentjes herbergen een hoge potentiële waarde. Het succes van de herstelmaatregelen de afgelopen 25 jaar op het Dwingelderveld en vele plekken elders in het land toont aan dat in ons land veel natuur winst kan worden gehaald bij een toegesneden set aan herstelmaatregelen.
Het meest bedreigd zijn de kwel- en lekzones. Bij verdroging gaan deze als eerste verloren en vaak is niet bekend of dergelijke zones aanwezig zijn geweest. Beenbreek is kenmerkend en heeft een kortlevende zaadbank; na verdwijning is het voor zo'n soort moeilijk om terug te keren. Veenbloembies is mede daardoor vrijwel uitgestorven in Nederland (zie H-6).

## B1.5 Herstelmaatregelen

Aantasting van de slecht doorlatende lagen kan worden hersteld door sloten te dempen, waarbij de slootbodems gedicht worden met een vergelijkbaar materiaal als het naastgelegen gebied (Verschoor e.a. 2003). Aldus wordt het oorspronkelijke bodemprofiel, inclusief slecht doorlatende laag gereconstrueerd. Dat is niet altijd mogelijk. Dan kan om de venrand te herstellen bijvoorbeeld leem worden gebruikt ter imitatie van de slecht doorlatende laag. Wanneer het gaat om organische B-horizonten of gliedelagen, zijn er aanwijzingen dat zulke slecht doorlatende lagen zich binnen enkele decennia geleidelijk kunnen herstellen.

Ook sloten in venranden die geen slecht doorlatende lagen doorsnijden, maar wel zorgen voor drainage of versnelde afvoer, dienen te worden gedicht. Hierbij kunnen verschillende strategieën worden gevolgd (Verschoor e.a. 2003). Een dichting in stappen is aan te bevelen wanneer nog meerdere verlandingsstadia aanwezig zijn. Zo worden in de regel alle stadia gereactiveerd en krijgen ook diersoorten de kans met stijgende waterstand mee te migreren. Bij een resolutere dichting bestaat de kans dat latere verlandingsstadia verdrinken en pas op langere termijn terugkeren.

Om de invloed van grondwater uit de omgeving te vergroten of terug te krijgen is veelal een set aan maatregelen nodig, die afhankelijk is van de situatie. Hierbij kan men denken aan:

- op de dekzand-/ tuifzandrug dempen van sloten en greppels, verwijderen van bos, en herstellen van reliëf (aantasting door vergravingen bijvoorbeeld voor wegen) van de ruggen;
- in aangrenzende laagten dempen van greppels en/of sloten en dichten van de kunstmatig gecreëerde afvoer;
- bij een te lage GLG in de ruggen is het noodzakelijk om in een ruimere omgeving het watergangen- en drainagestelsels aan te passen en bos

te verwijderen. De aanpassingen zijn gericht op het minder snel afvoeren van water en deze afvoer op een hoger niveau te laten plaats vinden. Daardoor blijven de grondwaterstanden in het voorjaar langer hoog, zakken de grondwaterstanden in de zomer minder diep weg en treedt in het najaar/de vroege winter eerder inundatie van de laagten op en wordt aldus de hoogte en frequentie van de opbolling van de grondwaterstand in de aangrenzende ruggen vergroot;

- eutrofiëring kan worden beperkt door aangrenzende rijkere gronden te verschralen en sloten die voedselrijk water aanvoeren om te leiden. Om invang van bladmateriaal te minimaliseren, dienen oevers vrijgehouden te worden van bosopslag;
- om voedselarme condities te herstellen kunnen geaccumuleerde voedingsstoffen als gevolg van eutrofiëring worden verwijderd door te plaggen of soms te baggeren. Daarbij is het van belang rekening te houden met nog aanwezige natuurwaarden. Deze maatregel blijkt in de praktijk niet altijd succesvol en niet zonder risico's waarbij bijvoorbeeld Pitrus na de maatregelen terugkeert en slecht doorlatende lagen worden aangetast (Verschoor e.a., 2003). De keuze voor deze maatregel is afhankelijk van de ernst van de eutrofiëring. In niet te ernstig geëutrofieerde vennen is herstel van de waterhuishouding meestal voldoende om de veenmosgroei te herstellen en raakt de eutrafente vegetatie op den duur overgroeid door veenmossen en in slenken met andere kenmerkende soorten van hoogveenslenken. Daar waar een aanzienlijke fosfaatlast is binnengekomen, meestal via oppervlaktewater of door grote aantallen watervogels, blijft baggeren een optie. Ook dan kan de uitgangsituatie (vegetatiesamenstelling) nog gunstig genoeg zijn dit niet te doen, zoals de hoogveenontwikkeling in de Meeuwenplas (Dwingelderveld) aangeeft en waar uit een sterk geëutrofieerde situatie (vogels) Pitrus is overgroeid geraakt door hoogveenbulten. In de andere gevallen moet bij baggeren het fosfaat niet zijn doorgedrongen in de waterkerende laag (van Kleef e.a., 2006; Brouwer, 2008).

Hydrologisch herstel is eenvoudiger bij ondiep gelegen slecht doorlatende lagen en verloopt dan snel. Naarmate zandpakketten dikker zijn zullen maatregelen in een wijdere omgeving nodig zijn.
Per situatie dient onderzocht te worden of herstelmaatregelen gericht op het hydrologisch functioneren van de gradiënt gecombineerd moeten worden met maatregelen op standplaatsschaal. De ervaring leert wel dat hydrologisch herstel veelal voldoende is. De omvang van de noodzakelijke maatregelen dient door hydrologisch onderzoek te worden bepaald. Hierbij moet speciaal gelet worden op het (vroegere) voorkomen van kwel- of lekzones.

Soms zijn bij de herstelmaatregelen naast natuurwaarden ook cultuurhistorische waarden in het geding. Deze waarden dienen bij afweging en keuze van herstelmaatregelen voor de natuur te worden betrokken.

# Bijlage 2 Gradiëntvennen

## B2.1 Inleiding

Er zijn (nog) maar heel weinig gradiëntvennen in Nederland aanwezig. Deze tekst is daarom voor een belangrijk deel gebaseerd op historische gegevens en een enkele beschrijvende studie van dit schaarse ecotoop (Brouwer e.a., 2009; Van Duinen e.a., 2011).

**Omschrijving**
Ven met een zeer sterke interne gradiënt in buffercapaciteit die loopt van vrijwel zuur water van lokale oorsprong tot matig of zelfs sterk gebufferd oppervlaktewater of kwelwater. Op deze gradiënt komt een reeks verschillende vegetatietypen voor. Deze reeks verloopt van dominantie van veenmossen (*Sphagnum* spec.), Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*), Draadzegge (*Carex lasiocarpa*), via Riet- of Galigaanmoeras met ondergroei van Plat blaasjeskruid (*Utricularia intermedia*), naar aquatische vegetaties van bicarbonaat gebruikende waterplanten. De gradient bestaat ten minste voor een deel uit semi-aquatische vegetaties, zodat er een fysieke, maar geleidelijke scheiding ontstaat tussen zuur en gebufferd water. Ook in veel andere vennen komen gradiënten voor in buffercapaciteit, maar deze zijn duidelijk minder sterk ontwikkeld.

**Aansluiting bij andere indelingen**
*Vegetatiegemeenschappen*: Overgangen tussen en elementen van Waterveenmos-associatie (*Sphagnetum cuspidato-obesi*), Galigaan-associatie (*Cladietum marisci*) en Riet-associatie (*Typho-phragmitetum*), De meest soortenrijke en kenmerkende delen van de gradiënt behoren tot de Associatie van Kleinste egelskop (*Sparganietum minimi*), vroeger was ook de Associatie van Schorpioenmos en ronde zegge (*Scorpidio-Caricetum diandrae*) aanwezig.

*Natura2000*: Dit type is niet eenduidig in een Natura-2000 habitattype te plaatsen, maar bevat elementen van Galigaanmoeras (H7210), Overgangs- en trilveen (H7140), Zwakgebufferde (H3130) en Zure vennen (H3160),

## B2.2 Natuurwaarden

De gradiënten vormen een soortenrijk habitat voor zowel planten als dieren. Kenmerkende plantensoorten van hoogveenoevers, hoogveendrijftillen, gebufferde vennen met kooldioxide-rijk water en zelfs laagveenplassen kunnen worden aangetroffen. Aan de zure kant van de gradiënt komen onder andere Draadzegge, Klein blaasjeskruid en Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*) voor. Richting de gebufferde kant is er vervolgens meestal een zone met helofyten, Riet (*Phragmites australis*), Lisdodde (*Typha spec.*) en/of Galigaan (*Cladium mariscus*) aanwezig. Op de bodem kan Plat blaasjeskruid worden aangetroffen. De alkalische kant van de

gradiënt bestaat tegenwoordig meestal uit voedselrijk open water en is vegetatieloos of wordt gedomineerd door eutrafente soorten zoals Puntkroos (*Lemna trisculca*) en Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) of Groot Nimfkruid (*Najas marina*). Waarschijnlijk was het open water vroeger minder eutroof, door lagere fosfaatconcentraties in het inlaatwater en immobilisatie van fosfaat door ijzerrijke kwel (Brouwer e.a., 2009; Van Kleef, 2010).

Gradiëntvennen herbergen een behoorlijk aantal kenmerkende diersoorten, welke tegenwoordig sterk bedreigd zijn. De helofytenvegetatie zijn het broedbiotoop van Wouwaap (*Ixobrychus minutus*), Roerdomp (*Botaurus stellaris*) en Snor (*Locustella luscinoides*). De gradiënten zijn bijzonder rijk aan libellen. Speerwaterjuffer (*Coenagrion hastulatum*), Gevlekte witsnuitlibel (*Leucorrhinia pectoralis*) en de Gevlekte glanslibel (*Somatochlora flavomaculata*) zijn slechts een selectie van de Rode-lijst soorten die worden aangetroffen. Daarnaast leven in deze vennen enkele kenmerkende kokerjuffers, te weten *Hagenella clathrata* en *Trichostegia minor* (Van Duinen e.a., 2011).

## B2.3 Standplaatscondities& sleutelprocessen

**Standplaatscondities**
Gradiëntvennen worden gekarakteriseerd door een overgang van gebufferd (vaak voedselrijk) oppervlaktewater of lekwater uit kanalen naar zuur tot zwak gebufferd grondwater. Aan de oevers heeft het water een zuurgraad van 3,5 tot 4,5 en een alkaliniteit van 0 tot 0,5 $meq \cdot l^{-1}$. Richting het open water loopt de pH op tot 6,5 – 8,5 en de buffercapaciteit tot 2,5 $meq \cdot l^{-1}$. Het open water is meestal rijk aan calcium (200 – 1100 $\mu mol \cdot l^{-1}$), chloride (850 – 1250 $\mu mol \cdot l^{-1}$) en sulfaat (300 – 400 $\mu mol \cdot l^{-1}$). Alle Nederlandse gradiëntvennen worden gevoed met oppervlaktewater dat afkomstig is uit beken of kanalen, die op hun beurt weer sterk beïnvloed worden door water uit agrarische gebieden. De huidige hoge concentraties chloride en sulfaat worden hierdoor veroorzaakt (Brouwer e.a., 2009; Van Kleef, 2011).
In de randzones van intacte Oost-Europese hoogvenen komen de juistgenoemde soorten ook voor. Tevens worden daar met betrekking tot pH, alkaliniteit en calcium vergelijkbare gradiënten in waterchemie aangetroffen. De concentraties chloride en sulfaat in de hoogveenrandzones zijn echter veel lager dan in de gradiëntvennen en dus kennelijk niet bepalend voor het voorkomen van deze levensgemeenschap.

Eén van de meest kenmerkende standplaatsen bevindt zich ongeveer in het midden van de gradiënt. Met het oppervlaktewater wordt gebufferd water aangevoerd, maar ook enige voedingsstoffen, met name fosfaat. Van de andere kant wordt echter grondwater aangevoerd dat zuurder is en rijk is aan ijzer en kooldioxide. Het ijzer bindt fosfaat, waardoor een zwak tot matig gebufferde waterlaag ontstaat, die rijk is aan kooldioxide. Ook bindt het ijzer toxische sulfiden in de bodem. Zowel de watervegetatie als de helofytenvegetatie kan zich hierdoor uitbundig ontwikkelen (Brouwer e.a., 2009). De rijke vegetatiestructuur is een optimaal biotoop voor veel ongewervelden (Van Kleef, 2011)

**Sleutelprocessen**
De soortenrijke gradiënten in waterchemie ontstaan op de contactzone van zuur grondwater enerzijds en gebufferd oppervlaktewater anderzijds. De waterhuishouding is dus het belangrijkste sturende proces. In de winter overheerst de invloed van grondwater door opbolling van grondwaterspiegels

in omliggende dekzanden. Als in het late voorjaar de aanvoer van grondwater afneemt, neemt de invloed van oppervlaktewater toe. De afwisseling van beide watertypen, voorkomt dat één van beide gaat overheersen. Daarnaast is op de gradiënt meestal een helofytenzone aanwezig, die zorgt voor een geleidelijk menging van beide typen water. De gradiënt ontwikkelt zich beter naarmate het grondwater rijker is aan ijzer en kooldioxide en het aangevoerde oppervlaktewater rijker aan calcium en armer aan sulfaat, fosfaat en nitraat (Brouwer e.a., 2009).
Het oppervlaktewater is afkomstig uit beken en kanalen en tegenwoordig zeer rijk aan sulfaat, chloride, nitraat en fosfaat (Roelofs & Cals, 1989). In de meeste gradiëntvennen heeft het ingelaten oppervlaktewater een lange aanvoerweg waarbij het verschillende waterpartijen passeert alvorens in het uiteindelijke ven terecht te komen. Gaande weg nemen de concentraties van deze stoffen af en uiteindelijke zijn ze in het oppervlaktewater aanzienlijk lager dan de waarden in het kanaal- of beekwater. Fosfaat wordt opgenomen door de vegetatie en gebonden aan ijzer in de waterbodem. Sulfaat wordt in de bodem omgezet in sulfide en veelal vastgelegd als ijzersulfide. Deze processen stoppen zodra de voorraad vrij ijzer uitgeput raakt. Er wordt dan juist fosfaat nageleverd aan de waterlaag. Het is dus mede van de ijzerrijkdom (grondwaterinvloed) in de waterbodem langs de aanvoerweg afhankelijk of de levensgemeenschap van gradiëntvennen duurzaam kan voorkomen bij de huidige kwaliteit van beekwater (Brouwer e.a., 2009).

Over de levensduur van de beschreven gradiënten is vrijwel niets bekend. Waarschijnlijk is deze beperkt, omdat de meest kenmerkende stadia een onderdeel van verlandingsreeksen vormen. Door verdere uitbreiding van helofyten ontstaan waarschijnlijk binnen enkele decennia gesloten en veel soortenarmere vegetaties en ook zal er een ontwikkeling richting wilgenstruweel, elzenbroek of berkenbroek worden ingezet. Aanvoer van voedingsstoffen kan dit proces versnellen. Op een locatie is de levensduur dus waarschijnlijk hooguit enkele decennia. Wel zullen grotere vennen geleidelijk aan verder dichtgroeien, en kunnen kenmerkende stadia geleidelijk mee verhuizen als de hydrologische omstandigheden dat toelaten.

**Varianten & relaties met landschap**

Geschikte standplaatscondities voor de gradiëntgemeenschap ontstaan ook in andere landschappen waar zuur water in contact komt met gebufferd water.

- In beekdalen kan periodieke overstroming zorgen voor de aanvoer van alkalisch water in zure tot zwakgebufferde wateren en leiden tot overgangen. Bijvoorbeeld het Rijsven op de Malpie in Noord-Brabant, dat vroeger werd gebruikt als waterreservoir voor de Venbergse watermolen.
- In veel laagvenen, dus buiten het nat zandlandschap, wordt periodiek gebiedsvreemd water ingelaten. Daar waar dit water in contact komt met zuurder water uit trilvenen of legakkers kunnen soorten uit deze gemeenschap voorkomen. Dit geldt ook voor slenkjes in trilvenen waar gebufferd grondwater in contact komt met atmoclien water.
- In grote voormalige basenrijke helling- of doorstroomvenen (zie H-5) kwamen veel van de voor gradiëntvennen kenmerkende gemeenschappen ook voor, bijvoorbeeld het voormalige Koningsven en het voormalige Leiffenderven. Ook in het herstelde Wissels veen lijken deze gemeenschappen zich weer te ontwikkelen.

Onder bepaalde conditie kunnen zich gradiënten ontwikkelen die weliswaar kleinere verschillen in zuurgraad kennen, maar waarbij een deel van de kenmerkende levensgemeenschap kan voorkomen.

- Sommige vennen worden gevoed door verschillende typen grondwater die uiteenlopen in buffercapaciteit. In deze vennen is geen aanvoer van oppervlaktewater nodig voor het ontstaan van een pH-gradiënt. Wel is de alkalische kant van de gradiënt minder extreem in deze systemen. Voorbeelden zijn "de Krochten" in Noord-Brabant en het Teeselinkven in Overijssel.

In hoogveenlandschap komt gebufferd grondwater in de randzones in contact met afstromend zuur veenwater. Op deze contactzone ontstaat een waterchemische gradiënt waarbij de zelfde gradiëntgemeenschap voorkomt. In Nederlandse hoogveenrestanten zijn deze situaties, met uitzondering van het Korenburgerveen, vrijwel verdwenen (Van Duinen e.a., 2011).

**Invloed mens (beheer, cultuur)**
Alhoewel deze soortenrijke gradiënten onder natuurlijke condities kunnen voorkomen, hebben op dit moment de best ontwikkelde gradiëntvennen een antropogene oorsprong. In deze vennen wordt of werd door mensen opzettelijk oppervlaktewater ingelaten. Dit gebeurt om uiteenlopende redenen, zoals voorzuivering ten behoeve van natuurherstel (Beuven), viskweek (Greveschutven) of industrieel proceswater (Ringselven).

**Voorbeeldgebieden**
Gradiëntvennen worden op dit moment nog aangetroffen in:

- Gelderland: Teeselinkven
- Noord-Brabant: Rijsven, Zuidelijk deel van het Beuven, Greveschutven. Vroeger: Voorste Goorven, Groot Malpieven, Cartierheide, Groot Meer Ossendrecht e.v.a.
- Limburg: Ringselven, Banen, Sarsven,

## B2.4 Bedreigingen en huidige status

De gemeenschap die tegenwoordig in gradiëntvennen wordt aangetroffen, hoort van nature thuis in de randen van intacte hoogvenen, de randen van beekdalen en op de overgangen naar Laag Nederland. Tegenwoordig is de natuurlijke verschijningsvorm van deze levensgemeenschap vrijwel volledig verdwenen uit Nederland. Ook in vennen kwam deze ecotoop vroeger veel vaker voor. Vooral in het katholieke Brabant, waar op vrijdag vis werd geserveerd, werd een eeuw geleden in een groot deel van de vennen water ingelaten ten behoeve van de viskweek. Bekende voorbeelden uit die tijd zijn de Oisterwijkse vennen en het Groot Malpieven. Ook elders werd deze vorm van landgebruik toegepast zoals bijvoorbeeld in de Bergvennen

Door verbetering van de infrastructuur kon vis over grotere afstanden worden aangevoerd en verdween de noodzaak tot het lokaal kweken van vissen. Daarmee verdween ook deze vorm van landgebruik. Door de toenemende concentraties van nutriënten in de beken, gingen de gradiëntvennen sneller verlanden en namen de onderhoudskosten toe. Halverwege de vorige eeuw raakte het inlaten van oppervlaktewater in ongebruik. Tegenwoordig is het aantal gradiëntvennen op één hand te tellen.

Nog steeds vormen de hoge nutriënten concentraties in het beekwater dat nodig is voor de buffering van gradiëntvennen een bedreiging voor het voortbestaan van de kenmerkende levensgemeenschap. Naast hoge concentraties nutriënten, bevat het water in de Nederlandse beken tegenwoordig ook veel bicarbonaat en sulfaat. Beide stoffen kunnen leiden tot afbraak van veenresten die in de vennen aanwezig zijn en zodoende bijdragen

aan de snelheid waarmee het systeem voedselrijker wordt. Door de aanvoer en mobilisatie van voedingsstoffen raken de gradiëntvennen geleidelijk aan vermest. Een veelvuldig toegepaste maatregel is het verwijderen van geaccumuleerde voedingsstoffen van de venbodem. Vaak worden daarbij tegelijkertijd ook helofyten verwijderd. In gradiëntvennen leidt dat tot het verdwijnen van de condities waaronder een geleidelijke overgang van de verschillende watertypen mogelijk is.

Zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het grondwater is op veel plaatsen sterk achteruitgegaan, zowel door verdroging als door nitraatuitspoeling uit bos en landbouw (Smolders e.a., 2010). De hoeveelheden ijzer die naar het systeem worden aangevoerd zijn daarom vaak sterk afgenomen. In de nog resterende systemen is de aanvoer van fosfaat en sulfaat vaak groter dan de ijzeraanvoer en bestaat een reëel risico groot dat de resterende gradiënten nog in kwaliteit achteruit zullen gaan.

Verdroging kan leiden tot het wegvallen van de aanvoer van grondwater, waardoor de oppervlaktewater component gaat overheersen en de waterchemische gradiënt verdwijnt. Anderzijds raken veel beken steeds verder ingesleten. Daardoor kan het voorkomen dat het waterpeil in de beken te laag wordt om via een natuurlijk verval inlaat van beekwater in de vennen te realiseren. Ook wordt het waterpeil in beken steeds verder gereguleerd, waardoor incidentele overstromingen niet meer kunnen leiden tot aanvulling van de buffercapaciteit.

## B2.5 Mogelijke herstelmaatregelen

Beheer of herstel van deze gradiënten heeft tot op heden nog maar weinig plaats gevonden. De hieronder beschreven maatregelen berusten op deze enkele voorbeelden en op kennis van de ecotoop.

- Het wegvallen van het oorspronkelijke menselijke gebruik is de reden dat veel gradiëntvennen zijn verdwenen. Herstellen van aanvoer van gebufferd water in deze systemen kan leiden tot een herstel. In enkele gevallen vindt deze aanvoer nog steeds plaats, maar is juist het voedselarmer maken van deze wateraanvoer de oplossing.
- De hoge gehalten aan voedingsstoffen in het inlaatwater kunnen voor een deel worden verlaagd door het water voor te zuiveren in een waterpartij met een ijzerrijke en liefst organische bodem.
- Waarschijnlijk zijn veel van deze vennen gebaat bij het vergroten van de grondwateraanvoer door bv. het dempen van ontwateringsgreppels en omvorming van naaldbossen. Ook maatregelen die de nitraatuitspoeling in het inzijggebied tegengaan, kunnen bijdragen aan een betere grondwaterkwaliteit
- Op den duur zullen de voor de gradiënt kenmerkende helofyten voor verlanding zorgen waarbij het aquatische milieu overgaat naar terrestrisch. Daardoor zullen de kenmerkende soorten op termijn verdwijnen. Deze ontwikkeling kan teruggezet worden door regelmatig op kleine schaal delen van de verlandingvegetetatie te verwijderen.
- Er is nog geen ervaring met het te voeren peilbeheer. Dit is van grote invloed op de ontwikkeling van de gradiënt; de mate van waterinlaat bepaalt de hoeveelheid buffering, zwavel en fosfaat die wordt aangevoerd, is van invloed op de mate van grondwatertoestroom en bepaalt de mate waarin fosfaat, sulfaat en ijzer gemobiliseerd worden.

**Beknopte evaluatie uitgevoerde herstelmaatregelen**
De ontwikkelingen in Beuven-zuid laten zien dat het mogelijk is om de gradiënten deels te herstellen. Wel is het zo dat de destijds genomen maatregelen niet specifiek bedoeld waren voor zulk herstel. In veel andere vennen zijn slechts delen van de genoemde gradiënt hersteld. Bijvoorbeeld de Bergvennen en de centrale Oisterwijkse vennen.

# Bijlage 3 Bevloeide heide

## B3.1 Inleiding

Bevloeide heide moet worden gezien in de context van het vroegere landgebruik, waarbij principes werden toegepast, die in beginsel gebruikt kunnen worden bij het moderne natuurbeheer om de diversiteit van de heiden te vergroten. Bevloeiing werd in het landgebruik tot begin vorige eeuw frequent toegepast (Baaijens e.a., 2011) (Figuur B3.1). Op de hogere zandgronden werden alle middelen aangegrepen in het licht van de beperkte beschikbaarheid aan mest. Naast de potstalcultuur werd ook bevloeiing aangewend om de productie van de madelanden en kwaliteit van het gewas te verbeteren. Bevloeiing zorgde zowel voor verlenging van het groeiseizoen als tot een betere buffering en hogere pH waardoor de mineralisatie van de organisch stof rijke gronden werden verhoogd. Daarnaast zorgde een verhoging van de pH tot bevordering van de groei van voedzamere soorten als grassen. Dit gold ook bij de bevloeiing van heide. Voor de intrede van de moderne meststoffen zo'n 100 jaar geleden was er sprake van maximale benutting van basenrijk grondwater (Burny, 1999, Baaijens e.a., 2001, 2003). Belangrijk oogmerk was niet alleen productieverhoging en kwaliteitsverbetering maar ook bevordering van stikstofbindende planten zoals niet alleen de vlinderbloemigen als Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*) en Rode klaver (*Trifolium pratense*), maar ook Zwarte els (*Alnus glutinosa*) en Wilde gagel (*Myrica gale*).

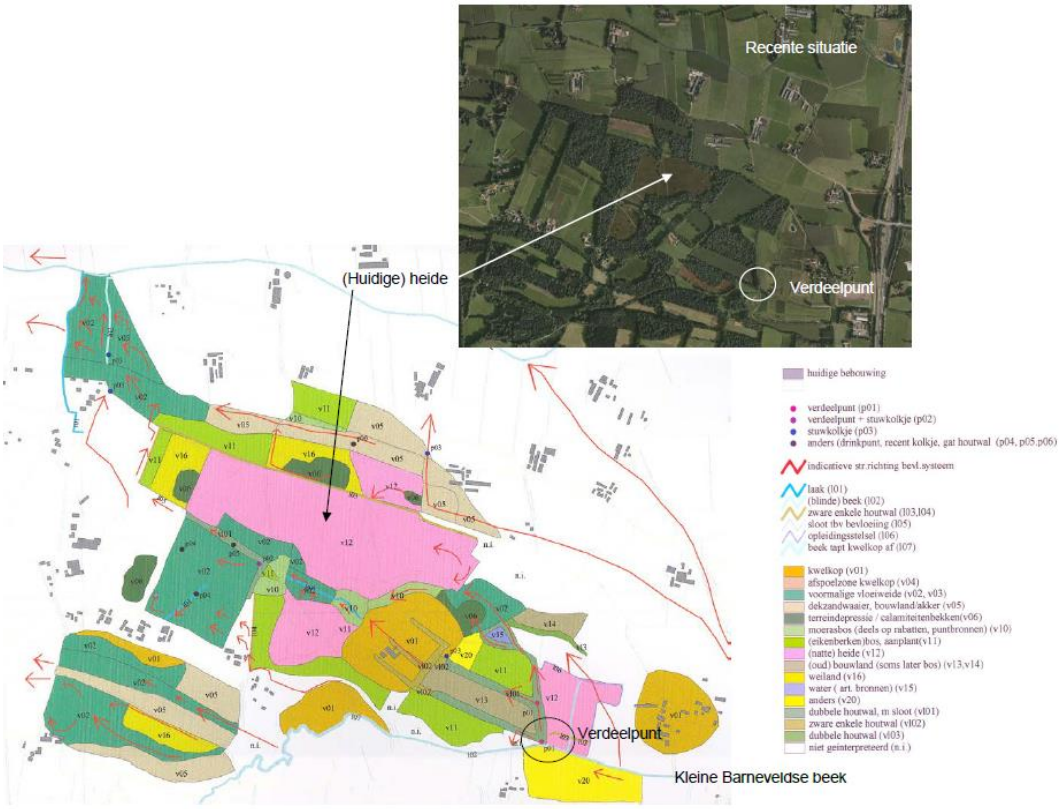
De vraag is welke invloed bevloeiing had op de vegetatiesamenstelling van de heide. Daar de frequentie van inundatie zowel in ruimte als tijd zeer sterk kon wisselen hebben we waarschijnlijk van doen gehad met een scala aan plantengemeenschappen. Relatief weinig geïnundeerde heiden kregen naar verwachting het karakter van heischraal grasland of daarmee verwante soortenrijke heidegemeenschappen, andere plaatsen die jaarlijks en met het meest basenrijke water werden bevloeid, zullen hebben bestaan uit vegetaties van zowel de Kleine zeggen-gemeenschappen als van bijzondere Grote zeggen-gemeenschappen. Bij grassen die bevorderd worden kan men denken aan Gewoon struisgras *(Agrostis capillaris),* Gewoon reukgras *(Anthoxanthum ododatum),* Rood zwenkgras *(Festuca rubra),* Gestreepte witbol *(Holcus lanatus)* maar ook aan Rietgras (*Phalaris arundicea*) en mogelijk zelfs Liesgras *(Glyceria maxima).*

**Aansluiting bij nadere indelingen**
Bevloeide heide heeft verbindingen met Gagelstruweel en Zompzegge-Berkenbroek (*Carici curtae-Betuletum pubescentis*) (zie H-7 en H-8). Deze kleine ecotopen kunnen voorkomen in bevloeide heiden. Zeker zal Gagelstruweel zijn bevorderd door bevloeiing van de heide.

## B3.2 Natuurwaarden

**Flora en vegetatie**
Door bevloeiing worden naar verwachting vooral vegetaties bevorderd van de (voedsel)rijkere vormen van de natte en droge heiden en daarnaast bij een hoge intensiteit ook de Kleine en Grote zeggengemeenschappen. Gemeenschappen van de natte heide die door heidebevloeiing kunnen ontstaan zijn zowel de subassociatie met Bosbes (*Ericetum tetralicis vaccinietosum*) als de subassociatie met Gevlekte orchis (*Ericetum tetralicis orchietosum*) en de Rompgemeenschap van Gagel (*RG Myrica gale*). Binnen de droge heide kan hierbij worden gedacht aan de subassociatie van Tandjesgras (*Genisto-Callunetum danthonietosum*). Biinnen het heischrale grasland is het waarschijnlijk dat de Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras (*Gentiano-pneumonathes-Nardetum*) en de Associatie van Maanvaren en Vleugeltjesbloem (*Botrychio-Polygaletum*) door bevloeiing werden bevorderd. Bij meer intensieve inundaties kunnen Kleine en Grote zeggen-gemeenschappen ontstaan, bijvoorbeeld de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge (*Carici curtae-Agrostietum caninae*), de Blaaszegge-associatie (*Caricetum vesicariae*) en mogelijk de Associatie van Stijve zegge (*Caricetum elatae*). Binnen deze gemeenschappen kunnen tal van zeldzame of Rode lijstsoorten voorkomen. Bevloeiing kan naar verwachting de soortenrijkdom en daarmee de natuurwaarde van heiden aanzienlijk vergroten.

**Fauna**
Met name diersoorten die kenmerkend zijn voor meer buffering en/of relatief voedselrijkere situaties binnen het zure, (zeer) voedselarme heidelandschap en overgangen daarbinnen hadden waarschijnlijk baat bij het bevloeien van heide. Aanvullend moet wel worden opgemerkt dat een aantal soorten slecht of helemaal niet tegen inundatie kan. De mate en frequentie van inundatie is dan ook van groot belang voor het aanwezig zijn van deze diersoorten. Het negatieve effect van inundatie zal waarschijnlijk worden beperkt door de aanwezigheid van (micro)reliëf in het terrein. Behoud daarvan is derhalve van belang. Het Gentiaanblauwtje (*Phenagris alcon*) komt voor op de goed ontwikkelde vochtige heide met Klokjesgentianen (*Gentiana pneumonanthe*). Maar ook Heideblauwtje (*Plebejus argus*) en Zilveren maan (*Boleria selene*) kunnen in dergelijke situaties voorkomen. Vanwege de hogere voedselrijkdom zijn de dichtheden aan insecten hoog waardoor er voldoende voedsel voor grotere insecteneters zoals de Grauwe klauwier (*Lanius collurio*).




*Figuur B3.1: Reconstructie van het historisch vloeiweidesysteem Klein Bieler (Gelders Landschap) in de Geldersche vallei nabij Barneveld. Hoewel binnen het voormalige systeem niet het accent lag op het bevloeiing van heide zijn bij de reconstructie aanwijzingen gevonden dat ook de heide bij grote aanvoer van beekwater kon worden bevloeid. Het water werd onder opgeleid vanuit de Kleine Barneveldse beek. In de zuidoosthoek (cirkel) was een belangrijk verdeelpunt waarbij het beekwater via een dubbel houtwallensysteem het gebied werd ingeleid (naar Baaijens e.a., 2003).*

## B3.3 Standplaatscondities en sleutelprocessen

**Trofie en hydro- of bodemchemische samenstelling**
Het belangrijkste abiotische kenmerk van bevloeide heiden is een mesotroof, meer gebufferde abiotiek als inslag in een zure, voedselarme omgeving. De hoeveelheid toegevoerde mineralen is daarbij afhankelijk van inundatiefrequentie, -duur en samenstelling van het inundatiewater. In het algemeen kan worden aangenomen dat de samenstelling van het bevloeiingwater in de verschillende regio's van ons land behoorlijk zal hebben gevarieerd zowel in ruimte als tijd, al is het ook waarschijnlijk dat de trofiegraad van het toegevoerde oppervlaktewater, en de alkaliniteit (en sulfaatgehalte) toendertijd veelal lager was dan nu (o.a. Bloemendaal & Roelofs, 1988).

**Grondwaterregime**
In het algemeen kan de hydrologie van het gebied worden beschreven als een inzijging- of stagnatiegebied waarin zonder bevloeiing regenwater de dominante factor is. Dit betekent dat het zowel droge tot vochtige heide als ook natte heide en mogelijk deels ook hoogveen geweest kan zijn. De

bevloeiing vergroot de dynamiek van het systeem, waarbij vooral in het winterseizoen is bevloeid. In situaties met hoogveen kan soms eerst zijn verveend en of werd een boekweitbrandcultuur toegepast, om bevloeiing mogelijk en rendabel te maken. In de zomerperiode konden de bevloeide heiden uitdrogen en daarmee ook eenvoudig worden gehooid en of beweid. Het kenmerkende element in het grondwaterregime is de periodieke en soms ook onregelmatige toevoer van rijker oppervlaktewater van elders.

**Sleutelfactoren**
De relevante factoren zijn beschikbaarheid van (basenrijk en slibrijk) water van elders dat wordt aangevoerd vanuit (lokale) bronsystemen. Bij heidebevloeiingen komt altijd water van elders, dus van buiten de heide. Dat kan water zijn uit belendende beken dat over het maaiveld toestroomt. Soms is van enige geleiding sprake, men spreekt dan wel van heidebeekjes. Dit type beekjes dat diende om water aan te voeren en te verdelen moet goed worden onderscheiden van heidebeekjes die dienden om water af te voeren, bijvoorbeeld ten behoeve van vervening of boekweitbrandcultuur. De basenrijkdom van het vloeiwater kan sterk variëren, van iets aangerijkt regenwater tot buitengewoon kalkrijk.

**Varianten & relaties met landschap**
In het voorgaande is reeds enige variatie aan de orde gekomen die samenhangt met inundatieduur en watersamenstelling. Er is ook nog een variatie aan te brengen in de functie binnen het bevloeiingssysteem, waar de vloeiweide onderdeel van is. Zo kunnen naast vloeiweiden, spaarbekkens worden onderscheiden die soms nog in het huidige landschap zijn terug te vinden. Anderzijds werden de heidebevloeiingen gecombineerd met een geleiding van beekwater van de ene beekdal naar het andere, tevens met het oog op bevloeiing aldaar. De heidebevloeiingen komen in het historisch landschap vaak in combinatie voor met andere bevloeiingsstelsel in beekdalen waarbij ook van spaarbekkens en rol spelen. De spaarbekkens hadden naast vloeiweiden ook de functie retentie van beekwater met het oog om ook in perioden met minder aanvoer in het vloeiseizoen over voldoende water te beschikken. Er zijn aanwijzingen dat de bevloeiingen in voorjaar en zomer soms tot drie maal werden herhaald.

**Invloed mens (beheer, cultuur)**
Heidebevloeiing is een fenomeen waarin de mens een belangrijke sturende factor is: zonder aanleg van verschillende "waterwerken" (Figuur B3.1) zou deze kleine ecotoop helemaal niet bestaan hebben.

**Voorbeeldgebieden**
Hoewel in het moderne landschap heidebevloeiing een grote zeldzaamheid is, kwam zij in het historische landschap net als in de ons omringende landen vaak in de Pleistocene delen van ons land voor. De volgende gebieden zijn voorbeelden van historische heidebevloeiing:

- Groningen: Westerwolde;
- Drenthe: Tynaarloo, Beilerstroom, Mantingerveld, Wapse;
- Twente: Buurserveld, Haaksbergerveld, Usselerveld, de Wildernis/Lonnekermeer;
- Gelderland: Winterswijk, Barneveld;
- Noord-Brabant: Strabrechtse heide, Ekkersrijt.

Moderne voorbeelden in het kader natuurbeheer zijn:

- Twente: Lankheet;
- Noord-Brabant: De Plateaux

Beide gebieden voldoen niet volledig aan de kenmerken van de historische heidebevloeiing omdat het water niet gezuiverd dan wel voorgezuiverde beekwater is of water uit grote rivieren, anderzijds de vegetatie niet altijd uit heide bestaat, maar uit een vegetatie die pas na de ontginning tot ontwikkeling is gekomen.

## B3.4 Bedreigingen

Bij mogelijkheden voor ontwikkeling of herstel van bevloeide heide geldt een aantal belangrijke randvoorwaarden. Een van de belangrijkste problemen vormt de kwaliteit van het bevloeiingswater. In vergelijking met de oorspronkelijke systemen is de waterkwaliteit door vermesting en vervuiling veelal niet van voldoende kwaliteit. Er moet met schoon grondwaterachtig water worden gewerkt. In veel situaties zal het daarom lastig zijn deze systemen te herstellen. Hier draagt ook de huidige vormgeving van de beken aan bij vanwege de debieten en de verdeling van de hoeveelheid water over het jaar. De hydrologische situatie lijkt vaak nauwelijks meer op de vroegere situatie waarin heidebevloeiing plaatsvond. Het systeem is daarvoor in de regel te ernstig aangetast.

In kansarme situaties, waarbij niet het accent ligt op heidebevloeiing, kan de bevloeiing worden aangewend als middel bij verdrogingbestrijding van het landschapsysteem waarvan naast heide ook andere ecotopen kunnen profiteren. Op De Plateaux in Noord-Brabant is het bevloeide heidesysteem hersteld waarbij in feite groeiomstandigheden voor heide atypische soorten als Herfsttijloos zijn bevorderd, mede omdat met hard, sulfaatrijk Maaswater wordt bevloeid. In Het Lankheet is bevloeiing van de heide hersteld mede om de algehele verdroging in het gebied te bestrijden. Bevloeiingswater stroomt eerst door rietfilters en vervolgens wordt het gefiltreerde water geleid naar voormalig heide, vroeger groenland en verdroogd elzenbroekbos.

## B3.5 Herstelmaatregelen

Belangrijkste potenties zullen liggen in grotere aaneengesloten natuurgebieden die in het bezit zijn Natuurbeschermingsorganisaties. Voorts is vanuit cultuurhistorisch motief van belang resterende structuren van voormalige bevloeiingssystemen als watergeleidende houtwallen en sloten en spaarbekkens bij inrichtingsmaatregelen te behouden. Voor details over mogelijke locaties om bevloeide heide te herstellen e.d., zie Baaijens e.a. (2011).

# Bijlage 4 Ervaringen van uitgevoerde herstelmaatregelen

De beheerders van Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Provinciale Landschappen en Gemeenten in de provincies Gelderland, Noord-Brabant en Overijssel zijn door middel van een enquête gevraagd inzicht te geven in het gevoerde beheer en de genomen herstelmaatregelen in hun brongebieden (o.a. Van Rosmalen e.a. 2012). Deze zijn in het overzicht van uit te voeren herstelmaatregelen samen gebracht. Daarnaast zijn hier de ervaringen uit het Project Terug naar de Bron aan toegevoegd (Eysink e.a. 2012).

*Overzicht van terreinen:*

- Bronnen Montferland: Het Bergherbos (met De Ban, Het Peeske en De Sprung).
- Bronnen Stuwwal van Nijmegen: Filosofendal en St. Jansberg.
- Bronnen Sallandse Heuvelrug: Lemelerberg.
- Bronnen Stuwwal Ootmarsum: Dal van Hazelbekke, Dal van de Mosbeek, Dal van de Polbeek, Dal van de Springendalse beek, Molenbeekdal en Vasserheide.
- Bronnen Stuwwal Oldenzaal: Dal van de Stakenbeek en Tankenberg.
- Bronnen Stuwwal Veluwe: Angerenstein, Beekhuizen, Dal van de Renkumse beek, Van Maerlandpark, Middachten, Sonsbeek en Zijpendaal.

*Overzicht van deelnemers:*
B. van der Aa (Natuurmonumenten), E. Dijk (Landschap Overijssel), R. Ketelaar (Natuurmonumenten), B. Lichtenberg (Gemeente Arnhem), R. van Rosmalen (DLG), L. van Tweel-Groot (Landschap Overijssel) en H. Woesthuis (Staatsbosbeheer). Verder zijn in de enquête de ervaringen verwerkt van andere projecten in de terreinen van het landgoed Middachten, Geldersch Landschap (o.a. Klein Bylaer, Wisselse Veen en Vossenbroek), Kroondomein (de Motketel), Staatsbosbeheer (diverse terreinen in Noordoost-Twente), Natuurmonumenten Veluwe (Oude Groevenbeek) en Natuurmonumenten Overijssel (diverse terreinen in Noordoost-Twente).

*- Overzicht van ervaringen met bronherstel en –beheer.*

| **Beheermaatregelen** | | |
|---|---|---|
| Vraag | Vindt in het brongebied beheer plaats? | In nagenoeg alle bronnen vindt op een of andere wijze beheer plaats. Dus ook in de beschaduwde bosbronnen |
| Vraag | Om welk beheer gaat het: Maaibeheer/Begrazingsbeheer/Beide/Geen | Maaien, begrazen en bosbeheer. Bij het bosbeheer wordt nog speciaal aangegeven dat het om het zagen van Esdoorn en Beuk gaat. |
| Vraag | Met welk veeras wordt begraasd? (koe/paard/schaap) | Koeien: van Dikbil tot Belgische blauwe en MRIJ; Schotse hooglanders (in winterperiode); Schapen (terreinen die ook hoge, droge delen heeft) |
| | welke dichtheid wordt gehanteerd? | 1-3 GVE/ha, afhankelijk van voedselaanbod; voor schapen niet bekend. |
| | aantal keren begraasd binnen 1 jaar? | Van 01.05 – 01.11 of van 15.06 – 01.11; winterperiode |

| | | |
|---|---|---|
| | hoeveel graasdagen/ha/jaar? | Variabel (afhankelijk van voedselaanbod) |
| Vraag | met welke apparatuur wordt gemaaid? (Tractor/Wetlandtrack/Eenasser/Zeis) | Eenasser; Eenassige messenbalk; Moerasmaaier (op rupsbanden); Tractor/Eenasser/Motorzeis: hoe natter het terrein wordt, des te lichter het materiaal. |
| | wanneer wordt gemaaid? | begin augustus; vanaf 15.06 en/of in september |
| | hoe vaak wordt gemaaid? | 1x per jaar (in enkele gevallen 2x per jaar) |
| **Herstelmaatregelen** | | |
| Vraag | Welke herstelmaatregelen zijn genomen? | Plaggen, verwijderen drainage, dempen/verondiepen sloten en geulen, geen bemesting op aangrenzende percelen die in eigendom zijn; schrapen en verschralingsbeheer. |
| | in het brongebied? | Ringen en kappen: terugdringing exoten en Beuk en deels Zomereik om Zwarte els te laten toenemen. Verder wordt braam en Rhododendron verwijderd (in het bronbos) en is een maaibeheer ingesteld (in een moerasweide). Daarnaast zijn humuspakketten verwijderd; Afschrapen van grasland om bronbos te ontwikkelen. |
| | in de bronbeek? | Ringen en kappen van bomen. Daarnaast is het beekpeil opgezet; Verondiepen van de beekbodem door het inbrengen van dood hout, door zand en/of klei in te brengen en deze vast te leggen met schotjes of balkjes. Daarbij heeft met name in de Sprung ook substraattransplantatie plaats gevonden: kiezels werden opgenomen uit de bronbeek en teruggebracht in de verondiepte delen. |
| | in het inzijggebied? | Ringen en kappen van bomen; Inzetten verschralingsbeheer; Daarnaast zijn sommige delen geplagd, maar is er ook voor gekozen delen juist niet te kappen in verband met opslagcapaciteit van de bodem; Dempen en/of verondiepen van greppels, sloten en beken. |
| Vraag | Wat is de (globale) indruk van het effect van de herstelmaatregelen? | |
| | op het microreliëf in de bronbeek? | Meer variatie, dood hout, humeus materiaal, zandplaatjes |
| | op de flora en vegetatie? | Meer groeiplaatsen Paarbladig goudveil; Bronsoorten nemen in aantal en oppervlakte toe, ook buiten de brongebieden |
| | op de macrofauna? | De laatste inventarisatie gaf aan dat de Filosofenbeek voor wat betreft macrofauna te vergelijken is met de Hierdensebeek en beken uit Zuid-Limburg |
| | Toelichting: | Ontwikkeling van vegetatie laat zien dat het in veel projecten de goede kant op gaat. |
| **Monitoring** | | |
| Vraag | Hoe zijn de effecten van herstelbeheer vastgelegd? (niet /indruk/inventarisaties/monitoring) | Door een Inventarisatie flora van ca. 12 jaar terug te vergelijken met de inventarisatiegegevens uit 2012, macrofauna en waterkwaliteit (eveneens 2011; KNNV) |
| Vraag | Is de situatie vooraf ook vastgelegd? | Ja (voor eventuele rapportages zie onder) |
| Vraag | Is er een rapportage over de effecten beschikbaar? | Ja |
| | zo ja, wat is de titel van deze rapportage? | Van Rosmalen e.a., 2012; Eysink e.a., 2012. Horsthuis, 2012. |
| **Beoordeling Herstelmaatregelen** | | |
| Vraag | Zijn met nemen van Herstelmaatregel doelstellingen bereikt? (ja/nee/deels) | Ja; ja toename van Goudveil en ontwikkeling bloemrijk grasland |
| Vraag | Belangrijke problemen: | Passeerbaarheid ter hoogte van de Rijksstraatweg niet opgelost; Nat/veel opslag/evt. verdroging oude greppels/ schade rijsporen in natste deel; bij het inbrengen van takhout in een bronbeek stroomde de beek na een half jaar om de takkenbossen heen. In een aantal projecten neemt het aandeel houtige gewassen (te) grote proporties aan. |
| Vraag | Belangrijke positieve aspecten bij uitvoering: | Passeerbaarheid voor macrofauna van Beek tot Berg is vergroot. Soortendiversiteit toegenomen. |