

Preadvies voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen op de pleistocene zandgronden

R.F. van der Burg
E. Brouwer
R.J. Bijlsma
A.B. van den Burg
G.A. van Duinen
P.W.F.M. Hommel
A.J.M. Jansen
E.C.H.E.T. Lucassen
R.W. de Waal



© 2014 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport nr. 2014/OBN192-NZ
Driebergen, 2014

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Economische Zaken.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de VBNE onder vermelding van code 2014/OBN192-NZ en het aantal exemplaren.

Foto voorkant Fotograaf: Jan den Ouden

Oplage 100 exemplaren

Samenstelling R.F. van der Burg, Bosgroep Zuid Nederland
E. Brouwer, B-WARE
R.J. Bijlsma, WUR
A.B. van den Burg, BSP
G.A. van Duinen, Stichting Bargerveen
P.W.F.M. Hommel, WUR
A.J.M. Jansen, Unie van Bosgroepen
E.C.H.E.T. Lucassen, B-WARE
R.W. de Waal, WUR

Druk KNNV Uitgeverij/ KNNV Publishing

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres : Princenhof Park 9, Driebergen
 3972 NG Driebergen
Telefoon : 0343-745250
E-mail : info@vbne.nl

Voorwoord

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

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en habitattypen in Nederland beschermd. In dit rapport staan de vochtige bossen centraal, die binnen Natura 2000 worden beschermd binnen habitattypen als beekbegeleidende bossen (H91E0_C) en eiken-haagbeukenbossen (H9160).

Van de Nederlandse ecologische hoofdstructuur bestaat het overgrote deel uit bossen. Ze behoren met de natte graslanden tot de landecosystemen met de hoogste biodiversiteit. Hoewel de biodiversiteit van bossen vanwege verdroging, verzuring en/of vermesting onder zware druk staat, zijn er sinds het begin van het EGM/OBN in 1990 amper praktijkrijpe herstel- c.q. effectgerichte maatregelen ontwikkeld. De vochtige bossen, waartoe onze soorten rijkste en meest bedreigde bosgemeenschappen behoren (Eiken-Haagbeukenbossen buiten Zuid-Limburg (H9160B) en Vogelkers-Essenbossen (H91E0_C), hebben tot op heden binnen de OBN nog weinig aandacht.

Grote oppervlakten (potentieel) vochtige bossen zijn jong en aangelegd op sterk ontwaterde voormalige natte heiden. Hoewel deze bossen nu ouder worden en meer op natuurwaarden gericht beheer kennen, is er geen of nauwelijks een ontwikkeling waarneembaar waarbij voor vochtige bossen kenmerkende soorten terugkeren. Ook in deze jonge bossen speelt verdroging mogelijk een belangrijke rol.

De vraag is nu in hoeverre, door herstel van de waterhuishouding, de natuurwaarden in vochtige bossen weer kunnen worden hersteld (in de oude bossen) of in hoeverre nieuwe waarden kunnen worden ontwikkeld (in de jonge bossen). Dit preadvies geeft inzicht in de sleutelprocessen en factoren die hebben geleid tot een achteruitgang van natuurwaarden van vochtige bossen. Vervolgens worden de mogelijkheden in kaart gebracht om via herstelbeheer, regulier beheer en omvormingsbeheer te komen tot herstel van natuurwaarden.

Ik wens u veel leesplezier.

Drs. T.J. Wams

Directeur Natuurbeheer Natuurmonumenten en voorzitter van de OBN Adviescommissie

Inhoudsopgave

Summary

Samenvatting

1. Inleiding	17
1.1 Probleemstelling en doel preadvies.....	17
1.2 Afbakening.....	17
1.3 Opzet en aanpak.....	18
Deel 1: Verkenning	18
Deel 2: Evaluatie.....	18
Deel 3: Maatregelen en kennislacunes.....	19
DEEL 1: VERKENNING	20
2. Vochtige bossen: typering	21
2.1 Afbakening en indeling.....	21
2.2 Landschap	23
2.2.1 Spreiding over landschapstypen	23
2.2.2 Aanleg en leeftijd	23
2.3 Groeiplaats	26
2.3.1 Fysiotopen	28
2.3.2 Bodemtypen	30
2.3.3 Humusvormen	31
2.4 Vegetatie.....	33
2.4.1 Bosgemeenschappen.....	33
2.4.2 Bosstructuur.....	36
2.5 Soortdiversiteit.....	43
2.5.1 Vaatplanten.....	43
2.5.2 Mossen.....	43
2.5.3 Paddenstoelen	45
2.5.4 Fauna.....	48_Toc400530747
3. Sturende processen op landschapsschaal	54
3.1 Inleiding.....	54
3.2 Landschappelijke positie van vochtige bossen	55
3.2.1 Door regenwater of lokaal grondwater gevoede laagten in pleistocene zandgebieden (dekzandbos)	55
3.2.2 Stagnerende leem- en kleigronden (stagnatiebos).....	58
3.2.3 Vochtige bossen in het beekdallandschap (beekdalbos)	63
3.3 Positie en sturende processen	66

3.3.1	Zure laagten zonder schijnspiegel.....	66
3.3.2	Schijnspiegellaagten (zuur en zwak zuur)	67
3.3.3	(Zeer) Zwak gebufferde laagten	73
3.3.4	Basenrijke afvoerloze laagten	76
3.3.5	Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden (stuwwallen, terras- en dalranden).....	78
3.3.6	Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden met basenarm hellingveen	78
3.3.7	Beekdalen (boven- en middenloop).....	78
4.	Processen op standplaatsniveau	82
4.1	Inleiding.....	82
4.2	Grondwaterregime	82
4.3	Effecten grondwaterstand op bodemfauna en decompositie	84
4.3.1	Welke literatuur is voorhanden?	84
4.3.2	Effecten op faunadiversiteit	84
4.3.3	Effecten op het functioneren van bodemfauna in relatie tot decompositie	86
4.3.4	Conclusie, aanbeveling en kennislacune.....	87
4.4	Chemische samenstelling van het grondwater	87
4.5	Buffering	88
4.6	Nutriënten	89
4.7	Humusprofielontwikkeling.....	91
4.8	Successie.....	96
5.	Referenties en voorbeeldgebieden	98
5.1	Criteria.....	98
5.2	Stagnatiebossen op leem en oude klei	98
5.3	Beekdalbossen.....	99
5.4	Dekzandbossen.....	99
6.	Ecosysteemdiensten vochtige bossen	100
6.1	Inleiding.....	100
6.2	Houtproductie.....	100
6.3	Waterregulerende functie van vochtige bossen.....	101
6.4	CO ₂ vastlegging in bossen	101
7.	Knelpunten voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen	102
7.1	Inleiding.....	102
7.2	Verdroging.....	103
7.2.1	Oorzaken en effecten van verdroging.....	103
7.2.2	Verdroging leidt tot verzuring	104
7.2.3	Atmosferische depositie versterkt verzuring	105
7.2.4	Stikstofdepositie werkt vermestend	109
7.2.5	Overige manieren van vermesting	110

7.3	Versnippering	110
7.4	Inrichting, herstel en beheer	111
7.4.1	Bodembewerking, rabattering en egalisatie	111
7.4.2	Bosstructuur en samenstelling van de boomlaag	112
DEEL 2: EVALUATIE VERNATTINGSMAATREGELEN IN VOCHTIGE BOSSEN		114
8.	Vernattingsmaatregelen in vochtige bossen	115
8.1	Inleiding	115
8.1.1	Te onderzoeken effecten van vernatting	115
8.2	Werkwijze	116
8.2.1	Selectie van terreinen	116
8.2.2	Bepalen van veranderingen in de grondwaterstanden	118
8.2.3	Humus en bodem	118
8.2.4	Bodemchemie	118
8.2.5	Bodemfauna	119
8.2.6	Vegetatie en flora	120
8.2.7	Mycoflora	120
8.3	Beknopte beschrijving van de onderzoekslocaties	121
8.4	Karakterisering van de (clusters van) onderzoekslocaties	127
8.4.1	Typering van de onderzochte bossen	127
8.4.2	Typering van de onderzoekplots	130
8.5	Maatregelen en hun effecten	131
8.5.1	Uitgevoerde maatregelen en effecten op de grondwaterstanden	131
8.5.2	Effecten op standplaatscondities (bodem, humus) en vegetatie	134
8.5.3	Bodemfauna	139
8.5.4	Effecten op (bodem)fauna	140
8.5.5	Analyse van fauna uit strooiselmonsters vochtige bossen	141
8.5.6	Effecten op de Mycoflora	142
8.6	Vochtige bossen, evaluatie vernatting	149
8.6.1	Vochttoestand en basenrijkdom sterk gecorreleerd met soortensamenstelling	149
8.6.2	Vernatting leidt tot buffering en beïnvloedt nutriëntenbeschikbaarheid	150
DEEL 3: MAATREGELEN EN KENNISLACUNES		152
9.	Synthese	153
9.1	Samenvatting huidig functioneren, potenties en knelpunten	153
9.1.1	Definitie en typering vochtige bossen	153
9.1.2	Potenties	153
9.1.3	Knelpunten	154
9.2	Sleutelfactoren	156
9.3	Wegen naar herstel	159

9.3.1	No-regret maatregelen	160
9.3.2	Additionele maatregelen (geen "no-regret")	161
9.3.3	Overige maatregelen.....	161
9.3.4	Aandachtspunten bij het nemen van herstelmaatregelen	162
9.4	Aandachtspunten en aanbevelingen voor maatregelen.....	163
9.4.1	Hydrologische maatregelen	163
9.4.2	Herstel oorspronkelijk reliëf.....	165
9.4.3	Beheermaatregelen.....	165
9.4.4	Omvorming van de boomsoortensamenstelling	166
10.	Kennisvragen	167
10.1	Maatregelen die vervolgonderzoek vragen	167
10.1.1	Verwijdering van strooisel/humus.....	167
10.1.2	Bekalking	168
10.1.3	(Her)introductie in dekzandbossen	168
10.1.4	Herstel incidentele overstroming	169
10.2	Aanbevelingen voor monitoring	169
10.3	Kennisvragen	170
10.3.1	Thema 1. Herstel en beheer van natuurgebieden	170
10.3.2	Thema 2. Ontwikkelen van PAS herstelstrategieën	171
10.3.3	Thema 3. Soortgericht beheer	171
10.3.4	Thema 4. Natuurnetwerk Nederland: duurzaam benutten en beleven.	171
11.	Literatuur	174
	Bijlage 1. Selectiecriteria te bezoeken 10 locaties	189
	Bijlage 2. Beschrijvingen van bodemtype, humusvormen en vegetatie	192
	Het Lankheet	192
	Proefvlak LH-1	192
	Dubbroek	196
	Koelbroek.....	200
	Ulvenhoutse bos.....	204
	Urkhovense Zeggen	209
	Groote Heide	220
	Leenderbos-Laagveld	232
	Weerterbos.....	237
	Witteveen.....	242
	Bijlage 3. Peilbuisgegevens	247
	Bijlage 4. Meetgegevens bodemchemie	253
	Bijlage 5. Correlaties tussen bodemchemische factoren	254
	Bijlage 6. Waargenomen paddenstoelen in de bestudeerde plots	260

Summary

This preliminary report describes the key processes and factors involved in the development and functioning of the major types of moist forests. It also provides possible ways to restore species diversity and ecosystem functioning in degraded forests. A distinction is made between restoration management, regular management and transformation management.

Moist forests are characterised by a waterlogged soil in winter and deeply withdrawing groundwater levels in summer. In this aspect they differ from both wet forests, where the groundwater levels also stay high in summer, and from dry forests, which are permanently well drained. In this report the focus is on three types of moist forests occurring in the Pleistocene parts of the Netherlands:

1. Forests in small river valleys, fed by base-rich seepage water;
2. Forests on base-rich loam and clay soils with stagnant groundwater: stagnation forests;
3. Forests on depressions on cover sands, fed by rainwater or local groundwater.

The preliminary report consists of three parts.

Part 1: Exploration

Chapter 2 describes the types of moist forests with respect to the landscape, history, site conditions, vegetation and diversity of characteristic vascular plant species.

The forests in brook valleys include brook accompanying forests (*Alno-Padion*) and desiccated alder carr woodlands (*Alnion*). Stagnation forests include oak forests (*Quercion*) including transformed stands of *Dicrano-Pinion* and the moist types of oak-, birch- and beech-oak forests (*Betulion*). A significant part of the stagnation forests and to a lesser extent forests in brook valleys consists of more or less ancient woodland; forests on cover sands were predominantly planted after heath reclamation in the 19th and early 20th century.

Sites of moist forests are characterized by mean highest and lowest ground water table (GHG and GLG), soil types and humus forms.

The vegetation of moist forests is described as plant species communities according to the vegetation classification of the Netherlands and linked to Natura 2000 habitat types. The stagnation forests have the highest average height and are most rich in structure, followed by the brook valley forests, especially the *Alno-Padion* component of these. The species composition of tree, bush, herb and moss layers is described by the more frequently recorded species and the RL (red list) species. For vascular plants there are 9 RL-species found in recordings, of which 6 are typical for wet forests and 3 are typical for stagnation forests. There are no RL-species of mosses typical for moist forests. RL-species of mushrooms are characterised as species of base rich and base poor forests, including avenue planting and excluding swamp forests. Stagnation forests and forests in brook valleys seem to be very important for a group of grassland species, especially at loamy places where litter stays. Species diversity of the fauna is being discussed on the basis of typical species of the relevant Natura 2000-habitat types of forests. Moist forests provide actually or potentially a habitat for a high biodiversity.

Chapter 3 describes the steering processes on landscape scale, based on characteristic situations.

Chapter 4 treats the key processes on site level: groundwater regime, soil fauna and decomposition, chemical composition of the groundwater, buffering mechanism, nutrient availability, humus profile development and vegetation succession.

The combination of a GLG >70 cm and a GHG < 100 cm characterizes the moist forests based on groundwater regime.

A mosaic of higher and lower parts is favourable for the soil fauna. The higher parts function as refuges for migrating soil fauna and recolonisation can occur rapidly from the refuges, if they are spread in the forests. With the execution of rewetting measures in moist forests it is important to maintain this mosaic including permanent dryer parts.

The chemical composition of the groundwater in forests on cover sands is determined by infiltrating rainwater and local groundwater. This water is weakly acid (pH 4-5). The iron and calcium content of cover sands is low, which means that there is little capacity to immobilize phosphate delivered by the decomposition of litter. With the development of a humic layer, the phosphate limitation quickly disappears and nitrogen mostly becomes the limiting growth element.

The composition of groundwater above the water resistant loam layer is important in stagnation forests. In contact with the loam layer, the acids in the infiltrating groundwater stimulate the dissolution of bicarbonate, calcium and magnesium. The loam layers in stagnation forests are more phosphate rich than cover sand. The iron and calcium content can be high, in which case the phosphate availability is strongly reduced. Due to the higher pH compared to the sand forests, demineralization and nitrification rates are higher, resulting in higher nitrate levels. Because of variations in the thickness of the humic layer and the sand layer covering the loam and in groundwater level and composition, there is presumably a large variation in nitrogen and phosphate availability. The groundwater underneath humid forests in and around brook valleys has travelled a longer way, where it has passed loam and peat layers or river deposits. This makes the water less acidic (pH 5 – 7) and more rich in carbon dioxide, iron, calcium and phosphate. The nutrient availability in humid forests in brook valleys probably resembles that of stagnation forests. Species composition and wood structure are constantly changing. In this respect four processes are distinguished:

1. Change of the vegetation due to degradation of the site (desiccation, eutrophication, et cetera);
2. Change of the vegetation following the change in exploitation of forests;
3. Natural development (succession in strict sense);
4. Cyclic change (forest dynamic) in the wood and bush layer by deterioration and rejuvenation, connected to old, (relatively) natural forests in which a dynamic mosaic of age groups develops.

These processes are of different interest for forests on cover sands, stagnation forests and forests in brook valleys. The formation of "rabatten" (artificial woodland drainage system) followed by (oak) coppice culture has originally been an important change in forest exploitation which caused a change from wet to moist forests of *Alno-Padion* (forests in brook valleys), as well as *Carpinion* (stagnation forests) and *Quercion*-forests.

Chapter 5 gives references for the best developed moist forests in the Netherlands and surrounding countries and also gives examples of sites that function less well, but still have high natural values.

Chapter 6 focusses on the ecosystem services of moist forests. Wood production is one of the most important ecosystem services of forests. Moist forests belong to the most productive forest types, but the timber cultivation possibilities are limited by the high ground water levels. Besides that, moist forests can retain water and thus have a water regulating function. Finally, moist forests play a role in CO₂-sequestration.

Chapter 7 describes the threats to moist forests. Several threats are strongly interconnected: desiccation often leads to acidification and eutrophication; atmospheric nitrogen deposition causes acidification and eutrophication. The relevant literature on these interactions is summarised for forest in general and moist forests in particular.

The original micro relief with natural fall-back possibilities for species of wet, moist and dry sites are replaced by uniform dry soils due to drainage by ditches and "rabatten". Forest types that developed following these technical interventions qualifies as Natura 2000-habitat types of dry forests (old oak forests, beach-oak forests) and may prevent the recovery of original wet vegetation types. The bottleneck of ecological isolation concerns not so much physical fragmentation, but mostly the intensification and biological homogenisation of the surrounding landscape by intensive cultivation. Because of this the exchange of plant fragments, spores, seeds, tubers and fauna between forests by long-lasting inundations has stopped.

Part 2: Evaluation of rewetting measures in moist forests

For the selection of areas where rewetting was evaluated, we used the following criteria:

- Were rewetting measures executed?
- Did these measures lead to rewetting, which is visible in higher ground water levels, an increase in species of wet and moist conditions and/or a reduced vitality of the tree layer?
- Is there a proportional distribution between the number of locations of brook valleys and on wet sands?

Eventually these study areas have been selected: Dubbroek, Koelbroek, Ulvenhoutse bos, Urkhovense Zeggen, Lankheet, Grootte Heide, Leenderbos, Weerterbos en Witte Veen. On all sites, we described ground water regime, humus form and soil type, soil chemistry, vegetation and flora, mycoflora and soil fauna.

The effectiveness of the hydrological measures depends on the soil structure and position of the landscape. The measures are more effective in flat areas than in sloping areas. A possible alternative for the stepwise increase of groundwater levels is to start filling drainage ditches in the dry parts. Both approaches can often be used simultaneously.

An improvement of litter conversion (indicated by the occurrence of mormoders or moders) takes place in acidic soils by improved moisture content and base saturation. Plant species of moist acidic forests respond to these improvements quite quickly. Plant species that are less acid tolerant respond relatively slowly, because the source populations of these species are lacking. In forests on base rich locations the vegetation seems to have a positive response: forests where the ground water comes back into the root zone are characterised by good developed alliance of Ash and Wild Cherry and Alder carr forests. In desiccated forest sites the undercover may be dominated by Black berry.

The evaluation also shows that:

- pH and base saturation is higher on rewetted acid sands compared to reference sites. On base-rich loam soils, an acid litter layer is present only on not rewetted sites;
- There is an increase of soil macro-fauna abundance;
- There is an increase of litter decomposition as indicated by a shift from mor-humus to moder-humus;
- More species of fungi from eutrophic soils are present on sites where litter decomposition is accelerated as a consequence of tree mortality or contact of litter with calcareous surface water.

Part 3: Measures and knowledge gaps

Chapter 9 describes the key factors in moist forests and the ways to recovery of moist cover sand forests, stagnation forests and forests in brook valleys.

Quite good developed examples of stagnation forests on loam and old rock in respect of species composition are still present in the regions of Twente, along the river Oude IJssel and the Centrale Slenk in Noord-Brabant and Limburg. The potentials are one the one hand determined by natural developments or active adjustment of the main tree type, and on the other hand by the possibilities to maintain or improve the required hydrological conditions. The potential development of moist forests in brook valleys depends on the extent of which the functioning of wet forests and brook valleys are related to the surrounding landscape. In case of an intact gradient of dry to wet forest, moist forests will also keep functioning on the long term. The potential developments of moist cover sand forests are strongly depending on the history and landscape context. In general there are potentials that include elements from different plant sociological units and give rise to new forest types.

Bottlenecks of moist forests are:

- 1) The old age of the forest/site;
- 2) Lack of variation in structure and dynamics;
- 3) Desiccation and acidification in cover sand forests;
- 4) Desiccation, formation of "rabatten", acidification and eutrophication in stagnation forests;
- 5) Desiccation, acidification and eutrophication in forests in brook valleys.

Important key processes are groundwater flow and ground water regime, which regulate (gradients in) site conditions: moisture, acid buffering capacity of the soil, acidity, base saturation, nutrient availability, soil fauna activity, litter conversion and humus formation, tree species composition, forest dynamics and forest structure. Bottlenecks in the recovery of moist forests are harmful effects of an excess of nutrients, especially nitrogen, limited moisture, and accumulated raw humus. Factors related to the exploitation of forests and their surroundings are the way drainage systems ("rabatten") were constructed and the optimisation of the agriculture.

Recovery of moist forests requires measures to eliminate the causes of the environmental bottlenecks. In addition, the elimination of the inheritance of the environmental problems preventing desired developments in moist forests is necessary. The required remedial measures can be divided into: "no-regret"-measures (proven effective, minimal negative side effects) and experimental measures. No-regret measures are: restoration of the hydrology and the original

relief, adjustment of the tree species composition, development of a more natural forest structure and connecting and expanding of forests (reduce isolation) and decrease of the nitrogen input from the atmosphere or by ground water. Additional experimental measures are the removal of litter, rough and amorphous humus, liming, transplanting sods after litter removal to reintroduce key species of (soil) fauna and micro biota.

Gradual rewetting of desiccated moist forests is usually desirable in order to maintain relict populations of characteristic and key species and old trees, but it is not always possible. On the short term there are high potentials for recovery or further development of moist forests, because many measures proved to be effective and mostly have no harmful side-effects if the execution is thoroughly prepared, i.e. when potential risks have been addressed.

Chapter 10 describes the knowledge gaps identified in this preliminary study and which require further investigation to improve the restoration and conservation of moist forests. Knowledge is missing on:

- Measures to improve hydrological processes and site conditions;
- The mechanism behind the recovery of the acid buffering capacity of the soil;
- The nitrogen cycle in moist forests;
- References for and possibilities to restore and reintroduce key and target species;
- Possibilities for constructing species rich moist forests on former agricultural lands.

Samenvatting

Dit preadvies geeft inzicht in de sleutelprocessen en factoren die bepalend zijn voor behoud en ontwikkeling van natuurwaarden in vochtige bossen. Ook zijn de mogelijkheden in kaart gebracht om via herstelbeheer, regulier beheer en omvormingsbeheer te komen tot herstel van natuurwaarden in het geval sleutelprocessen en factoren verminderd of niet meer werkzaam of aanwezig zijn.

Vochtige bossen worden gekenmerkt door hoge grondwaterstanden in de winter en diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomer. Ze verschillen daarin van natte bossen waar de waterstanden ook in de zomer hoog blijven, tot in de wortelzone, en van droge bossen die geen invloed van grond- of oppervlaktewater kennen. De focus van het rapport ligt op een drietal typen standplaatsen:

- Bossen op beekdalgronden met basenrijke kwel, aangeduid als beekdalbossen;
- Bossen op stagnerende, basenrijke leem- en kleigronden: stagnatiebossen;
- Bossen op door regenwater of lokaal grondwater gevoede laagten in pleistocene zandgebieden (vooral dekzand): dekzandbossen.

Het preadvies is opgebouwd uit drie delen.

Deel 1: Verkenning

Hoofdstuk 2 behandelt de typering van vochtige bossen ten aanzien van landschap, historie, groeiplaats, vegetatie en soortsdiversiteit van karakteristieke vaatplanten, mossen, paddenstoelen en fauna.

De beekdalbossen omvatten beekbegeleidende bossen (vegetatiekundig: *Alno-Padion* of Verbond van Els en Vogelkers) en verdroogde elzenbroekbossen (vegetatiekundig: *Alnion* of Verbond der elzenbroekbossen). Stagnatiebossen komen voor in de vorm van eiken-haagbeukenbossen (vegetatiekundig: *Carpinion* of Haagbeuken-verbond) en dekzandbossen kennen vochtige varianten van eiken-berken- en beuken-eikenbossen (vegetatiekundig: *Quercion* of Eiken-verbond incl. omgevormde opstanden van *het Dicrano-Pinion* of Verbond der naaldbossen) en verdroogde berkenbroekbossen (vegetatiekundig: *Betulion* of Verbond der berkenbroekbossen).

Stagnatiebos en in mindere mate beekdalbos omvat een flink aandeel oud bos ('ancient woodland'); dekzandbos bestaat voornamelijk uit heide-ontginningsbos.

Groeiplaatsen van vochtige bossen worden gekarakteriseerd aan de hand van fysiotopten, GHG, GLG, bodemtypen en humusvormen, ingedeeld naar landschap (zie hoofdstuk 3).

De stagnatiebossen zijn het hoogst en het rijkst gestructureerd, gevolgd door de beekdalbossen. De soortsdiversiteit is uitgewerkt voor RL(rodelijst)-soorten. Voor vaatplanten zijn 9 RL-soorten aangetroffen in opnamen waaronder 6 typische voor natte bossen en 3 voor stagnatiebossen. Er zijn geen RL-soorten onder de mossen die karakteristiek zijn voor vochtige bossen. Voor paddenstoelen konden RL-soorten alleen worden uitgesplitst naar basenrijke en basenarme bossen (incl. laanbeplantingen, excl. moerasbossen). Stagnatie- en beekdalbossen blijken ook belangrijk voor een groep graslandsoorten, met name op lemige plekken waar weinig strooisel blijft liggen.

Hoofdstuk 3 beschrijft sturende processen op landschapsschaal. Aan de orde komen reliëf, geologische opbouw en hydrologische processen.

De sturende processen in vochtige bossen worden binnen de drie onderscheiden landschappen nader beschreven aan de hand van enkele kenmerkende situaties.

Hoofdstuk 4 behandelt sturende processen op standplaatsniveau: grondwaterregime, bodemfauna en decompositie, chemische samenstelling van het grondwater, buffering mechanisme, nutriëntenbeschikbaarheid, humusprofielontwikkeling en successie.

De combinatie van een GLG > 70 cm en een GHG < 100 cm geeft een goede begrenzing van de vochtige bossen op basis van de grondwaterstand.

Een mozaiekstructuur van hogere en lagere delen is gunstig voor de bodemfauna. De hogere delen treden op als refugia voor migrerende bodemfauna en herkolonisatie kan vanuit de refugia snel verlopen als ze verspreid in het bosgebied liggen. Bij de uitvoering van vernattingsmaatregelen in vochtige bossen is het belangrijk een mozaiekstructuur met permanent drogere delen te behouden.

De chemische samenstelling van het grondwater wordt in dekzandbossen bepaald door infiltrerend regenwater en lokaal grondwater en is meestal zuur (pH 4-5). Dekzanden zijn arm aan fosfaat (<3 mmol P per liter bodem) en arm aan ijzer en calcium, waardoor de bindingscapaciteit voor fosfaat ook gering is. Bij ontwikkeling van een humuslaag verdwijnt de fosfaatlimitatie al snel en wordt vooral stikstof het groeilimiterende element. In stagnatiebossen is vooral de samenstelling van het grondwater boven de waterkerende leemlaag van belang. De zuren in het infiltrerende grondwater zorgen ervoor dat bij contact met de leemlaag bicarbonaat, calcium en magnesium in oplossing gaan. De leemlagen in stagnatiebossen zijn fosfaatrijker dan dekzand (3 - 10 mmol P per liter bodem). De basenrijkdom en het ijzergehalte zijn bepalend voor de mate waarin fosfaat beschikbaar is. Als de leem ijzerrijk is, zal de fosfaatbeschikbaarheid laag blijven. De nitraatbeschikbaarheid in stagnatiebossen is hoger dan in vochtige dekzandbossen, maar vermoedelijk is er een flinke ruimtelijke afwisseling in stikstof- en fosforbeschikbaarheid. Het grondwater onder vochtige bossen in en langs beekdalen heeft vaak een langere weg afgelegd, waarbij ook leem- of veenlagen of rivierafzettingen zijn gepasseerd. Dit water is daardoor minder zuur (pH 5-7) en rijker aan kooldioxide, ijzer, calcium en fosfaat. De nutriëntenhuishouding in vochtige beekdalbossen zal vermoedelijk niet veel afwijken van die in stagnatiebossen.

Soortensamenstelling en bosstructuur zijn voortdurend in verandering. Hierbij worden vier processen onderscheiden:

1. Veranderingen van de vegetatie na degradatie van de groeiplaats (verdroging, vermesting et cetera);
2. Veranderingen van de vegetatie volgend op een verandering in bosgebruik;
3. Natuurlijke ontwikkeling door vestiging van soorten van bosccosystemen (successie in strikte zin);
4. Cyclische verandering (bosdynamiek) in de boom- en struiklaag door aftakeling en verjonging, gekoppeld aan oude, (relatief) natuurlijke bossen waarbij een dynamisch mozaïek van leeftijdsklassen ontstaat.

Deze processen zijn van verschillend belang voor dekzandbossen, stagnatiebossen en beekdalbossen. Rabattering gevolgd door (eiken)hakhoutcultuur is oorspronkelijk natte tot vochtige bossen een belangrijke verandering in bosgebruik geweest die vaak aanleiding heeft gegeven tot verandering in bostype, van *Alno-Padion* (beekdalbos) dan wel *Carpinion* (stagnatiebos) tot *Quercion*-bos.

Hoofdstuk 5 geeft referenties voor de best ontwikkelde vochtige bossen in Nederland en aangrenzend buitenland en voorbeelden van minder goed functionerende bossen met nog goede natuurkwaliteit.

Hoofdstuk 6 richt zich op ecosysteemdiensten van vochtige bossen. Houtproductie is een van de belangrijkste ecosysteemdiensten van bossen. Vochtige bossen behoren tot de meest productieve standplaatsen, maar de houtteeltmogelijkheden worden beperkt door de hoge grondwaterstanden. Daarnaast kunnen vochtige bossen water vasthouden (conserveren) en daardoor een waterregulerende functie hebben en tot slot hebben vochtige bossen een rol in vermindering van de toename van CO₂ in de atmosfeer.

Hoofdstuk 7 beschrijft de knelpunten in vochtige bossen. Een deel van de knelpunten is onderling sterk verbonden: verdroging leidt vaak tot verzuring en vermesting, stikstofdepositie werkt zowel verzurend als vermestend.

Door rabattering is het oorspronkelijke reliëf van geulen en ruggen met natuurlijke uitwijkmogelijkheden voor soorten van natte, vochtige en droge standplaatsen vervangen door uniform droge (verdroogde) en sterk omgewerkte (gehomogeniseerde) bodems, doorsneden door greppels. Bostypen die als gevolg van deze extreme cultuurtechnische ingrepen ontstaan, kwalificeren strikt gezien als Natura 2000-habitattypen droog bos (Oude eikenbossen, Beuken-eikenbossen) en dreigen daarmee een behoudsstatus te krijgen wat herstel van de oorspronkelijk natte vegetatietypen in de weg staat.

Ecologische isolatie vooral op door de intensivering en biologische homogenisering van het omringende landschap door ruilverkavelingen en intensieve teeltsystemen. Hierdoor is ook de uitwisseling van plantfragmenten, zaden, knollen e.d. tussen bossen door langdurige inundaties gestopt.

Deel 2: Evaluatie van vernattingsmaatregelen in vochtige bossen

Op basis van een aantal criteria zijn de volgende gebieden geselecteerd voor een evaluatie van vernattingsmaatregelen: Dubbroek, Koelbroek, Ulvenhoutse bos, Urkhovense Zeggen, Lankheet, Grootte Heide, Leenderbos, Weerterbos en Witte Veen. In deze gebieden zijn in meer en mindere mate gegevens ingewonnen over grondwaterregime, humusvorm en bodemtype, bodemchemie, vegetatie en flora, mycoflora en bodemfauna.

De effectiviteit van hydrologische maatregelen is afhankelijk van de bodemopbouw en de landschappelijke positie. In vlakke gebieden hebben maatregelen een groter effect dan in hellende terreinen. Hetzelfde geldt voor kwelgebieden en gebieden met stagnerende bodems. In inziggebieden en reliëfrijke terreinen kunnen grotere stappen worden genomen. Een goed werkend alternatief voor het stapsgewijs opzetten van het water is met dempen van sloten van hoog naar laag te werken. Vaak kunnen beide aanpakken tegelijkertijd uitgevoerd worden.

Op zure bodems treedt een verbetering op van de strooiselomzetting door een verbeterde vocht- en basenvoorziening. Plantensoorten van vochtige zure bossen weten hier vrij snel op te reageren. Plantensoorten die minder zuurtolerant zijn profiteren minder snel omdat de bronpopulaties hiervan ontbreken. In bossen op basenrijkere locaties lijkt de vegetatie goed te reageren: bossen waar grondwater weer tot in de wortelzone komt worden gekenmerkt door goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen en Elzenzege-Elzenbroeken. De droge of verdroogde situaties bestaan uit Rompgemeenschappen van Gewone braam.

Uit de evaluatie is verder het volgende gebleken:

1. Vernatte plots op zure zandbodem hebben gemiddeld een hogere pH en basenverzadiging dan de niet-vernatte plots, vooral daar waar sprake is van basenrijk grond- of oppervlaktewater. Op de basenrijkere leembodems valt op dat niet-vernatte plots vaak een zure strooisellaag hebben;
2. De bodem-macrofauna neemt toe, in ieder geval in aantallen individuen en mogelijk ook in soortenrijkdom;
3. De humusvormen die wijzen op een goede strooiselvertering nemen toe;
4. De eutrafente (myco-)flora neemt toe op plekken waar door boomsterfte of een snelle toename van de basenrijkdom de humusafbraak plotseling wordt versneld.

Deel 3: Maatregelen en kennislacunes

Hoofdstuk 9 beschrijft de sleutelfactoren in vochtige bossen en de wegen naar herstel van vochtige dekzandbossen, stagnatiebossen en beekdalbossen.

Van *stagnatiebossen op leem en oude klei* zijn in Twente, het Oude IJsselgebied en de Centrale Slenk in Noord-Brabant en Limburg qua soortensamenstelling nog redelijk goed ontwikkelde voorbeelden te vinden. De potenties worden enerzijds bepaald door natuurlijke ontwikkeling of sturing van de hoofdboomsoort en anderzijds door mogelijkheden om de wisselvochtige waterhuishouding te garanderen of te versterken.

De potentie van *vochtige bossen in beekdalflanken* is afhankelijk van de mate waarin de natte bossen van het beekdal zelf functioneren. Waar sprake is van een intacte gradiënt zal ook op langere termijn vochtig bos blijven functioneren. De potenties van *vochtige dekzandbossen* zijn sterk afhankelijk van de voorgeschiedenis en landschappelijke context. Knelpunten bij vochtige bossen zijn:

1. De ouderdom van het bos/de bosgroeiplaats;
2. Gebrek aan structuurvariatie en dynamiek;
3. Verdroging en verzuring in dekzandbossen;
4. Verdroging, rabattering, verzuring en vermesting in stagnatiebossen;
5. Verdroging, verzuring en vermesting in beekdalbossen.

Belangrijke sleutelfactoren zijn grondwaterstroming en grondwaterregime (waarmee de vochttoestand, het zuurbufferend vermogen van de bodem en strooiselomzetting worden gereguleerd), zuurgraad en basenverzadiging, bodemfauna-activiteit, strooiselomzetting en humusvorming, boomsoortensamenstelling, bosdynamiek en bosstructuur en morfologie.

Operationele sleutelfactoren (op de standplaats) zijn de beschikbaarheid van nutriënten, schadelijke effecten van een overmaat stikstof, de vochtbeschikbaarheid, en de stapeling van ruwe humus. Sleutelfactoren uit het verleden die een rol spelen in de ontwikkelingsmogelijkheden van vochtige bossen zijn de wijze van aanleg en historisch bosgebruik, ontwatering en rabattering in het verleden en de optimalisatie van de landbouw.

Bij herstel van vochtige bossen zijn (brongerichte) maatregelen noodzakelijk om de oorzaken van de ongewenste ontwikkelingen weg te nemen. Vervolgens kan met effectgerichte maatregelen de erfenis van deze milieuproblemen worden opgeruimd. De herstelmaatregelen kunnen worden onderverdeeld in: 'no-regret'-maatregelen (bewezen effectief, minimale negatieve bijwerkingen), en experimentele maatregelen. No-regret maatregelen zijn: Herstel van de hydrologie en het oorspronkelijk reliëf, aanpassen van de boomsoortensamenstelling, het ontwikkelen van een meer natuurlijke bosstructuur en het verbinden en uitbreiden van bossen (opheffen isolatie), verminderen van de stikstofdepositie. Additionele maatregelen (geen 'no-regret') zijn het verwijderen van strooisel, ruwe en amorfe humus, bekalking, het opbrengen van plagsel na strooiselverwijdering en herintroductie van soorten in de ondergroei of (bodem)fauna. Bij vernatting in vochtige bossen speelt vaak de vraag of dit via een geleidelijke weg dient te gebeuren of in één keer. Een geleidelijke vernatting is doorgaans wenselijk voor behoud van Behoud van relictpopulaties en oude bomen, maar is niet altijd mogelijk. Op korte termijn liggen er grote potenties voor herstel of verdere ontwikkeling van vochtige bossen, mede doordat er veel maatregelen zijn die bewezen effectief zijn en veelal weinig schadelijke bijwerkingen hebben indien ze degelijk zijn voorbereid d.w.z. waarbij van te voren mogelijke risico's in beeld zijn gebracht en hoe daar mee om te gaan.

Hoofdstuk 10 beschrijft kennislacunes die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen. Er zijn lacunes vastgesteld op de volgende punten:

- Maatregelen om de waterhuishouding te verbeteren,
- Hydrologische standplaatseigenschappen
- Het mechanisme achter het herstel van het zuurbufferend vermogen van de bodem;
- De stikstofkringloop in vochtige bossen;
- Mogelijkheden voor herstel en de herintroductie van doelsoorten;
- Mogelijkheden voor aanleg van soortenrijke vochtige bossen op voormalige landbouwgronden.

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling en doel preadvies

Van de Nederlandse ecologische hoofdstructuur bestaat het overgrote deel uit bossen. Ze behoren met de natte graslanden tot de landecosystemen met de hoogste biodiversiteit. Meerdere bostypen van natte en droge standplaatsen zoals beekbegeleidende bossen, eiken-haagbeukenbossen en beuken-eikenbossen zijn vanwege hun Europese betekenis aangewezen als Natura 2000 habitattypen. Hoewel de biodiversiteit van bossen vanwege verdroging, verzuring en/of vermessing onder zware druk staat, zijn er sinds het begin van het EGM/OBN in 1990 amper praktijkrijpe herstel- c.q. effectgerichte maatregelen ontwikkeld. Voor bossen zijn enkele zogenoemde preadviezen opgesteld: droge bossen (Klap & Schmidt, 1992), natte bossen (Poels et al., 2000) en hellingbossen (Bobbink et al., 2008). Deze behandelen slechts een deel van de problematiek en herstel mogelijkheden in bossen. Verder is onderzoek uitgevoerd naar de randvoorwaarden voor herstel van soortenrijke Elzenbroeken via vernatting (zie o.a. Lucassen et al., 2004). De vochtige bossen waartoe onze soortenrijkste en meest bedreigde bosgemeenschappen behoren (Eiken-Haagbeukenbossen buiten Zuid-Limburg en Vogelkers-Essenbossen) hebben tot op heden binnen de OB+N nog weinig aandacht gekregen (AggenBach & Hunneman, 2007; Aggenbach, 2011).

Een groot deel van de Nederlandse bossen ligt op van oorsprong natte of vochtige standplaatsen zoals oude vochtige loofbossen in kwelgebieden en op stagnante leembodem. Veel van deze bossen zijn verdroogd, waardoor ze verzuurd en vermest zijn geraakt. Dat heeft o.a. geleid tot een afname van grondwaterafhankelijke plantensoorten van gebufferde tot zwak gebufferde en betrekkelijk voedselarme standplaatsen. Ook atmosferische stikstof depositie heeft bijgedragen aan de verzuring en de vermessing van vochtige bossen (Poels et al., 2000). Grote oppervlakten (potentieel) vochtige bossen zijn echter jong en aangelegd op sterk ontwaterde voormalige natte heiden. Hoewel deze bossen nu ouder worden en meer op natuurwaarden gericht beheer kennen, is er geen of nauwelijks een ontwikkeling waarneembaar waarbij voor vochtige bossen kenmerkende soorten terugkeren. Ook in deze jonge bossen speelt verdroging mogelijk een belangrijke rol. De vraag is nu in hoeverre, door herstel van de waterhuishouding, de natuurwaarden in vochtige bossen weer kunnen worden hersteld (in de oude) of in hoeverre nieuwe waarden kunnen worden ontwikkeld (in de jonge). Dit preadvies geeft inzicht in de sleutelprocessen en factoren die hebben geleid tot een achteruitgang van natuurwaarden van vochtige bossen. Vervolgens worden de mogelijkheden in kaart gebracht om via herstelbeheer, regulier beheer en omvormingsbeheer te komen tot herstel van natuurwaarden.

1.2 Afbakening

Vochtige bossen worden gekenmerkt door hoge grondwaterstanden in de winter – vaak tot in de wortelzone of zelfs op maaiveld – en diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomer. Vochtige bossen verschillen daarin van de *natte bossen* waar de waterstanden ook in de zomer hoog – tot in de wortelzone - blijven en van de *droge bossen* die geen invloed van grond- of oppervlaktewater kennen. In grondwatertrappen uitgedrukt bevinden vochtige bossen zich in de range van Gt II t/m VI (zie tabel 1.1. en § 4.2 voor nadere toelichting).

Dit preadvies richt zich in het bijzonder op herstel van de waterhuishouding van vochtige bossen, waarbij niet alleen het *huidige* grondwaterregime van belang is. Bossen die door verdroging geen kenmerken meer vertonen van vochtige bossen, maar waarvan het grondwaterregime wel te herstellen is, worden eveneens beschouwd in dit preadvies. Verdroogde broekbossen die door vernatting weer een broekboskarakter kunnen krijgen worden in dit pre-advies *niet* tot de vochtige bossen gerekend.

Tabel 1.1.: Grondwatertrappenindeling met in groen de Gt's die de vochtige bossen karakteriseren.

Table 1.1: Classification of groundwater tables in the Netherlands, in green those characteristic of moist forests.

Grondwatertrap (Gt)	Grondwaterstanden (in cm -mv)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
GHG	< 20	< 40	< 40	< 40	< 40	40-80	> 80
GLG	< 50	50-80	80-120	80-120	> 120	> 120	> 160

De focus van deze studie ligt op drie typen standplaatsen (zie § 2.1 voor nadere uitwerking):

- Beekdalgronden met basenrijke kwel;
- Gronden met een aan of dichtbij het maaiveld gelegen basenrijke leem- of kleilaag waarop regen- of jong grondwater stagneert;
- Door regenwater of lokaal grondwater gevoede laagten in pleistocene zandgebieden (vooral dekzand).

Voor een nadere omschrijving van het begrip "vochtige bossen" zoals gehanteerd in deze studie, zie § 2.1. Voor een afbakening naar landschap, groeiplaats en vegetatietype, zie § 2.2 t/m 2.4.

De nadruk in dit preadvies ligt op vochtige bossen die voorkomen in het Nat zandlandschap en Beekdallandschap in de fysisch-geografische regio Hogere zandgronden. Vochtige bossen in andere landschappen (duin en kust-, laagveen en zeeklei- en rivierenlandschap) blijven buiten beschouwing. Deze bossen wijken landschappelijk en in hydrologisch functioneren te veel af van de bossen op de pleistocene zandgronden. Dat rechtvaardigt een zelfstandige benadering in een eigen pre-advies.

1.3 Opzet en aanpak

Dit preadvies is opgebouwd uit drie delen. Deel 1 *verkenning* bestaat uit literatuuronderzoek aangevuld met archiefonderzoek, waarin de vochtige bossen worden getypeerd en de processen op landschaps- en standplaatsschaal in vochtige bossen beschreven. Deel 2 *evaluatie* bevat de resultaten van veldonderzoek in vernatte vochtige bossen. In deel 3 *maatregelen en kennislacunes* volgen een synthese op basis van de de resultaten van de voorgaande delen, aanbevelingen voor maatregelen en een overzicht van kennislacunes.

Deel 1: Verkenning

De kenmerkende eigenschappen en processen van vochtige bossen van de Hoge Zandgronden zijn tot nu toe nooit systematisch beschreven. Deel 1 begint daarom met een beschrijving van de kenmerken die deze bossen zo bijzonder maken (hoofdstuk 2) en de processen die daarvoor bepalend zijn op landschaps- en standplaatsschaal (respectievelijk hoofdstuk 3 en 4). Hoofdstuk 5 geeft voorbeelden van referentiebossen waar deze kwaliteit en processen nog in hoge mate aanwezig zijn. Deze gebieden bieden een referentie voor herstelprojecten in bossen waar die kwaliteiten onder druk staan. Hoofdstuk 6 gaat in op ecosystemendiensten in vochtige bossen. De belangrijkste oorzaken van achteruitgang van biodiversiteit in vochtige bossen worden beschreven in hoofdstuk 7.

De uitgebreide achtergrondinformatie in Deel 1 geeft beheerders inzicht in de kwaliteiten en landschappelijke kenmerken van vochtige bossen en de oorzaken die ervoor hebben gezorgd dat deze kwaliteiten onder druk staan. Deze kennis biedt een referentiekader voor begrip van de resultaten van het veldonderzoek, dat in deel 2 wordt beschreven.

Deel 2: Evaluatie

In deel 2 wordt het veldonderzoek besproken. Er is uitgezocht waar vernattingsmaatregelen genomen zijn in Vochtige bossen. Vervolgens zijn 9 gebieden geselecteerd waar via een aantal metingen de effecten van vernatting onderzocht zijn. Hierbij is gekeken naar bodem- en humusontwikkeling, bodemchemie, vegetatie, (bodem)fauna en paddenstoelenflora. Per onderzoekslocatie zijn één of meerdere vernatte delen geselecteerd om te bemonsteren en voor zover mogelijk zijn er niet vernatte delen uitgezocht als referentielocatie. Een uitgebreide werkwijze is beschreven in § 8.2.

Deel 3: Maatregelen en kennislacunes

Deel 3 bevat de synthese van deel 1 en deel 2 (hoofdstuk 9). Hierin worden de huidige situatie, de potenties en de sleutelfactoren voor herstel van vochtige bossen beschreven. In hoofdstuk 10 worden aanbevelingen gedaan voor herstelmaatregelen die zonder verder onderzoek uitgevoerd kunnen worden en wordt besproken welke kennis nog ontbreekt voor het samenstellen van een totaalpakket aan maatregelen.

DEEL 1: VERKENNING

2. Vochtige bossen: typering

2.1 Afbakening en indeling

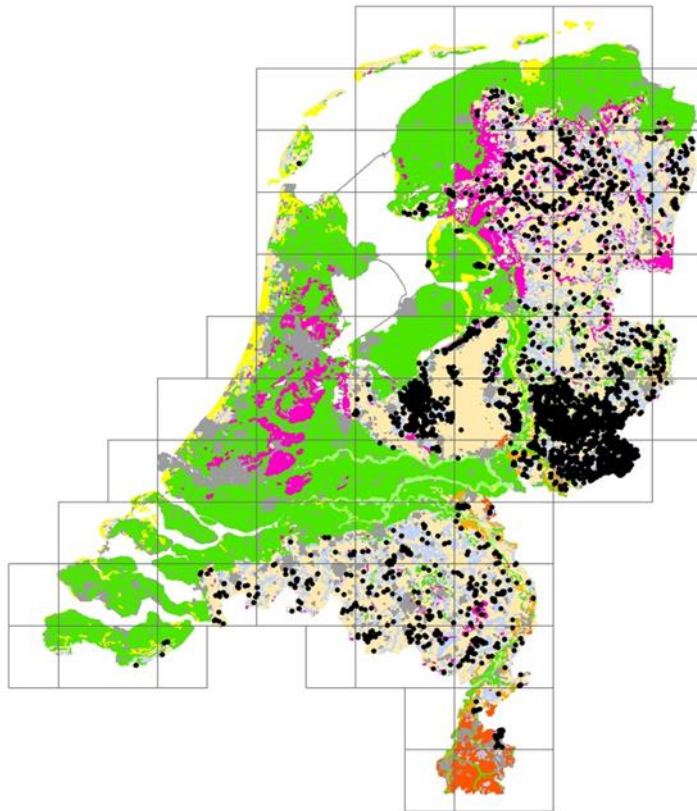
Natte bossen onderscheiden zich van vochtige bossen door hoge zomerwaterstanden (zie § 1.2) waardoor aerobe afbraak van organisch materiaal beperkt blijft en veenvorming optreedt. Natte bossen staan daarom over het algemeen op veenbodems en vochtige bossen op minerale bodems. Vochtige bossen inclusief stagnatiebossen onderscheiden zich van droge bossen doordat wisselende waterstanden mede sturend zijn voor processen in de bodem (zie § 4.2 voor verdere toelichting). In vochtige bossen worden herstelmogelijkheden en ontwikkelingspotenties vooral bepaald door de mogelijkheid om de waterhuishouding te verbeteren.

Om een beeld te krijgen van de landschappelijke positie en vegetatiesamenstelling van vochtige bossen is uit de Landelijke Vegetatiedatabank (LVD, Alterra) een selectie gemaakt van opnamen die voldoen aan de volgende criteria:

- resolutie (nauwkeurigheid coördinaten) ≤ 100 m;
- gelegen binnen legenda-eenheden oude kleigronden, kwelgevoede zandgronden of regenwatergevoede zandgronden (ecologische bodemkaart: Kemmers & De Waal 1999);
- met bedekking boomlaag (b1, b2 of b3) $> 10\%$;
- behorend tot door het programma ASSOCIA toegekende vegetatie-eenheden zoals weergegeven in Tabel 2.1;
- op bodems met GWT anders dan I, II en IIb (te nat) en VII en VIII (te droog) (vergelijk Tabel 2.1).

Het gaat om 6208 opnamen overwegend gemaakt vanaf 1970 (45 opnamen tussen 1937 en 1969; zie Figuur 2.1). Deze set wordt in hoofdstuk 2 gebruikt voor de beschrijvend-statistische analyse van bosstructuur en soortensamenstelling zonder correctie voor verschillen in opnamedichtheid.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende typen vochtig bos die in dit rapport aan de orde komen. Hierbij wordt uitgegaan van een hoofdindeling in standplaatsen: 'beekdalbos', 'stagnatiebos' en 'dekzandbos' (Tabel 2.1). In § 2.2 wordt aangegeven in welke landschappen deze standplaatsen worden aangetroffen alsook welke typen vochtig bos (gedefinieerd naar landschap) in dit preadvies *niet* aan de orde komen. In § 2.3 t/m 2.5 zal – met de nadruk op de vochtige bossen die in dit rapport *wel* behandeld worden – een nadere uitwerking naar groeiplaats (fysiotopen, bodemtypen en humusvormen), vegetatie(type) en soorten diversiteit worden gegeven.



Figuur 2.1: Voor vochtige bossen geselecteerde vegetatieopnamen, weergegeven op de ecologische bodemkaart.

Figure 2.1: Selected phytosociological relevés for the analysis of moist forest vegetation types and species composition, shown on the ecological soil map of the Netherlands.

Kenmerken	Standplaats Basenrijke kwel	Stagnatie	Regenwater/ lokale kwel
Aanduiding in dit rapport (focus)	"beekdalbos"	"stagnatiebos"	"dekszandbos"
Beekdallandschap*			
Grondmorene- en terrassenlandschap			
Dekzandlandschap			
Stuifzandlandschap			
Stuwwallandschap*			
Vegetatie (oorspronkelijk vochtig)	Alno-Padion	Carpinion	Quercion
Vegetatie (oorspronkelijk nat)	Alnion (RG)	Carpinion	Betulion (RG)
Vegetatie (omgevormd)	Quercion	Quercion	Quercion Dicrano-Pinion
GLG	60-140 cm	> 150 cm	100-150 cm
GHG	0-30 cm	0-30 cm	10-50 cm
GWT	III	V	V
pH _{water} wortelzone	> 5.0	> 4.0	< 4.0

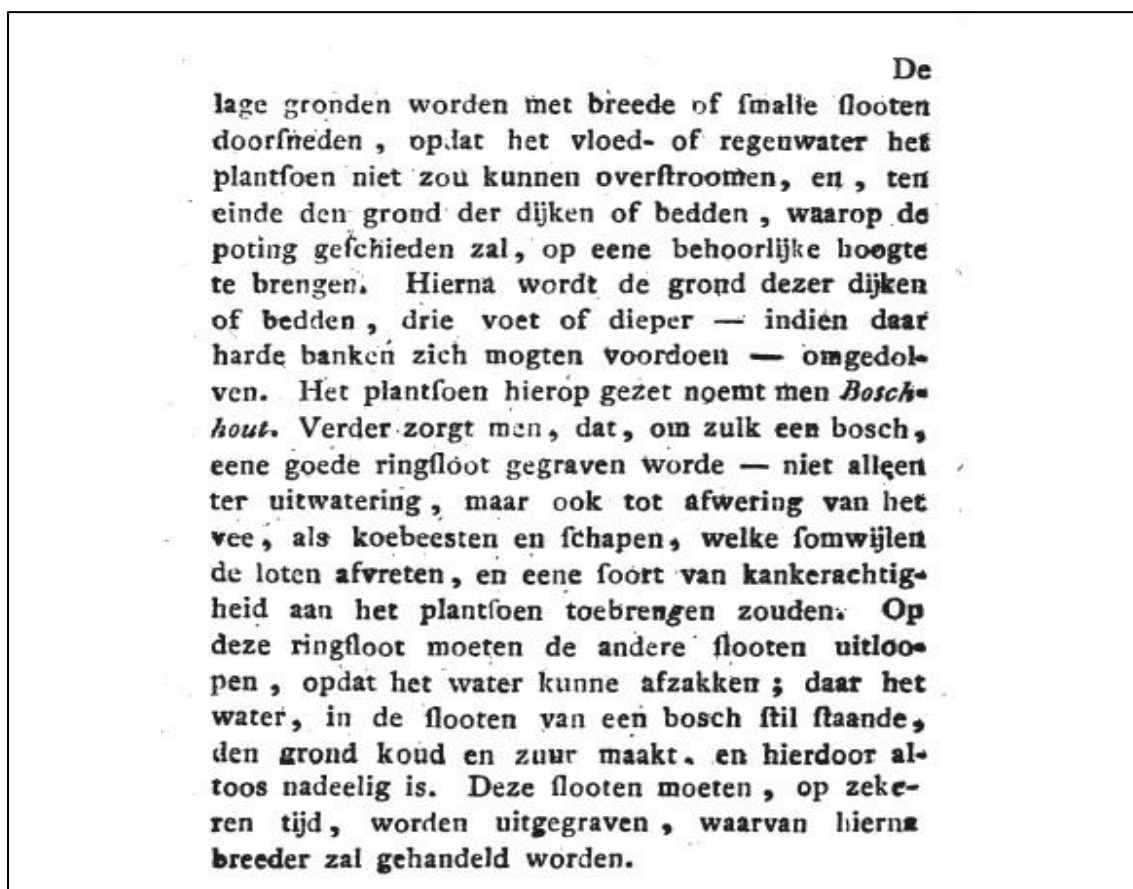
Tabel 2.1. Naamgeving en kenmerken van standplaatsen van vochtige bossen zoals gebruikt in dit rapport. * Exclusief brongebieden; deze worden in dit rapport tot de natte bossen gerekend. Donkere arcering: focus; lichte arcering: verwante standplaats; geen focus.

Table 2.1. Naming and features of habitats of moist forests as used in this report. *Excluding spring areas assigned to wet forest habitats. Dark shading: habitat-landscape combination with research focus; pale shading: similar habitat but without focus.

2.2 Landschap

2.2.1 Spreiding over landschapstypen

De in dit rapport behandelde bossen op vochtige standplaatsen liggen binnen de fysisch-geografische regio Hogere zandgronden voornamelijk in het beekdallandschap, dekzandlandschap en grondmorene- en terrassenlandschap (zie tabel 2.1), met inbegrip van de daarbinnen gelegen geologisch afwijkende substraattypen als keileem, potklei, en verdroogd hoogveen. In hoofdstuk 3 worden deze landschappen expliciet beschreven in relatie tot deze bossen. Daar wordt ook aandacht besteed aan de weinig voorkomende vochtige bossen van het stuifzandlandschap en het stuwwallandschap (niet de bronbossen).



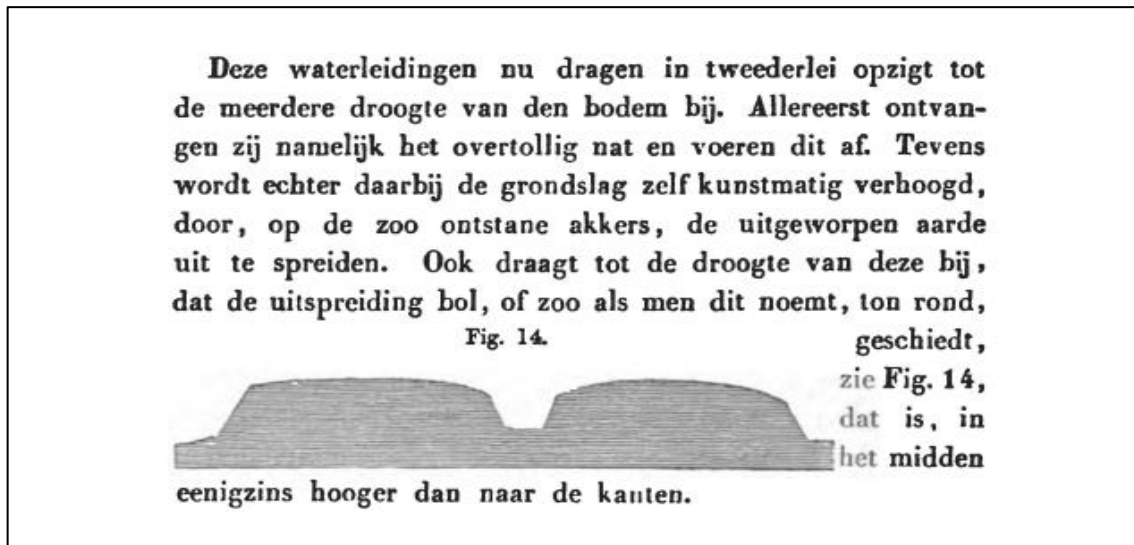
Figuur 2.2: Fragment uit Joosten (1821) over noodzaak en wijze van rabattering en ontwatering van natte bossen voor de aanleg van hakhout.

Figure 2.2: Excerpt from Joosten (1821) about the necessity and method of drainage of wet forests for the establishment of coppice.

2.2.2 Aanleg en leeftijd

De waterhuishouding speelde en speelt nog steeds een belangrijke rol bij locatiekeuze en landgebruik. De aanleg van productiebos in de vorm van hakhout op 'waterzuchtige gronden' was alleen mogelijk door rabattering. Zo is tijdens de landbouwcrisis rond 1880 nog veel eikenhakhout aangelegd op voorheen hooilanden (Goutbeek, in druk). De noodzaak en wijze van rabattering blijkt uit 19e eeuwse handboeken en verhandelingen zoals Joosten (1821; fig. 2.2) en Boer (1857; fig. 2.3).

Bosgroeiplaatsen met een lange historische continuïteit ('ancient woodlands', 'oude bosgroeiplaatsen'; Rackham, 2003; Bijlsma et al., 2010) zijn ecologisch bijzonder waardevol door het voorkomen van (relict)populaties van soorten met een geringe mobiliteit, de zgn. oudbossoorten. Voor vochtige bossen gaat het hierbij vooral om stagnatiebossen met soorten als Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Slanke sleutelbloem (*Primula eliator*) e.d. Dit type bossen ligt op lastig bewerkbare bodems die soms zijn ontgonnen tot hooiland of, in de 20e eeuw, populierenbos. Van de *Carpinion*-opnamen ligt 22% in of nabij oud bos volgens de Topografische en Militaire Kaart van 1850 (tabel 2.2). Dit percentage neemt verder af volgens de reeks *Carpinion* (stagnatiesbos) > *Alno-Padion* en *Alnion* (beekdalbos) > *Quercion*, *Betulion* en *Dicrano-Pinion* (dekzandbos) (tabel 2.2).



Figuur 2.3: Fragment uit Boer (1857) over het rabatteren van natte gronden voor de houtteelt met een schema van opgehoogde rabatten ('akkers', 'dijken', 'bedden') en greppels ('sloten', 'waterleidingen').

Figure 2.3: Excerpt from Boer (1857) on the drainage of wet soils for wood production with a figure showing artificially raised ridges drained by ditches (so called "rabatten").

Tabel 2.2: Percentage opnamen in vochtige bossen op of nabij oude bosgroeiplaatsen (% oud bos) volgens de Topografische en Militaire Kaart van 1850 (TMK). Uit overlay van LVD-opnamen met gebufferd (100 m) puntenbestand (Van Dorland et al., 2012). Zie § 2.4.1 voor een toelichting op de vegetatietypen.

Table 2.2: Percentage relevees in moist forests on or near ancient woodland sites ("% oud bos") according to the first military and topographic map of 1850. Based on an overlay of relevees with buffered (100 m) point features of ancient woodland occurrences after Van Dorland et al. (2012). See § 2.4.1 for an explanation of vegetation types.

Categorie vochtig bos	Vegetatietype	% oud bos	aantal opnamen (=100%)
Beekdalbos	<i>Alno-Padion</i>	17	1532
	<i>Alnion</i>	14	410
Stagnatiebos	<i>Carpinion</i>	22	591
Dekzandbos (incl. ongevormd bos)	<i>Quercion</i>	16	2562
	<i>Betulion</i>	12	287
	<i>Dicrano-Pinion</i>	13	828

De categorie dekzandbos omvat voornamelijk heide-ontginningsbos dat vanaf 1850 kleinschalig is aangelegd door particulieren en in toenemende mate grootschalig na de oprichting van de Heidemij (1888) en het Staatsbosbeheer (1899). Grootschalige ontginningen zijn rond 1940 gestopt. In de troonrede van 1961 wordt het besluit van de regering bekend gemaakt de omzetting van woeste gronden in landbouwgronden tot het uiterste te beperken, mede ter wille van natuurbescherming. De hoofdcategorieën bos verschillen afgezien van de leeftijd van de bosgroeiplaats ook in leeftijd van de opstand, wat blijkt uit een overlay van de LVD-opnamen met de Vierde Bosstatistiek uit 1982 (Clement, 2001). Opnamen met hoofdboomsoort 'inlandse eik' hebben een gemiddelde leeftijd van de eik in *Carpinion*-bos (kiemjaar 1900) > *Alno-Padion*-bos (kiemjaar 1908-1919) > *Quercion*-bos (kiemjaar 1917-1935) (tabel 2.3).

Tabel 2.3: Leeftijdstatistieken van opstanden met hoofdboomsoort 'inlandse eik' volgens de Vierde Bosstatistiek (opgenomen 1984) uit overlay met LVD-opnamen vochtig bos. Toelichting bij de kolommen: $kj < > 0$: aantal opstanden met kiemjaar ongelijk 0; $kj = 0$: idem met kiemjaar 0 (onbekend); $minj$, $maxj$ en $gemj$ zijn de minimum, maximum en gemiddelde leeftijd voor opstanden met kiemjaar ongelijk 0. Zie § 2.4.1 voor een toelichting op de vegetatietypen.

Table 2.3: Age statistics of stands with main canopy species 'native oak' according to the 4th Dutch Forest Inventory (1984 survey) overlaid with relevees of moist forests. Columns: $kj < > 0$ number of stands with known age, $kj = 0$ with unknown age; $minj$, $maxj$ and $gemj$ minimum, maximum and mean age for stands with known age. See § 2.4.1 for an explanation of vegetation types.

Categorie vochtig bos	Vegetatietype	$minj$	$maxj$	$gemj$	$kj < > 0$	$kj = 0$
Beekdalbos	<i>Alno-Padion</i>	1801	1976	1908	147	32
	<i>Alnion</i>	1855	1940	1919	4	4
Stagnatiebos	<i>Carpinion</i>	1753	1975	1900	135	9
Dekzandbos (incl. ongevormd bos)	<i>Quercion</i>	1801	1978	1917	232	62
	<i>Betulion</i>	1910	1958	1935	8	1
	<i>Dicrano-Pinion</i>	1870	1979	1932	16	3

Opstanden met hoofdboomsoort 'berk' hebben overwegend een onbekend kiemjaar (tabel 2.4) wat veelal betekent dat de betreffende opstanden zich (recent) spontaan hebben ontwikkeld. Slechts zeer weinig opnamen bevinden zich in opstanden met hoofdboomsoort 'Zwarte els (*Alnus glutinosa*)' en ook deze opstanden hebben overwegend een onbekend kiemjaar en zijn dus overwegend spontaan bos (tabel 2.5).

Tabel 2.4: Leeftijdstatistieken van opstanden met hoofdboomsoort 'berk' volgens de Vierde Bosstatistiek uit overlay met LVD-opnamen vochtig bos. Zie § 2.4.1 voor een toelichting op de vegetatietypen.

Table 2.4: Age statistics of stands with main canopy species 'birch' according to the 4th Dutch Forest Inventory overlaid with relevees of moist forests. See § 2.4.1 for an explanation of vegetation types.

Categorie vochtig bos	Vegetatietype	minj	maxj	gemj	kj <>0	kj =0
Beekdalbos	<i>Alno-Padion</i>	1944	1975	1960	2	14
	<i>Alnion</i>				0	4
Stagnatiebos	<i>Carpinion</i>	1945	1954	1951	3	2
Dekzandbos (incl. ongevormd bos)	<i>Quercion</i>	1908	1965	1951	18	44
	<i>Betulion</i>	1900	1930	1915	2	36
	<i>Dicrano-Pinion</i>	1930	1965	1948	8	9

Tabel 2.5: Leeftijdstatistieken van opstanden met hoofdboomsoort 'Zwarte els' volgens de Vierde Bosstatistiek uit overlay met LVD-opnamen vochtig bos. Zie tabel 2.3 voor toelichting. Zie § 2.4.1 voor een toelichting op de vegetatietypen.

Table 2.5: Age statistics of stands with main canopy species 'black alder' according to the 4th Dutch Forest Inventory overlaid with relevees of moist forests. See § 2.4.1 for additional explanation.

Categorie vochtig bos	Vegetatietype	minj	maxj	gemj	kj <>0	kj =0
Beekdalbos	<i>Alno-Padion</i>	1944	1955	1950	2	12
	<i>Alnion</i>				0	7
Stagnatiebos	<i>Carpinion</i>				0	0
Dekzandbos (incl. ongevormd bos)	<i>Quercion</i>				0	14
	<i>Betulion</i>	1955	1955	1955	3	5
	<i>Dicrano-Pinion</i>				0	1

2.3 Groeiplaats

In deze paragraaf worden de verschillende groeiplaatsen van de vochtige bossen beschreven waarbij de hiërarchische indeling van landschappen en hoofdcategorieën vochtig bos als uitgangspunt dienen.

Tabel 2.6: Fysiotopen van vochtige bossen met hun belangrijkste abiotische kenmerken en toedeling aan landschappen. De landschapsindeling wordt toegelicht in hoofdstuk 3. De hoofdcategorieën vochtig bos in § 2.1.1; de aanduiding 'geen focus' betreft groeiplaatsen die bij de verdere bespreking van vochtige bossen buiten beschouwing blijven. Voor de codering van bodemtypen zie paragraaf 2.3.2 en van humusvormen paragraaf 2.3.3.

Table 2.6: Fysiotope types of moist forests with main abiotic features and assignment to landscape types ("Landschappen"). The latter are explained in chapter 3. For categories of moist forests: see § 2.1.1; 'no focus' denotes habitats not considered. For soil types ("bodemtypen") see § 2.3.2 and for humus forms §2.3.3.

Landschappen	Fysiotopen	Categorie vochtig bos	GHG	GLG	Bodemtypen	Humusvormen
Beekdal-landschap	Natte beekdalen	Beekdalbos	<10	30-60	W, pZg, V	Beekmesimor, Beekeerdmoder, Moereerdmoder
	Verdroogde bronnen	(geen focus)	<10	30-70	W, pZg, V	Meereerdmoder, Moereerdmoder
	Verdroogde kleine rivieren beekdalen	Beekdalbos	<45	>60	pZg, Rn, V, W	Hydromull, Moereerdmoder
	Kleiïge beekvlakten	Stagnatiebos	<45	>75	Rn, kpZg, kpZn, kZn	Hydromull
Grondmorene - en terrassen-landschap	Keileemplateaus (met dekzanddek)	Stagnatiebos	0-55	>150	Hnx, pZnx	Moder, (xero)Mormoder
	Oude leemopduikingen (keileem en potklei)	Stagnatiebos	0-25	>110	KX, pZgx	Wormmull (zure, ecto), Hydromull
	Oude kleiïge riviervlakten en terrassen	Stagnatiebos	10-80	>100	Rn, BK	Hydromull, Wormmull (zure, ecto)
	Oude zandige rivierterrassen	(geen focus)	30-100	>140	Hn, Zb, Zd	Moder, Mormoder
	Laagten in rivierduinen	Stagnatiebos	20-75	>130	Hnt, Znt	Vaagzandmull, Mormoder
Dekzand-landschap	Dekzandlaagten	Dekzandbos	0-80	>50	Hn, pZn, W	Moder, Mormoder
	Verdroogde hoogvenen	Dekzandbos	0-20	30-130	W, V	Gliedemesimor, Moermesimor
	Dekzandvlakten (verspoeld)	Dekzandbos, Stagnatiebos	0-50	>50	pZg, pZn, Zn, pZgt, pZnt, Znt, pLn	Zandmulls, Hydromulls, Moder, Mormoder
Stuifzand-landschap	Uitgestoven laagten	(geen focus)	0-85	>150	Znx, Hnx, Zdx (of suffix t,l)	Mormoder, Moerhydromullmoder
	Overstoven laagten en hoogvenen	(geen focus)	0-90	>90	Zn, Zdv	Mormoder
Stuwval-landschap	Verdroogde bronnen	(geen focus)	<10	30-70	W, pZg, V	Hydromulls, Meereerdmoder, Moereerdmoder,
	Lemige voetzones	Beekdalbos	10-50	>70	pZg, pZn, Ln5	Hydromull, Ecto-Wormmull, Moder

2.3.1 Fysiotopten

Vochtige en natte omstandigheden in het pleistocene zandgebied komen voor in fysiotopten die hun vochtigheid vooral ontleen enerzijds aan lemig moedermateriaal (oude kleien en lemen: *Carpinion*) of de invloed van grondwater (beekdalen en -vlakten: *Alnion*, *Alno-Padion*) en anderzijds leemarme, zandige fysiotopten die vooral afhankelijk zijn van stagnerende lagen met hooguit invloed van lokale grondwaterstromen (dekzandfysiotopten: *Betulion*, *Quercion*). Op grond van geomorfologische karakteristieken (reliëf en relatieve hoogteligging), bodem en grondwaterregimes zijn verschillende groeiplaatstypen van vochtige bossen te onderscheiden. De volgende fysiotopten vormen een verfijning van de indeling zoals die in SYNBIOSYS gehanteerd wordt (de Waal, 2007). In Tabel 2.6 zijn de fysiotopten en de daarin voorkomende bodemtypen weergegeven.

Beekdallandschap

Het Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*; *Alno-Padion*) is een bostype van **Natte beekdalen** dat wij tot de vochtige bossen rekenen. Ook verdroogd elzenbroek (*Alnion*-rompgemeenschappen) beschouwen we als vochtig bos. De groeiplaats kan nog regelmatig voor korte duur worden overstroomd en de invloed van basenrijk grondwater is ook in drogere perioden nog steeds merkbaar. De bodems en humusvormen hebben meestal nog een sterk venig karakter.

Functionerende bronnen hebben hoge grondwaterstanden en een klein verschil in GHG en GLG. **Verdroogde bronnen** hebben een (sterk) verlaagde GLG. De voorkomende vegetatietypen zijn onderdeel van een verdrogingsreeks vanuit het Elzen- en Essenbronbos (*Chrysosplenio oppositifolii-Alnetum* en *Carici remotae Fraxinetum*) via Vogelkers-Essenbos of Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum*) naar elzenbroekbosromp. Het dominante bodemtype is de broekerdgrond (vW) waarvan de bovengrond uit amorf moerig materiaal bestaat met een hoge basenverzadiging. De humusvorm is meereerdmoder (D: 'Anmoor'). Bij verdroging mineraliseert en verzuurt de humusvorm langzaam waarbij zich op den duur bovenop de anmoor-laag een strooiselprofiel kan ontwikkelen.

Verdroogde kleine rivier- en beekdalen omvatten zowel beekdalen met een moerig bodem als meer minerale, leemrijke beekdalen. De meeste dalen worden nog beïnvloed door grondwater. In de moerige beekdalen is de minerale ondergrond meestal lemig (inclusief leemlagen). Hier komen vooral verdroogde broekbossen voor. In de minerale beekdalen komt het Vogelkers-Essenbos regelmatig tot ontwikkeling na verdroging, met overgangen naar het Eiken-Haagbeukenbos dat geheel buiten het overstromingsbereik ligt. Na verdroging kunnen de moerige lagen mineraliseren en daardoor geleidelijk verdwijnen waarbij beekerdgronden ontstaan. De humusontwikkeling op deze beekerdgronden is door goed verteerbaar strooisel in combinatie met een hoge basenverzadiging beperkt tot de minerale bovengrond zonder vorming van een dikke strooisellaag (minerale hydromulls). Zolang er nog sprake is van enige overstromingsinvloed blijft de vorming van een permanente terrestrische strooisellaag achterwege. Vrijwel alle venige beekdalen zijn minder verdroogd dan de minerale beekdalen. In de venige beekdalen vormt niet de minerale hydromull het dominante humusvormtype maar de meereerdmoder.

Kleiige beekvlakten verschillen van verdroogde beekdalen door het geheel ontbreken van directe overstromingen, ook bij extreem hoge beekafvoer. Het zijn Laat-Pleistocene of Vroeg Holocene terreinvormen. Bovendien ontbreken in het algemeen broekbosrompen op moerige bodems. De beekafzettingen komen voor op ondiepe kleilagen of hebben een kleidek dat op deze groeiplaats als stagnerende laag fungeert. Het Eiken-Haagbeukenbos (sensu Van der Werf, 1991) en daarmee 'stagnatiebos' is hier het karakteristieke bostype. Beekerdgronden met kleidek en poldervaaggronden zijn de meest voorkomende bodemtypen. Evenals in de verdroogde beekdalen is de hydromull (hydromorfe, minerale humusprofielen zonder strooiselvorming) de dominante humusvorm. De overige, niet-kleiige vlakten bedekt met verspoelde (niet-stagnerende) dekzanden zijn tot het dekzandlandschap gerekend.

Grondmorene- en terrassenlandschap

Keilemplateaus zijn veelal overdekt met zwak lemig of leemarm dekzand. In de leemarme dekzanden hebben zich vooral op arme keileem in Drenthe, podzolen ontwikkeld. Door stagnatie op de keileem komen hoge wintergrondwaterstanden en extreem lage zomerwaterstanden voor. Door de combinatie van dekzanddek, arm keileem en het ontbreken van kwel op deze plateaus hebben zich voedselarme typen vochtig bos ontwikkeld: Berken-Zomereikenbos (*Betulo Quercetum*) en Eiken-Beukenbos (*Fago-Quercetum*) beide met *Molinia*-dominantie. In situaties waar infiltrerend regenwater op een basenrijk(er) keilempakket

stagneert, komen armere of rijkere vormen van het Eiken-Haagbeukenbos voor (subassociatie *periclymenetosum* resp. *typicum*). De humusvorm bestaat voornamelijk uit goed ontwikkelde xeromormoders en op de iets rijkere groeiplaatsen xeromoders.

Oude leemopduikingen (keileem en potklei) staan regelmatig onder invloed van grondwater of aangerijkt stagnatiewater. Kenmerkend is de combinatie van hoge grondwaterstanden in het winterseizoen en zeer lage in het zomerseizoen (zie ook keileemplateaus). De bodems bestaan uit keilemen en potkleien zonder vrije Ca maar met een meestal hoge basenverzadiging. Bij verdroging verzuurt de bovengrond zeer langzaam en kunnen zich dunne ectorganische humusprofielen ontwikkelen (ecto wormmull). De vegetatieontwikkeling leidt bij verdroging tot een arm Eiken-Haagbeukenbos.

Oude kleiige riviervlakten en -terrassen staan niet meer onder rivierinvloed en bestaan uit licht kleiige, ontkalkte oude poldervaaggronden (bodemtype KRn). Bij verdroging blijft dankzij het kleigehalte de basenvoorziening nog zeer lang op peil. Verdroogde delen moeten hier niet worden verward met de vanouds hoger gelegen en dus drogere delen van de voormalige riviervlakte met ooivaaggronden (bodemtype KRd) met bijv. adelaarsvaren. De riviervlakten zijn in het algemeen droger dan de beekvlakten en -dalen. Broekbosrompen ontbreken dan ook. Het Eiken-Haagbeukenbos overheerst, vaak in mozaïek met Gierstgras-Beukenbos of Beuken-Eikenbos op de hogere delen. De oude riviervlakten en terrassen hebben door hun lagere grondwaterstanden niet de hydromulls als dominante humusvormen maar (zure) wormmulls.

Zandige oude rivierterrassen en laagten in rivierduinen hebben bodems die zijn gevormd in dekzand of stuifzand. De lemiger rivierafzettingen vormen een stagnerende laag met veldpodzolen of vorstsvaaggronden waarop arme vochtminnende bossen voorkomen. Typerend is het veelvuldig voorkomen van vegetaties van het Eikenverbond met braamdopdominantie. Rompgemeenschappen met Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) komen minder vaak voor. Verdroging leidt tot droge *Quercion*-vegetaties. Zowel moders als mormoders met een matig dikke ectorganische laag zijn karakteristieke humusvormen.

Dekzandlandschap

Dekzandlaagten kunnen sterk in vochtigheid verschillen en omvatten verdroogde vennen met *Molinia*-rompgemeenschappen (*Betulion*) op moerige bodems en veldpodzolen met *Molinia*-dominantie (*Quercion*, zowel Berken-Eikenbos en Beuken-Eikenbos). De humusprofielen in de *Betulion*-rompen zijn gliede-eerdmoders met een ectorganische laag. Aan de droge kant ontwikkelen zich matig dikke humusmormoders, soms ook holmormoders met een dikke amorfe fijne humuslaag, de H-laag (Beuken-Eikenbos). Door de ontwikkeling van deze H-laag wordt het vochthoudend vermogen in ouder wordende bossen weer verhoogd. In **Verdroogde hoogvenen** kan de veenbodem zich nog lang handhaven. Na verdere verdroging ontstaat een oligotrofe 'veraarde' laag (gliedelaag) met oppervlakkige stagnatie. Bos op verdrogende veenbodem heeft een vegetatie met berken, Pijpenstrootje en mesotrafente veenmossoorten zoals Gewimperd veenmos (*Sphagnum fimbriatum*) en Gewoon veenmos (*S. palustre*). Bij verdere verdroging verdwijnen de veenmossen en ontwikkelt zich een Berken-Eikenbos (subassociatie *molinetosum*). De meest voorkomende humusvormen zijn de gliedemesimor al dan niet met een dunne tot matig dikke strooisellaag (L en F: L is de onaangtaste strooisellaag en F de halfverteerde strooisellaag waarin de afzonderlijk plantaardige resten nog herkenbaar zijn).

Dekzandvlakten (verspoeld) zijn o.a. beekoverstromingsvlakten zonder actuele beekinvloed en zonder kleiige bovengrond (kleidek). Zij zijn ontstaan vlak na de laatste ijstijd in perioden met verhoogde erosie. De oorspronkelijk lemige afzettingen (bijv. Brabantse leem) zijn later overdekt met leemarm tot lemig verspoeld dekzand. Hierin verschillen ze van de kleiige beekvlakten (zie onder Beekdallandschap). De dekzandvlakten vertonen overeenkomst met dekzandlaagten, wat betreft hun vegetatie- en humusontwikkeling. In het algemeen ontbreken moerige elzenbroekbosrompen. Verdroging leidt op de meest zandige beekvlakten tot *Quercion*-bossen. De meest voorkomende bodemtypen in dit fysiotoop zijn beekerdgronden, gooreerdgronden en vlakvaaggronden, maar ook leemgronden komen wel voor. In verdroogde situaties gaan deze bodems functioneren als gooreerdgronden. In de leemarme niet verdroogde beekvlakten komen als humusvorm vooral moders voor. In verdroogde situaties kunnen matig dikke humusmormoders ontstaan.

Stuifzandlandschap

Uitgestoven laagten hebben een dun stuifzanddek op een meestal rijkere, vaak lemiger ondergrond, veelal fluvioglaciaal, of zijn uitgestoven tot op het grondwaterniveau. Hierdoor zijn ze (periodiek) vochtiger dan hun omgeving. In deze stagnerende of meer permanent relatief vochtige laagten ontwikkelt zich een door Pijpenstrootje gedomineerd Berken-Eikenbos. In stuifzandbebossingen kunnen zich dankzij geringe stagnatie door overstuiving ('opstuiving' sensu Koster(1978)) van fluvioglaciaal of leemarme, compacte (uitgestoven) dekzandlagen, in combinatie met een koel microklimaat, lokaal stuifzandveentjes ontwikkelen (Bijlsmaet al., 2011) met karakteristieke soorten zoals Gerafeld veenmos (*Sphagnum girgensohnii*) en Bosveenmos (*S. quinquefarium*). In de meest vochtige laagten kan een humusvorm ontstaan met een strooisellaag op een dunne gliedelaag (moerhydromullmoder). In de minder vochtige varianten ontstaat een (xero)mormoder.

Bodems van **Overstoven laagten en hoogvenen** kunnen enigszins stagneren op 'begraven' dikke humuspodzolen of moerige lagen. De zgn. forten, overstoven vochtige laagtes waarvan de omgeving is uitgestoven waardoor een relatief vochtig plateau ontstaat, behoren ook tot deze fysiotoop. De hier ontstane humusvorm bestaat uit een dikke tot matig dikke strooisel laag en behoort tot de xeromormoders.

Stuwwallandschap

Verdroogde bronnen en lemige voetzones omvatten zowel verdroogde bronnen als de wel door grondwater gevoede overgangen naar aangrenzende fysiotoepen. Door hun lemigheid en de invloed van grondwater kunnen zich op in de voetzones van stuwwallen vochtige bossen ontwikkelen.

2.3.2 Bodemtypen

De belangrijkste vochtindicerende bodemtypen in bossen zijn (zie Tabel 2.6) veengronden en moerige gronden (V en W), gooreerdgronden (pZn), vlakvaaggronden (Zn), beekkeerdgronden (pZg), poldervaaggronden (Rn, KRn) en veldpodzolgronden (Hn). Tabel 2.7 geeft een toelichting op veel voorkomende bodemcodes.

Bij veldpodzolen is alleen sprake van vochtige omstandigheden als er een stagnerende ondergrond aanwezigheid is (Hnx, Hnt). Minerale gronden met hydromorfe kenmerken, met name de veldpodzolgronden, kunnen zo verdroogd zijn dat ze niet meer als vochtige groeiplaats fungeren. Ook de hydromorfe kenmerken in de overige bodems zijn geen garantie voor vochtige omstandigheden, omdat deze aan hoge grondwaterstanden gekoppelde bodemkenmerken ook na verdroging nog lang zichtbaar blijven. Bodemtype en grondwaterstand moeten dus altijd samen worden beoordeeld.

De lemigheid of het kleigehalte speelt ook een rol in de vochthoudenheid van de bodem. In het algemeen geldt dat leemrijke gronden capillaire nalevering van vocht bevorderen: in lemige of kleiige gronden kan de vochtleverantie bij diepere grondwaterstanden langer op peil blijven. In de beekfysiotoepen bestaan de bodems grotendeels uit lemige zanden, lemen en lichte kleien. In de dekzandfysiotoepen kunnen ook op zwak lemige gronden vochtige bossen voorkomen; dit komt zelden voor op leemarme bodems (zie § 2.3.1. Stuifzandlandschap). Hoge grondwaterstanden of langdurige stagnatie van neerslagwater moeten hier de geringe vochthoudendheid van de bodem compenseren.

Tabel 2.7: Veelvoorkomende codes van bodemtypen in de vochtige bossen.

Table 2.7: Commonly used codes of soil types in moist forests.

KX, KT	Keileemgronden en Terraskleigronden
pZg., pZn..	Beekeerdgronden en Gooreerdgronden, met resp. zonder roestvlekken binnen 35 cm
Zn..	Vlakvaaggronden
Hn..	Veldpodzolgronden
...21	Leemarm zand
...23	Lemig zand
W	Moerige gronden
Wp	Moerige podzolgronden
V	Veengronden
Rn, pRn	Poldervaaggronden zonder resp. met donkere humushoudende bovengrond

KRn	Oude rivierkleigronden (kalkloze poldervaaggronden)
Ln, pLn	Vochtige lössleemgronden zonder resp. met donkere humushoudende bovengrond
...x,t	Keileem of terrasklei binnen 1,2 m
...v	Veenlaag binnen 1,2 m
f...	Bodem met ijzeraanrijking
k...	Bodem met kleidek

2.3.3 Humusvormen

Een humusvorm is een combinatie van lagen op of in het bovenste deel van de bodem waarin organische resten voorkomen al dan niet gemengd met minerale bestanddelen (Green et al., 1993). De humusvorm omvat dus zowel het strooisel in diverse stadia van omzetting als de organische-stofhoudende delen van de minerale bovengrond. De organische stof wordt omgezet (gemineraliseerd) door bodemorganismen. Naast deze omzettingsprocessen treden ook uit- en inspoelingsprocessen van disperse humus op.

Er worden diverse humuslagen (humushorizonten) onderscheiden die slechts ten dele terug te vinden zijn in de traditionele bodembeschrijvingen. De opeenvolging van humushorizonten op een specifieke plek wordt het humusprofiel genoemd. De typering hiervan leidt tot humusprofieltypen. Het humusmateriaal zelf wordt aangeduid met de term humustype. Voor de classificatie van de humusvormtypen of humusvormen wordt de minerale bodem of veenbodem maximaal tot een diepte van 40 cm in beschouwing genomen (Green et al., 1993; Van Delft et al, 2006). In tabel 2.8 worden de belangrijkste horizonttypen met hun codes vermeld. Voor verdere details wordt verwezen naar de 'Field guide Humusforms' (Van Delft et al. 2006).

Tabel 2.8: Veelvoorkomende codes van humusvormen in de vochtige bossen.

Table 2.8: Main codes used in humus form types in moist forests.

codering	omschrijving	kenmerkend voor:
L	Horizont bestaande uit vrijwel onverteerd strooisel	geen onderscheidend kenmerk
F	Horizont bestaande uit deels afgebroken strooisel waarvan de herkomst nog herkenbaar is	moders en mormoders
...z of ...az	Toevoeging voor F-laag en H-laag met hoge activiteit van meso- bodemfauna	moders, mullmoders
...a	Toevoeging van F-laag die deels door schimmels deels door mesofauna is afgebroken	Mormoders
Hr	Meestal donkerbruine horizont bestaande uit fijne humus, waarvan nog een klein deel als plantenrest herkenbaar is	moders, mormoders
Hh	Zwarte, compacte humushorizont vrijwel geheel bestaande uit amorf gehumificeerd materiaal	Mormoders
Ah(z)	Minerale humushorizont met hoge activiteit van de bodemfauna	mulls, mullmoders
Ahe	Minerale humushorizont met matige activiteit van (meso-)bodemfauna	moders, mormoders
AE	Minerale humushorizont met gering activiteit bodemfauna en uitspoelingsverschillen	Mormoders
AC ...g	Zwak ontwikkelde minerale humushorizont Minerale humushorizonten met hydromorfe kenmerken	vaagmulls, vaagmoders hydromulls, -moders en -mullmoders
Oh	Veraarde veen-humushorizont	verdroogde broekbossen
Og	Basenrijke, amorfe semiterrestrische horizont	meereerdmoder (bronnen)
AO	Grotendeels gemineraliseerde veenrest	moermoders (verdroogde broekbossen)

In tabel 2.6 staan de voor vochtige bossen karakteristieke humusvormen genoemd in relatie tot landschaps- en bodemtypen. Zie kader 2.1 voor een nadere beschrijving van deze humusvormen in vochtige bossen. Binnen de vochtige bossen ontbreken de meest extreme humusvormen zoals de waterverzadigde inclusief de voor broekbossen kenmerkende venige semiterrestrisch humusvormen. Indien ze wel worden aangetroffen, gaat het om sterk aan afbraak onderhevige veenresten uit een natter verleden. Aan het andere eind van het

spectrum ontbreken de humusvormen met dikke weinig omgezette, ruwe strooisellagen zoals aan te treffen in arme droge (naald)bossen. In de vochtige bossen is de activiteit van de bodemfauna hoger dan in droge bossen waardoor vooral mull tot moderachtige humusvormen prevaleren.

Kader 2.1. Lijst van meest voorkomende hoofdgroepen van humusvormen in de vochtige bossen.

Box 2.1: List of most abundant main groups of humus types.

Hydromulls: Minerale hydromorfe humusvormen die periodiek binnen 25 cm diepte waterverzadigd zijn en waarbij ectorganische humusontwikkeling (F,H) nagenoeg geheel ontbreekt. Kenmerkend is de Ahg- of ACg-horizont;

Hydromoders: Hydromorfe humusvormen die periodiek binnen 25 cm diepte waterverzadigd zijn en een ectorganische laag (Fz, Faz, Hr) hebben van minstens 2 cm dikte;

Moermoders, moermullmoders: Humusvormen met dunne moerige laag op een hydromorfe minerale humushorizont (veenrest);

Mesimors (beek-, veen-): Semiterrestrische humusvormen bestaande uit onveraard veen (broekbossen)

Eerdmoders (beek-, veen-, meer-): Semiterrestrisch humusvormen bestaande uit veraard veen (verdroogd veen met hoge activiteit van de bodemfauna). Meereerdmoders zijn kenmerkend voor niet-verdroogde bronnen.

Mulls (ecto-, kalk, zure en vaag-): Minerale humusvormen waarbij ectorganische humusontwikkeling (F,H) geheel of vrijwel ontbreekt; hydromorfe kenmerken ontbreken binnen 25 cm. De Ah is de meest kenmerkende horizont;

Mullmoders: Humusvormen met ectorganische laag (F,H) gecombineerd met een dikkere minerale humushorizont (Ah);

Moders (bos-, humus-, vaag-): Humusvormen met ectorganische laag met een hoge activiteit van meso-bodemfauna (Fz,Faz, Hz) dikker dan de minerale humuslaag (Ah of Ahe);

Mormoders (bos, humus, vaag, holt): Humusvormen gedomineerd door ectorganische lagen met matig tot geringe activiteit van de bodemfauna waarin de afbraak voor een groot deel door schimmels plaats vindt. De minerale humushorizont is in zekere mate onderhevig aan uitspoeling (Ahe, AE);

Zie voor overige vormen en subvormen Van Delft et al. (2006).

2.4 Vegetatie

2.4.1 Bosgemeenschappen

Voor alle vochtige bostypen geldt dat overgangen zowel naar de natte als de droge kant voorkomen. Toch zijn beide grenzen typologisch redelijk goed te duiden. Tabel 2.9 geeft een overzicht van de bosgemeenschappen waartoe de in dit rapport besproken typen vochtig bos gerekend kunnen worden. De indeling is volgens De Vegetatie van Nederland (DVvN; Hommel et al., 1999a, 1999b; Stortelder et al., 1999a, 1999b; 1999c). Tabel 2.10 geeft weer welke van deze vegetatietypen kwalificeren als Natura 2000-habitatype.

Tabel 2.9: Vegetatietypen vochtige bossen (indeling volgens De Vegetatie van Nederland; zie echter Nadere toelichting Carpinion). RG = Rompgemeenschap; SA = subassociatie. (X) minder belangrijk bostype op de betreffende standplaats.

Table 2.9: Vegetation types defining moist forests (following De Vegetatie van Nederland). RG: basal community; SA: subassociation. (X) less important type within the category.

Vegetatietype	Categorie vochtig bos		
	Beekdalbos	Stagnatiebos	Dezandbos
Verbond der elzenbroekbossen (<i>Alnion glutinosae</i>) binnen de Klasse der elzenbroekbossen (<i>Alnetea glutinosae</i>)			
RG Hennegras van het Elzenbroekbos (<i>RG Calamagrostis canescens-[Alnion glutinosae]</i>)	(X)		
RG Grote brandnetel van het Elzenbroekbos (<i>RG Urtica dioica-[Alnion glutinosae]</i>)	X		
Verbond van Els en Vogelkers (<i>Alno-Padion</i>) binnen de Klasse der eiken- en beukenbossen op voedselrijke grond (<i>Querco-Fagetea</i>)			
RG Grote brandnetel van de Vochtige Elzen-Essenbossen (<i>RG Urtica dioica-[Circaeo-Alnenion]</i>)	X		
Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	X		
Haagbeuken-verbond (<i>Carpinion betuli</i>) binnen de Klasse der eiken- en beukenbossen op voedselrijke grond (<i>Querco-Fagetea</i>)			
Typische SA van het Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)		X	
SA van Witte klaverzuring van het Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum oxalidetosum</i>)	(X)	X	
Zomereik-verbond (<i>Quercion roboris</i>) binnen de Klasse der eiken- en beukenbossen op voedselarme grond (<i>Quercetea robori-petraeae</i>)			
RG Gewone braam van het Zomereik-Verbond (<i>RG Rubus fruticosus-[Quercion roboris]</i>)	(X)		X
SA van Pijpestrootje van het Berken-Eikenbos (<i>Betulo-Quercetum roboris molinietosum</i>)			X
SA van Pijpestrootje van het Beuken-Eikenbos (<i>Fago-Quercetum roboris molinietosum</i>)			(X)
Verbond der berkenbroekbossen (<i>Betulion pubescentis</i>) binnen de Klasse der berkenbroekbossen (<i>Vaccinio-Betuletea pubescentis</i>)			
RG Pijpestrootje van het Berkenbroekbos (<i>RG Molinia caerulea-[Betulion pubescentis]</i>)			X
RG Wilde gage van het Berkenbroekbos (<i>RG Myrica gale-[Betulion pubescentis]</i>)			(X)
Verbond der naaldbossen (<i>Dicrano-Pinion</i>) binnen de Klasse der naaldbossen (<i>Vaccinio-Piceetea</i>)			

RG Gewone braam van het Verbond der naaldbossen (RG <i>Rubus fruticosus</i> -[<i>Dicrano-Pinion</i>])			X
SA van Pijpestrootje van het Kussentjesmos-Dennenbos (<i>Leucobryo-Pinetum molinietosum</i>)			X
SA van Kraaiheide van het Kussentjesmos-Dennenbos (<i>Leucobryo-Pinetum empetretosum</i>)			(X)

***Nadere toelichting Carpinion:** In De Vegetatie van Nederland (Stortelder et al. 1999c: p. 319) wordt het Gierstgras-Beukenbos (*Milio-Fagetum*) (o.a. Van der Werf, 1991; Pott, 1995) op grond van floristische argumenten ondergebracht bij de subassociatie oxalidetosum van het Eiken-Haagbeukenbos. Het Gierstgras-Beukenbos als bosecosysteem komt echter alleen voor op goed-gedraineerde (löss)leemgronden, bijv. als hellingbos, terwijl het Eiken-Haagbeukenbos als bosecosysteem (o.a. Van der Werf, 1991; Pott, 1995; Ellenberg & Leuschner, 2010) alleen voorkomt op vlakke, stagnerende leembodems ('feuchten Grund- und Stauwasserböden in Lehmgebieten', Pott, 1995:p. 553). In deze zin wordt 'stagnatiebos' in dit rapport beschouwd als Carpinion excl. Gierstgras-Beukenbos. Ook de Interpretation Manual of European Union Habitats (EC 2013) spreekt voor habitattypen 9160 (Sub-Atlantic and medio-European oak or oakhornbeam forests of the Carpinion betuli) van 'hydromorphic soils or soils with high water table (bottoms of valleys, depressions or in the vicinity of riparian forests)'. In het profielendocument van H9160_A (versie maart 2009) geldt voor de subassociatie oxalidetosum van DVvN dan ook als beperkend criterium 'mits op hydromorfe bodems'.

Tabel 2.10: Relatie besproken typen vochtig bos met Natura 2000 habitattypen en leefgebieden. RG = Rompgemeenschap; SA = subassociatie.

Table 2.10: Relationships between the defining vegetation types of moist forest and Natura 2000 woodland habitat types (H-codes) and additional fauna habitats (Lg-codes; Dutch extension).

Vegetatietypen vochtig bos	Natura 2000 habitattypen en leefgebieden								
	H7120	H7110A	H9120	H9160A	H9190	H91D0	H91E0C	Lg 13	Lg 14
Verdroogd Alnion									
RG Hennegrass van het Elzenbroekbos						X	X		
RG Grote brandnetel van het Elzenbroekbos							X		
Alno-Padion									
RG Grote brandnetel (Vochtige Elzen-Essenbossen)							X		
Vogelkers-Essenbos				X			X		
Carpinion									
Typische SA van het Eiken-Haagbeukenbos				X					
SA van Witte klaverzuring van het Eiken-Haagbeukenbos (met hydromorfe bodemkenmerken: kamperfoelrijk Eiken-Haagbeukenbos)				X					
SA van Witte klaverzuring van het Eiken-Haagbeukenbos (zonder hydromorfe bodemkenmerken: Gierstgras-Beukenbos)			X						
Quercion									
RG Gewone braam van het Zomereik-Verbond								X	X
SA van Pijpestrootje van het Berken-Eikenbos					X			X	
SA van Pijpestrootje van het Beuken-Eikenbos			X						X
Verdroogd Betulion									
RG Pijpestrootje van het Berkenbroekbos						X			
RG Wilde gagel van het Berkenbroekbos	X					X			

Vegetatietypen vochtig bos	Natura 2000 habitattypen en leefgebieden								
	H7120	H7110A	H9120	H9160A	H9190	H91D0	H91E0C	Lg 13	Lg 14
Dicrano-Pinion									
DG Gewone braam van Verbond der naaldbossen								X	
SA van Pijpestrootje van Kussentjesmos-Dennenbos								X	
SA van Kraaiheide van Kussentjesmos-Dennenbos								X	

*Toelichting habitattypen en leefgebieden. H7110A: Actieve hoogvenen (hoogveenlandschap); H7120: Herstellende hoogvenen; H9120 Beuken-eikenbossen met hulst; H9160A Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden); H9190 Oude eikenbossen; H91D0 Hoogveenbossen; H91E0C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen); Lg 13 Bos van arme zandgronden (excl. H9190); Lg 14 Eiken- en beukenbos van lemige zandgronden (excl. H9120).

Aan de natte kant waar het grondwater jaarrond boven of niet ver onder maaiveld staat, komen elzenbroekbossen (*Alnion glutinosae*) en berkenbroekbossen (*Betulion pubescentis*) voor. Min of meer gave voorbeelden van deze bostypen behoren *niet* tot de vochtige, maar tot de natte bossen en blijven in dit rapport verder onbesproken. Dit geldt eveneens voor het broekbostype van licht verdroogde beekdalen: het Frambozen-Elzenbroek (*Carici elongatae rubetosum idaei*). Wanneer de broekbosbodem sterker verdroogd is, treedt een ontwikkeling op in de richting van andere bosklassen en -verbonden. De bijbehorende eerste degradatiestadia kunnen worden geclassificeerd als rompgemeenschappen binnen de broekbos-verbonden. Deze veelal zeer soortenarme bossen worden hier *wel* tot de vochtige bossen gerekend. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de aanwezigheid van een dergelijke rompgemeenschap in een broekbosmilieu niet automatisch op ernstige verdroging duidt. Zo kan extreme eutrofiëring van een beekdalbroekbos ook onder niet-verdroogde omstandigheden leiden tot het ontstaan van de rompgemeenschap van Grote brandnetel (*Urtica dioica*). In een dergelijk geval is er uiteraard geen sprake van een vochtig bos, maar van een (gedegrad) nat bos.

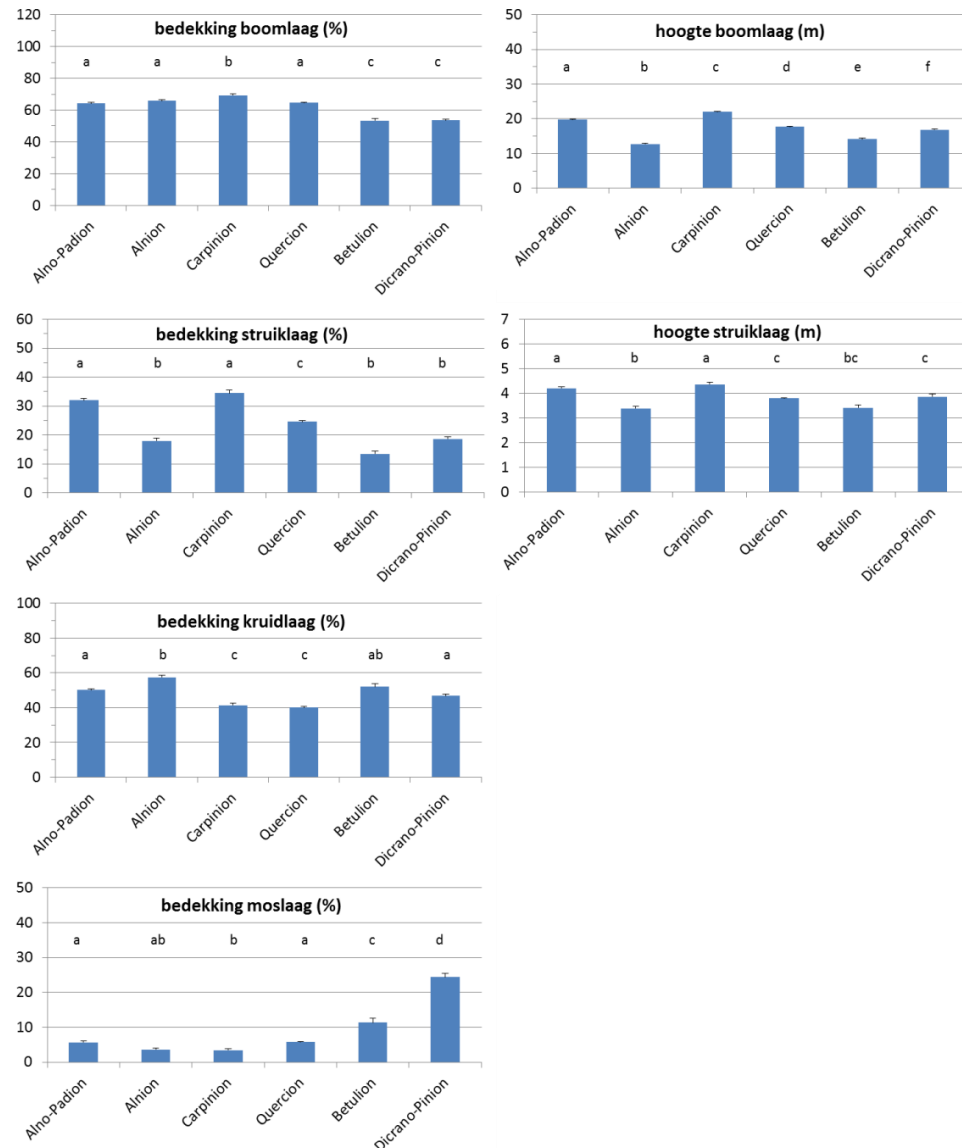
De vegetatiekundige afgrenzing van de vochtige bossen ten opzichte van de droge bossen is iets gecompliceerder. Hier vinden wij namelijk bossen uit vier verschillende vegetatie-verbonden: het *Alno-Padion*, het *Carpinion betuli*, het *Quercion roboris* en het *Dicrano-Pinion*. Binnen het *Alno-Padion* gaat het hierbij om twee associaties en één rompgemeenschap uit het onderverbond *Circae-Alnenion*. Alle drie zijn nagenoeg beperkt tot vochtige standplaatsen. In dit rapport wordt de aanduiding *Alno-Padion* voor vochtig bos gebruikt voor typen van het onderverbond *Circaea-Alnenion*. Binnen het *Quercion roboris* en het *Dicrano-Pinion* gaat het vooral om specifieke subassociaties (met Pijpenstrootje) die binnen drie overigens "droge" associaties zijn onderscheiden. In alle drie de gevallen is de subassociatie met Pijpenstrootje indicatief voor een vochtige groeiplaats, maar zeker niet strikt daaraan gebonden. Ze kan ook onder droge omstandigheden ontstaan, bijvoorbeeld door bodemverdichting na berijding met zwaar materieel. Binnen het *Quercion roboris* is voorts een rompgemeenschap met braam beschreven die onder zowel vochtige als droge omstandigheden kan optreden.

Binnen het *Carpinion betuli* is op de hogere zandgronden de typische subassociatie (incl. het kamperfoelierijk Eiken-Haagbeukenbos bij Van der Werf, 1991) indicatief voor wisselvochtige (stagnerende) omstandigheden meestal op sterk lemige bodems in beekoverstromingsvlaktes, op verspoeld lemig dekzand, keileem en oude rivierklei (Natura 2000-habitatype H9160A) (zie ook hierboven onder Nadere toelichting *Carpinion*).

2.4.2 Bosstructuur

Gelaagdheid

Vochtige bossen verschillen opvallend in gelaagdheid tussen de verschillende bostypen (Figuur 2.4). De gemiddelde hoogte van de boomlaag neemt af van *Carpinion* (22.0 m) > *Alno-Padion* (19.7 m) > *Quercion* ~ *Dicrano-Pinion* (16.8-17.7 m) > *Betulion* (14.1 m) > *Alnion* (12.7 m). De typen met de oudste eikenopstanden zijn ook het hoogst (vergelijk Tabel 2.3). De boomlaag van de verdroogde *Betulion*- en *Alnion*-bossen zijn het laagst. Qua bedekking van de boomlaag staan opnieuw de *Carpinion*-bossen bovenaan met bijna 70%; de jonge bossen van het *Betulion* en *Dicrano-Pinion* hebben de laagste bedekking, iets meer dan 50%. De overige typen hebben een vergelijkbare dicht kronendak.



Figuur 2.4: Gemiddelde bedekking (%; met standaardfout) van de boom-, struik-, kruid- en moslaag en gemiddelde hoogte (m; met standaardfout) van de boom- en struiklaag in vegetatietypen van vochtige bossen op grond van opnamen in de LVD (met geschatte bedekking boomlaag > 0). Verschillende letters boven de staven wijzen op significante verschillen (ANOVA met Bonferroni multiple comparisons, SPSS Statistics 20).

Figure 2.4: Mean cover (%; with standard error) of tree, shrub, herb and moss layer and mean height (m; with standard error) of the tree and shrub layer of vegetation types defining moist forests (see Table 2.9), based on relevées in the National Vegetation Database. Different letters denote significant differences.

De gemiddelde hoogte van de struiklaag geeft ook significante verschillen te zien tussen enerzijds *Carpinion* en *Alno-Padion*, gemiddeld boven de 4 m, en anderzijds de overige typen met een gemiddeld lagere struiklaag, maar de verschillen zijn uiteraard aanzienlijk kleiner dan in de boomlaag. Grotere verschillen zijn er in gemiddelde bedekking van de struiklaag waarbij *Carpinion* en *Alno-Padion* boven de 30% uitkomen, het *Quercion* rond de 25% ligt en de overige bostypen onder de 20% komen, het *Betulion* zelfs onder de 15%. Samengevat zijn de stagnatiebossen het hoogst en het rijkst gestructureerd, gevolgd door de beekdalbossen, met name de *Alno-Padion*-component hiervan. De dekzandbossen op de armste gronden en met veel lichtboomsoorten zijn aanzienlijk lager, zijn minder gelaagd en hebben een hollere structuur.

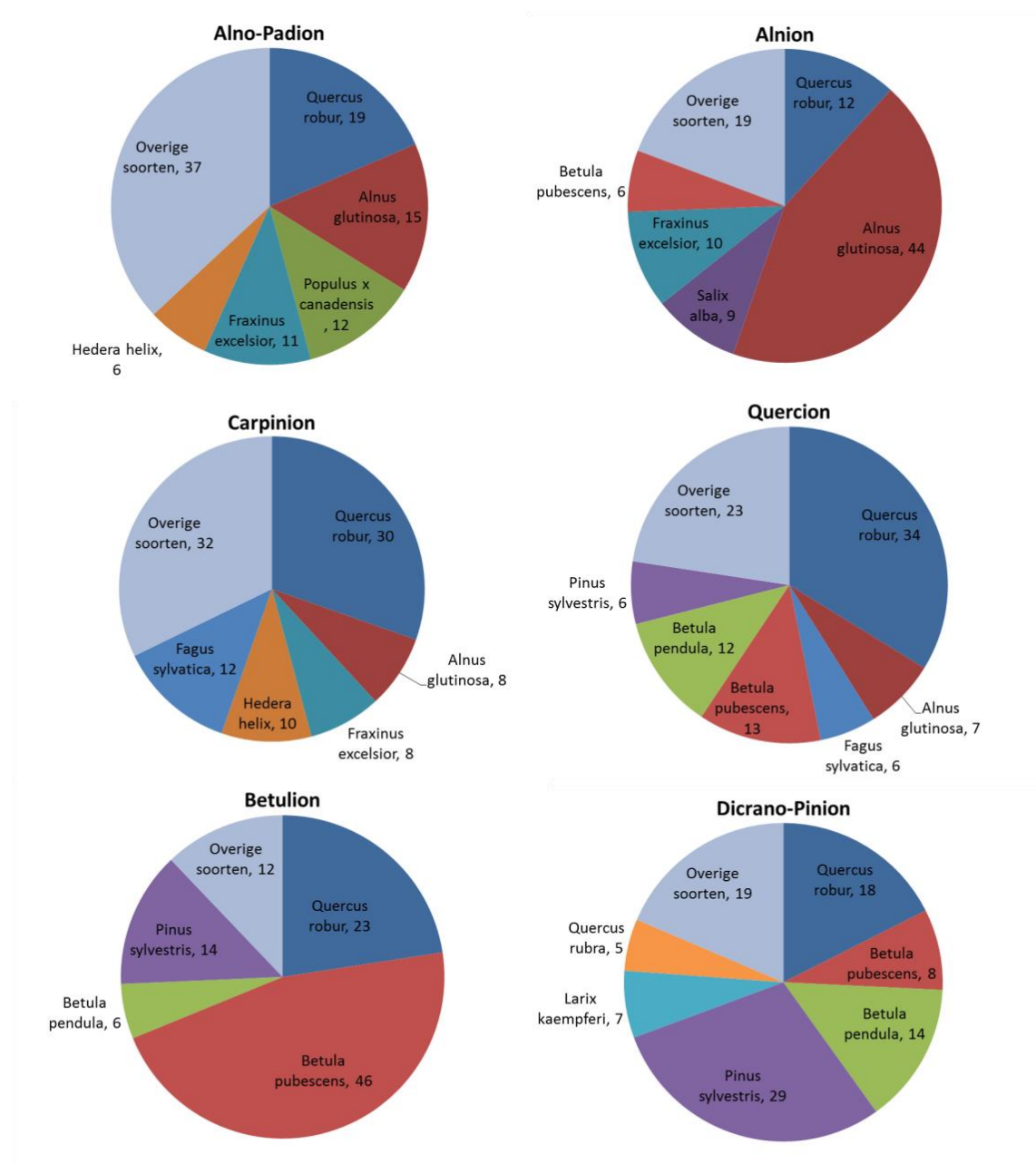
De bedekking van de kruidlaag verschilt weinig tussen de bostypen en ligt gemiddeld tussen 40 en 60% (Figuur 2.4). De bedekking van de moslaag is complementair aan de gelaagdheid van boom- en struiklaag en is daardoor het kleinst in het rijk gestructureerde *Carpinion* (3%) en het hoogst in het *Betulion* (11%) en *Dicrano-Pinion* (24%), beide met een kronendak met vooral lichtboomsoorten als Eik, Berk en Grove den (*Pinus sylvestris*). De onverwacht lage mosbedekking in het *Alnion* en *Betulion* komt doordat deze typen als vochtig bos alleen vertegenwoordigd zijn door rompgemeenschappen met Braam, Brandnetel en Pijpenstrootje dus exclusief veenmosrijke vormen.

Samenstelling van de boomlaag

Het beekdalbos kenmerkt zich door relatief veel opnamen met de zachthoutsoorten Schietwilg (*Salix alba*) en Populier en met Zwarte els en Gewone es (*Fraxinus excelsior*) in de boomlaag. Het stagnatiebos heeft meer opnamen met Eik en aanzienlijk meer opnamen met Beuk. Het *Alno-Padion* van het beekdalbos en het *Carpinion* van het stagnatiebos hebben 10% opnamen met Klimop (*Hedera helix*) gemeen. Het dekzandbos kenmerkt zich door veel opnamen met berk en Grove den (Figuur 2.5).

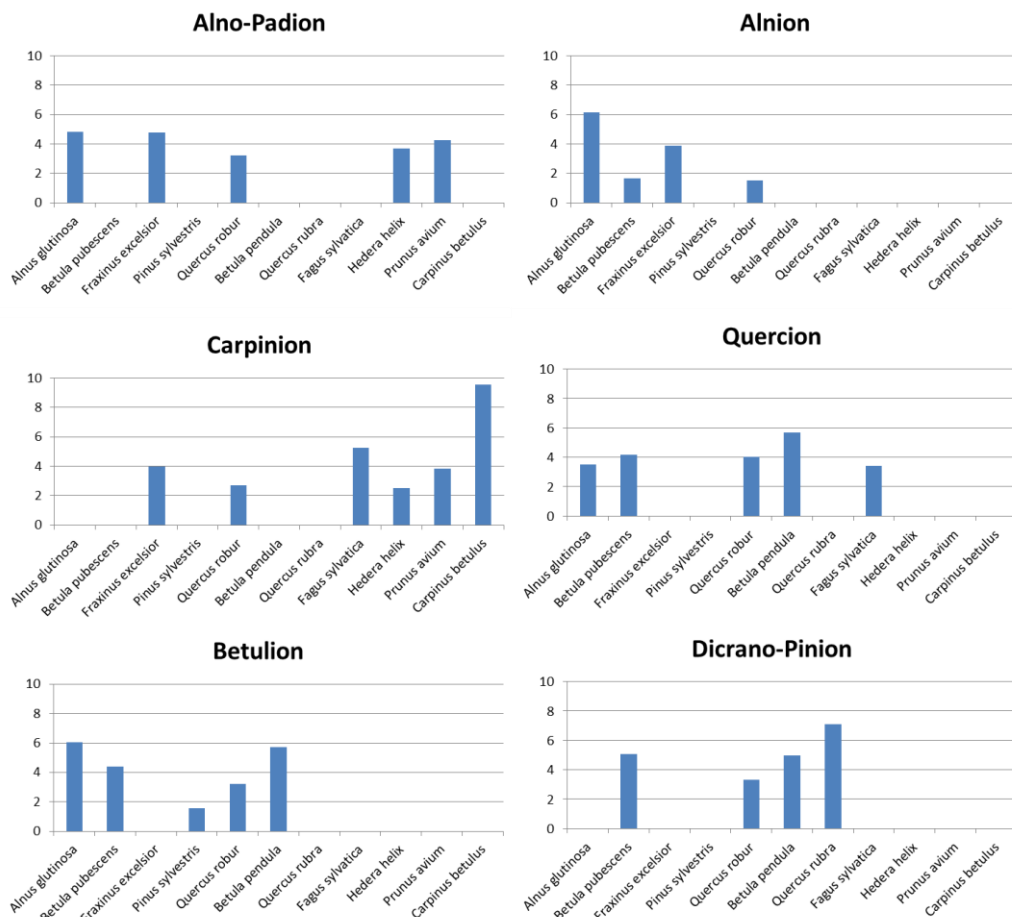
Samenstelling van de struiklaag

De samenstelling van boomlaag weerspiegelt zich goed in struiklaag (Figuur 2.6) met vooral Zwarte els en es in het beekdalbos en Haagbeuk (*Carpinus betuli*), Beuk (*Fagus sylvatica*) en Es in het stagnatiebos. Het *Alno-Padion* en *Carpinion* komen overeen in de bescheiden aanwezigheid van Zomereik (*Quercus robur*) en in een opvallend hogere frequentie van Zoete kers (*Prunus avium*) in de struiklaag ten opzichte van de boomlaag (vergelijk Figuur 2.5). In het dekzandbos verjongt toch nog de nodige Berk. Grove den daarentegen speelt geen enkele rol, terwijl Amerikaanse eik (*Quercus rubra*) in het *Dicrano-Pinion* een bedenkelijk hoog aandeel in de struiklaag krijgt.



Figuur 2.5: Soortensamenstelling in de boomlaag van vochtige bossen, uitgesplitst naar bostype. Weergegeven als percentages opnamen voor boomsoorten die binnen het betreffende verbond meer dan 5% voorkomen.

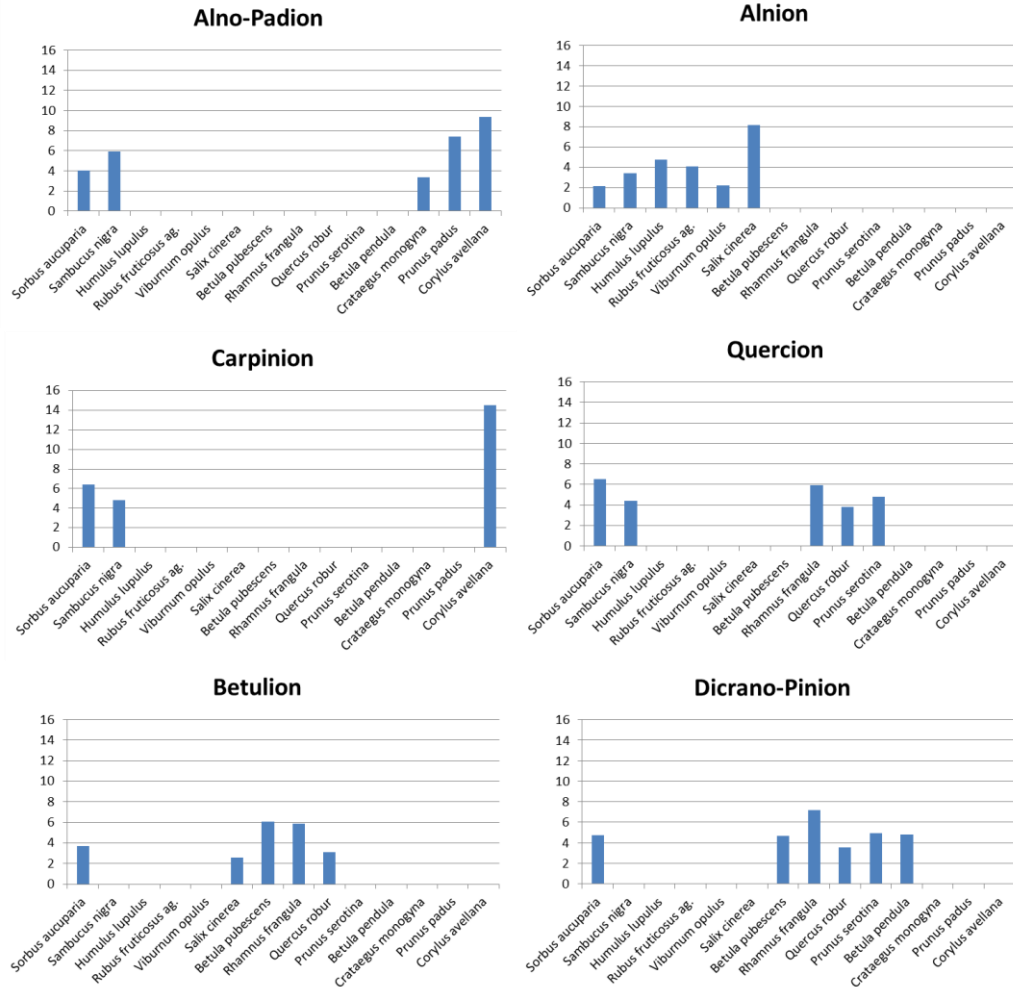
Figure 2.5: Species composition of the tree layer of the vegetation types defining moist forests (see Table 2.9). Percentage releves for tree species occurring more than 5%. 'Overige soorten': other species.



Figuur 2.6: Gemiddelde bedekking van boomvormende soorten in de struiklaag die ook in de boomlaag van dezelfde opname voorkomen. Alleen soorten die in >5% van de opnamen van het betreffende verbond voorkomen.

Figure 2.6: Mean cover of tree rejuvenation in the shrub layer for species present in the tree layer of the same relevée as well. Only species occurring more than 5% in the considered vegetation type.

De soorten diversiteit van de 'echte' struiklaag verschilt opvallend tussen de hoofdtypen bos (Figuur 2.7). Lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) en Gewone vlier (*Sambucus nigra*) komen in vrijwel alle vochtige bossen voor in de struiklaag. De eerder gevonden sterke gelaagdheid van het *Carpinion* komt geheel op rekening van Hazelaar (*Corylus avellana*) (Figuur 2.7). Hop (*Humulus lupulus*), braam (zie ook paragraaf Samenstelling van de kruidlaag) en Gelderse roos (*Viburnum opulus*) komen alleen in het *Alnion* en Eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*) en Gewone vogelkers (*Prunus padus*) alleen in het *Alno-Padion* in betekenis voor. Grauwe wilg (*Salix cinerea*) vooral in het *Alnion*, maar ook wel in het *Betulion*. Het dekzandbos heeft Zomereik als opvallende struiklaagsoort in bossen zonder eik in de boomlaag. Verder zijn hier Sporkehout (*Rhamnus frangula*) en Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) kenmerkend.

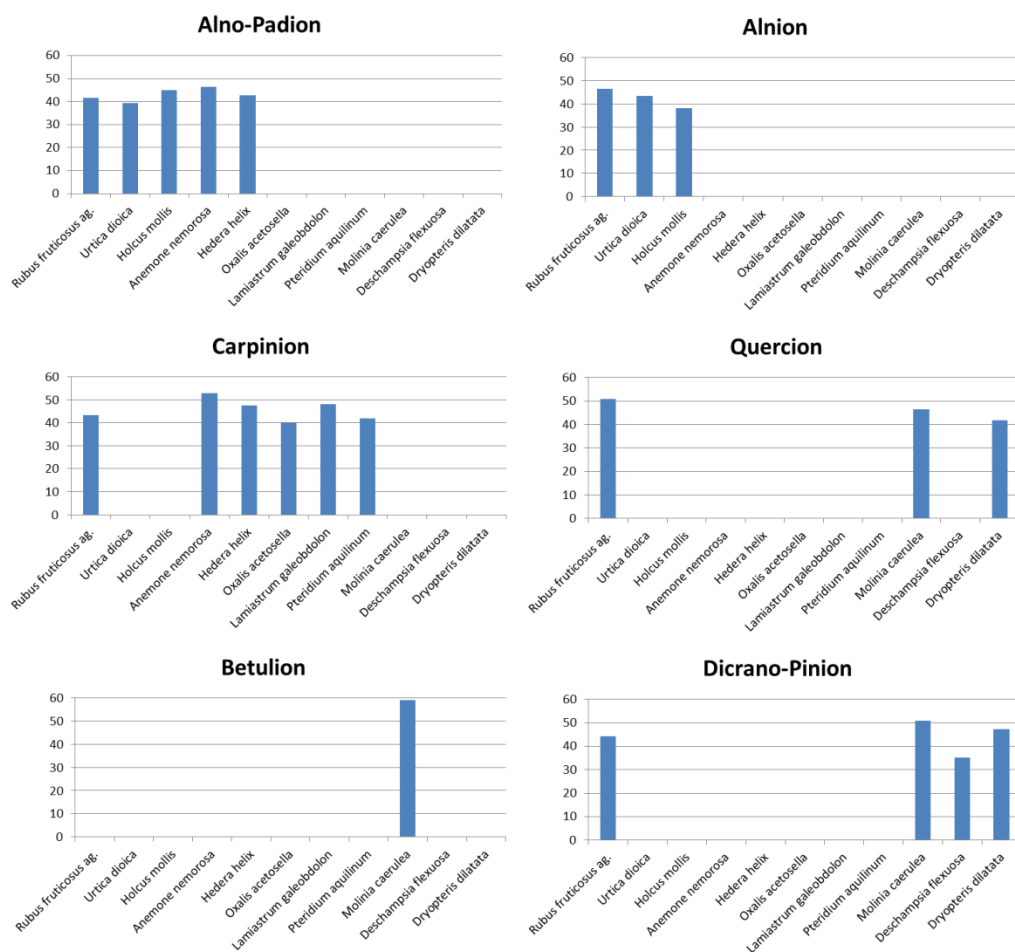


Figuur 2.7: Gemiddelde bedekking van soorten in de struiklaag die niet in de boomlaag van dezelfde opname voorkomen. Alleen soorten die in >5% van de opnamen van het betreffende verbond voorkomen.

Figure 2.7: Mean cover of shrub species absent in the tree layer of the same relevee. Only species occurring more than 5% in the considered vegetation type.

Samenstelling van de kruidlaag

Van de soorten die gemiddeld meer dan 20% bedekking hebben in vegetatie-opnamen van vochtige bossen (Figuur 2.8) is Braam vertegenwoordigd in alle typen behalve het *Betulion*. Bramen ontbreken in goed ontwikkeld *Alnion* en *Betulion* en ook typisch Vogelkers-Essenbos kent geen bramen door te hoge (periodieke) grondwaterstanden (med. R.J. Bijlsma). In goed ontwikkeld *Carpinion* komen evenmin bramen voor, maar waar sprake is van een intact reliëf kunnen bijzondere oudbosbramen kenmerkend zijn voor de relatief hogere delen, zoals bijv. *Rubus foliosus*, *R. loehrii* en *R. schleicheri* in Willinks Weust. De tot 3 m hoge *Rubus sulcatus* is een zeldzame *Carpinion*-soort van vochtige leemgronden, zo bijv. in het IJzerenbos bij Susteren, De Geelders bij Boxtel, De Mortelen bij Udenhout, het Ulvenhoutse bos en in het Hekenbroek bij Hoog Keppel (data R.J. Bijlsma). Na verdroging (en oppervlakkige verzuring) kunnen de voorheen braamloze vochtige bossen op basenrijke bodem snel vollopen met braamsoorten die in de betreffende regio vooral buiten het bos voorkomen, zoals in bosranden en heggen. Grootschalige braamdominantie treedt hier vooral op in structuurarme bossen met een hakhoutverleden (spaartelgenbossen) (Bijlsma, 2004). In het verdroogde *Alnion* en *Alno-Padion* kan verbraming geheel bestaan uit soorten uit de sectie *Corylifolii* ('*Rubus corylifolius*', nauw verwant aan Dauwbraam (*Rubus caesius*)), terwijl in de overige verbonden vooral zwartvruchtige braamsoorten uit de sectie *Rubus* ('*Rubus fruticosus*') optreden (Weber, 1986; Van de Beek et al., in druk).



Figuur 2.8: Gemiddelde bedekking van soorten met >20% bedekking in de kruidlaag van vochtige bossen. Betreft alleen soorten die in >5% van de opnamen van het betreffende verbond voorkomen.

Figure 2.8: Mean cover of species with more than 20% cover in the herb layer of moist forest types. Only species occurring more than 5% in the considered vegetation type.

Grote brandnetel en Gladde witbol (*Holcus mollis*) treden vooral in het *Alno-Padion* en verdroogde *Alnion* sterk op de voorgrond (Figuur 2.8). Bosanemoon en Klimop komen in het *Alno-Padion* en *Carpinion* met relatief hoge bedekking voor. Het *Carpinion* heeft Gele dovenetel (*Lamium galeobdolon*) als karakteristieke soort; het volgens Figuur 2.8 veelvuldig optreden van Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*) en Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*) is ook het gevolg van het feit dat in De Vegetatie van Nederland het Gierstgras-Beukenbos op grond van floristische argumenten tot het *Carpinion* wordt gerekend (zie Tabel 2.9 en § 2.4.1 onder Nadere toelichting *Carpinion*). Ook Bosanemoon is onderdeel van de zure vleugel van het *Alno-Padion* en *Carpinion* en kan dominant optreden in het Gierstgras-Beukenbos.

Tabel 2.11: Mossen in vegetatieopnamen van vochtige bossen. Aantal opnamen voor soorten die in het betreffende verbond meer dan 1x zijn aangetroffen met een bedekking > 5%. Ellenberg vochtgetal (Siebel 2005, www.blwg.nl): 1-5 droog tot matig vochtige standplaatsen; 7-9 vochtige tot natte standplaatsen (in blauw).

Table 2.11: Bryophytes in relevees of moist forest types. Number of relevees for species occurring more than once with cover more than 5% in the considered vegetation type. Ellenberg moisture indicator value: 1-5 dry to rather moist; 7-9: moist to wet (marked blue).

Wetenschappelijke naam	Alno-Padion	Alnion	Carpinion	Quercion	Betulion	Dicrano-Pinion	Ellenberg vochtgetal
<i>Kindbergia praelonga</i> Fijn laddemos	55	15	4	21	2	35	6
<i>Mnium hornum</i> Gewoon sterrenmos	95	15	27	133		12	6
<i>Brachythecium rutabulum</i> Gewoon dikkopmos	20	6		10		15	5
<i>Eurhynchium striatum</i> Geplooid snavelmos	25		2			3	5
<i>Atrichum undulatum</i> Groot rimpelmos	30	3	3	2			6
<i>Plagiomnium undulatum</i> Gerimpeld boogsterrenmos	7						7
<i>Pellia epiphylla</i> Gewoon plakkaatmos	6						8
<i>Plagiomnium affine</i> Gewoon boogsterrenmos	4						5
<i>Fissidens taxifolius</i> Kleivedemos	2						6
<i>Pseudotaxiphyllum elegans</i> Pronkmos	2						5
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i> Gewoon haakmos		2					5
<i>Hypnum cupressiforme s.l.</i> Gewoon klauwtjesmos	3			44	8	81	5
<i>Pseudoscleropodium purum</i> Groot laddemos	3			22	5	55	5
<i>Polytrichum formosum</i> Fraai haamos	2			56		30	6
<i>Polytrichum commune</i> Gewoon haamos	3			31		11	6/7
<i>Dicranella heteromalla</i> Gewoon pluisjesmos	3			10		3	4
<i>Hypnum jutlandicum</i> Heideklauwtjesmos				24	4	56	5
<i>Dicranum scoparium</i> Gewoon gaffeltandmos				15	2	39	4
<i>Pleurozium schreberi</i> Bronsmos				11		47	4
<i>Campylopus pyriformis</i> Breekblaadje				4		2	5
<i>Leucobryum glaucum</i> Kussentjesmos				3			6
<i>Campylopus flexuosus</i> Boskronkelsteeltje				2			6
<i>Sphagnum fimbriatum</i> Gewimperd veenmos					6		7
<i>Sphagnum fallax</i> + <i>S. flexuosum</i> Fraai + Slank veenmos					2		8/7
<i>Sphagnum palustre</i> Gewoon veenmos					2		7

De uitgesproken zure vochtige bossen hebben Pijpenstrootje en Brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*) als gemeenschappelijke soorten. De laatste kan ook in verdroogd *Alnion* op de voorgrond treden maar dat blijkt niet uit de vegetatieopnamen. Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) is nog steeds een belangrijke soort in de heidebebossingen van het *Dicrano-Pinion*.

Samenstelling van de moslaag

Tabel 2.11 geeft een overzicht mossen tenminste eenmalig met een bedekking van >5% zijn aangetroffen in vochtige bossen. Al deze soorten zijn landelijk algemeen en komen deels ook buiten bossen veel voor, zoals Gewoon dikkopmos en Gewoon haarmos. De meeste van de soorten in Tabel 2.11 hebben een brede ecologische range. Slechts vijf komen optimaal voor op vochtige of natte standplaatsen (Ellenberg vochtgetal ≥ 7), waaronder drie veenmossen (*Betulion*). Het Gewoon plakkaatmos is een soort van permanent natte standplaatsen. Alleen het Gerimpeld boogsterrenmos is als typische vochtsoort aan te merken.

2.5 Soortdiversiteit

2.5.1 Vaatplanten

Tabel 2.12 geeft een overzicht van de in vegetatieopnamen van vochtige bossen aangetroffen Rode-Lijstsoorten vaatplanten (volgens Sparrius et al., in druk). De Zwartblauwe rapunzel (*Phyteuma spicatum* ssp. *nigrum*) is zeldzaam en bedreigd en daarmee de meest bijzondere soort die echter niet uitgesproken vochtig voorkomt. De lijst omvat enkele soorten van wel uitgesproken natte standplaatsen van het Vogelkers-Essenbos, zoals Moerasbasterdwederik (*Epilobium palustre*), Donkergroene basterdwederik (*Epilobium obscurum*) en Kleine valeriaan (*Valeriana dioica*). Soorten van wisselvochtige standplaatsen, zoals Grote keverorchis (*Neottia ovata*), Bleke zegge (*Carex pallescens*) en Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*) komen zowel in het *Alno-Padion* als *Carpinion* voor. Gagel (*Myrica Gale*), Wateraardbei (*Comarum palustre*) en Eenrig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) zijn soorten van zure, natte standplaatsen (*Betulion*).

2.5.2 Mossen

Tabel 2.13 geeft de frequentie van de in vegetatieopnamen van vochtige bossen aangetroffen Rode-Lijstsoorten mossen. Van deze soorten komt Kegelmoss (Conocephalum conicum) alleen voor langs beekjes en Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) in permanent nat tot vochtig hoogveen(bos), hoogveen en vochtige heide. Het Moerasgaffeltandmos komt vooral voor in broekbossen en moerasheide, zelden op drogere standplaatsen. Evenals de veel voorkomende soorten (Tabel 2.11) geldt ook voor de zeldzame en bedreigde soorten dat er nauwelijks typische mossoorten zijn voor bodemvochtig bos. Veel soorten zijn daarentegen slecht bestand tegen uitdroging als gevolg van windwerking en daarom aangewezen op bossen: beschutte, luchtvochtige standplaatsen die beter gekarakteriseerd kunnen worden met een maat voor het stralingsklimaat dan door een Ellenberg vochtgetal (zie ook Barkman & Stoutjesdijk, 1986; Siebel, 1993).

Tabel 2.12: Rode-Lijstsoorten vaatplanten in vegetatieopnamen van vochtige bossen. Aantal opnamen voor soorten die in het betreffende verbond meer dan 1x zijn aangetroffen. Ellenberg vochtgetal naar Ellenberg, Weber, Düll, Wirth, Werner & Paulissen, 1991). Blauw gemarkeerd: soorten van natte standplaatsen. Groen gemarkeerd: soorten van wisselvochtige standplaatsen.

Table 2.12: Red-listed vascular plant species in relevées of moist forest types. Number of relevées for species occurring more than once in the considered vegetation type. Ellenberg moisture indicator value: moist to wet conditions marked blue, stagnant or fluctuating conditions marked green.

Wetenschappelijke naam	zeldz	RL	Alno-Padion	Alnion	Carpinion	Quercion	Betulion	Dicrano-Pinion	Ellenberg vochtgetal
<i>Crataegus laevigata</i> Tweestijlige meidoorn	z	KW-7	248	3	152	32			5
<i>Solidago virgaurea</i> Echte guldenroede	z	KW-11	34		19	6			5
<i>Epilobium palustre</i> Moerasbasterdwederik	a	GE-12	4						9
<i>Epilobium obscurum</i> Donkergroene basterdwederik	z	KW-7	3						8
<i>Potentilla sterilis</i> Aardbeiganzerik	zz	KW-6	3						5
<i>Daphne mezereum</i> Peperboompje	zzz	GE-1	2						5
<i>Neottia ovata</i> Grote keverorchis	z	KW-7	49		4				6~
<i>Ranunculus auricomus</i> Gulden boterbloem	z	KW-7	44		11				X
<i>Carex pallescens</i> Bleke zegge	z	KW-7	42		4				6~
<i>Sanicula europaea</i> Heelkruid	zz	KW-6	39		6				5
<i>Fragaria vesca</i> Gewone bosaardbei	a	GE-12	32		2				5
<i>Phyteuma spicatum</i> ssp. <i>nigrum</i> Zwartblauwe rapunzel	zz	BE-10	13		4				5
<i>Valeriana dioica</i> Kleine valeriaan	z	KW-15	12						8
<i>Blechnum spicant</i> Dubbelloof	a	GE-12	9		2	47		3	6
<i>Juniperus communis</i> Jeneverbes	a	GE-12				13	2	15	4
<i>Myrica gale</i> Wilde gagel	a	GE-12				25	35	22	9
<i>Comarum palustre</i> Wateraardbei	z	KW-11					4		9=
<i>Eriophorum vaginatum</i> Eenarig wollegras	z	KW-7					2		9~

Tabel 2.13: Rode Lijst-soorten mossen (Siebel et al., 2013) in vegetatieopnamen van vochtige bossen. Aantal opnamen voor soorten die in het betreffende verbond meer dan 1x zijn aangetroffen. Ellenberg vochtgetal (Siebel, 2005, www.blwg.nl): 1-5 droog tot matig vochtige standplaatsen; 7-9 vochtige tot natte standplaatsen (blauw gemarkeerd).

Table 2.13: Red List species of moss species (Siebel et al, 2013) in relevees of moist forests. Number of relevees for species occurring more than once in the considered vegetationtype. Ellenberg moisture indicator value (Siebel, 2005 www.blwg.nl): 1-5 dry to moderately moist conditions; 7-9 moist to wet conditions (marked blue).

Wetenschappelijke naam	zeldz	crit	Alno-Padion	Alnion	Carpinion	Quercion	Betulion	Dicrano-Pinion	Ellenberg vochtgetal
Conocephalum conicum Kegelmoss	zz	KW-6	5						7
Dicranum bonjeanii Moerasgaffeltandmos	zz	BE-10					2		7
Sphagnum papillosum Wrattig veenmos	z	KW-11					2		7
Dicranum polysetum Gerimpeld gaffeltandmos	z	KW-11						2	5

2.5.3 Paddenstoelen

Bossen op de zandgronden zijn doorgaans vrij arm aan hogere planten en dat geldt ook voor veel vochtige bossen. Er komt een tiental boomsoorten voor en de ondergroei telt vaak niet veel meer soorten. De rijkdom aan varens en mossen is al wat groter. De stagnatiebossen en beekdalbossen zijn wel duidelijk soortenrijker, maar de soortenrijke delen beslaan maar een heel klein deel van de vochtige bossen in het zandlandschap. Deze doorgaans geringe soortenrijkdom staat in scherp contrast met het aantal soorten paddenstoelen dat in vochtige en droge bossen voorkomt, of in ieder geval voorkwam. Daar waar de grondwaterstand in de zomer laag genoeg is om doorluchting van de bovenste bodemlaag mogelijk te maken, komt een soortenrijke mycoflora van vochtige en/of droge bossen voor op de bosbodem. Deze bestaat in hoofdzaak uit 2 functionele groepen: mycorrhizavormers en strooiselafbrekers. Daarnaast is er een grote groep houtafbrekende soorten, die minder binding hebben met bodemtype en hydrologische condities.

Het merendeel van de ongeveer 5000 soorten paddenstoelen die in Nederland zijn waargenomen komt vooral voor in bossen (Arnolds & van den Berg, 2013). Hieronder vallen ook zo'n 2000 soorten waarvan de verspreiding nog onvoldoende bekend is. Van de overige 3000 soorten komt slechts een klein deel, 133 soorten, vooral in natte moerasbossen voor (Arnolds & Veerkamp, 2008). De betekenis van vochtige en droge bossen voor paddenstoelen is dus zeer groot. Moeilijker is het om specifiek de betekenis van vochtige bossen aan te geven ten opzicht van de droge bossen. De mycelia van paddenstoelen leven in de bovenste bodemlagen met veel organisch materiaal en boomwortels. Zowel in vochtige als droge bossen is deze bovenste bodemlaag in het groeiseizoen goed doorlucht en gedraineerd, waardoor de afbraak van organisch materiaal in vochtige bossen niet veel anders verloopt dan in droge bossen. De mycoflora van droge en vochtige bossen verschilt in principe dus niet zo veel. Wel verloopt de afbraak veel sneller bij een hogere pH en is er een groot verschil in mycoflora op basenrijke bosbodems vergeleken met basenarme bosbodems. Vochtige bossen hebben gemiddeld een hogere basenverzadiging doordat buffering tegen verzuring optreedt via het grondwater dat in de winter de wortelzone bereikt. Juist voor paddenstoelen van basenrijke bosbodems zijn vochtige bossen dus van groot belang.

Tabel 2.14: Lijst met bedreigde paddenstoelen die het zwaartepunt van hun verspreiding in bossen en lanen op basenarme zandgronden hebben, aangevuld met rode lijst categorie. Zeer zeldzame en verdwenen soorten zijn weggelaten. Gegevens gebaseerd op Arnolds & Veerkamp (2008).

Table 2.14: List of endangered mushrooms which have their focus of distribution in forests on poor sandy soils, complemented by red list category. Very rare and extinct species are omitted. Data based on Arnolds & Veerkamp (2008).

<i>Amanita crocea</i>	Saffraanamaniet	Ge	<i>Lentinellus cochleatus</i>	Bruine anijszwam	Kw
<i>Amanita porphyria</i>	Porfieramaniet	Kw	<i>Marasmius querceus</i>	Bleke knoflooktaailing	EB
<i>Boletinus cavipes</i>	Holsteelboleet	Kw	<i>Mycena pelianthina</i>	Purpersnedemycena	EB
<i>Boletus pulverulentus</i>	Inktboleet	Kw	<i>Mycena smithiana</i>	Roze peutermycena	Kw
<i>Boletus rhodoxanthus</i>	Roodnetboleet	Kw	<i>Otidea leporina</i>	Echt hazoor	Be
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	Trechtercantharel	Kw	<i>Paxillus atrotomentosus</i>	Zwartvoetkrulzoom	Kw
<i>Clitocybe geotropa</i>	Grote trechterzwam	Be	<i>Phellodon confluens</i>	Wollige stekelzwam	Kw
<i>Collybia tuberosa</i>	Purperknolcollybia	Kw	<i>Phellodon melaleucus</i>	Tengere stekelzwam	Be
<i>Conocybe brunnea</i>	Getand breeksteeltje	Kw	<i>Phellodon niger</i>	Blauwzwarte stekelzwam	Be
<i>Coprinus picaceus</i>	Spechtinktzwam	Be	<i>Pholiota astragalina</i>	Goudvinkzwam	Kw
<i>Cortinarius acutus</i>	Spitse gordijnzwam	Be	<i>Pholiota lenta</i>	Slijmige blekerik	Ge
<i>Cortinarius alboviolaceus</i>	Lila gordijnzwam	Kw	<i>Pholiota lubrica</i>	Witvlokkige bundelzwam	Be
<i>Cortinarius armillatus</i>	Armbandgordijnzwam	EB	<i>Psathyropus pelletieri</i>	Goudplaatzwam	Be
<i>Cortinarius camphoratus</i>	Kamfergordijnzwam	Ge	<i>Poculum sydowianum</i>	Eikebladstromakelkje	Kw
<i>Cortinarius decoloratus</i>	Okerrijze fraaisteelgordijnzwam	Be	<i>Psathyrella cotonea</i>	Geelvoetgranjehoed	Kw
<i>Cortinarius lanatus</i>	Bruingele wolgordijnzwam	Ge	<i>Psathyrella fusca</i>	Beukefranjehoed	Kw
<i>Cortinarius obtusus</i>	Jodoformgordijnzwam	Kw	<i>Psathyrella gossypina</i>	Bruinbultige franjehoed	Be
<i>Cortinarius phoeniceus</i>	Bloedplaatgordijnzwam	Be	<i>Pseudocraterellus undulatus</i>	Kleine trompetzwam	Kw
<i>Cortinarius pholideus</i>	Bruinschubbige gordijnzwam	Be	<i>Psilocybe marginata</i>	Zilversteelzwavelkop	Kw
<i>Cortinarius semisanguineus</i>	Pagemantel	Kw	<i>Psilocybe polytrichi</i>	Haar moszwavelkop	Be
<i>Cortinarius torvus</i>	Gelaarsde gordijnzwam	Be	<i>Psilocybe radicata</i>	Stinkzwavelkop	Be
<i>Cortinarius tubarius</i>	Veenmosgordijnzwam	Be	<i>Psilocybe squamosa</i>	Geschubde stropharia	Be
<i>Cortinarius vibratilis</i>	Gele galgordijnzwam	Kw	<i>Ramaria abietina</i>	Groenwordende koraalzwam	Be
<i>Cystoderma carcharias</i>	Vleekkleurige korrelhoed	Be	<i>Ramaria eumorpha</i>	Naaldboskoraalzwam	Be
<i>Entoloma cetratum</i>	Dennesatijnzwam	Ge	<i>Rhodocybe fallax</i>	Witte zalmplaat	Be
<i>Entoloma nitidum</i>	Blauwe satijnzwam	Be	<i>Russula acrifolia</i>	Scherpe grauwhoedrussula	Eb
<i>Galerina ampullaceocystis</i>	Ampulmosklokje	Kw	<i>Russula albonigra</i>	Zwartwitte russula	Be
<i>Gomphidius glutinosus</i>	Slijmige spijkerzwam	Be	<i>Russula aquosa</i>	Waterige russula	Kw
<i>Hebeloma radicosum</i>	Geringde vaalhoed	Be	<i>Russula foetens</i>	Stinkende russula	Kw
<i>Hydnellum compactum</i>	Scherpe stekelzwam	EB	<i>Russula laurocerasi</i>	Amandelrussula	Be
<i>Hydnellum concrescens</i>	Gezoneerde stekelzwam	Kw	<i>Russula nauseosa</i>	Kleine sparrerussula	Kw
<i>Hydnellum spongiosipes</i>	Fluwelige stekelzwam	Kw	<i>Russula paludosa</i>	Appelrussula	Kw
<i>Hydnum repandum s/l</i>	Gele stekelzwam	Kw	<i>Russula puellaris</i>	Vergelende russula	Kw
<i>Hygrophorus eburneus</i>	Ivoorzwam	Be	<i>Russula queletii</i>	Purperrode russula	Kw
<i>Hygrophorus persoonii</i>	Olijfkleurige slijmkop	Kw	<i>Russula rosea</i>	Potloodrussula	Be
<i>Inocybe longicystis</i>	Valse wolvezelkop	Kw	<i>Russula sanguinaria</i>	Bloedrode russula	Kw
<i>Inocybe ovatocystis</i>	Gewone wolvezelkop	Kw	<i>Russula sphagnophila</i>	Veenmosrussula	Be
<i>Lactarius decipiens</i>	Pelargoniummelkzwam	Be	<i>Russula turci</i>	Jodoformrussula	Be
<i>Lactarius hyssginus</i>	Roodbruine melkzwam	Be	<i>Russula virescens</i>	Ruwe russula	Kw
<i>Lactarius mammosus</i>	Donkere kokosmelkzwam	Kw	<i>Sarcodon joeides</i>	Avondroodstekelzwam	Be
<i>Lactarius pallidus</i>	Bleke melkzwam	Be	<i>Sarcodon scabrosus</i>	Blauwvoetstekelzwam	Kw
<i>Lactarius torminosus</i>	Baardige melkzwam	Kw	<i>Thelephora palmata</i>	Stinkende franjezwam	Be
<i>Lactarius trivialis</i>	Forse melkzwam	Kw	<i>Tricholoma acerbum</i>	Krulzoomridderzwam	Be
<i>Lactarius vellereus</i>	Schaapje	Kw	<i>Tricholoma columbetta</i>	Witte duifridderzwam	Be
<i>Lactarius vietus</i>	Roodgrijze melkzwam	Kw	<i>Tricholoma saponaceum</i>	Zeeppzwam	Kw
<i>Leccineum niveum</i>	Witte berkeboleet	Kw	<i>Tuber maculatum</i>	Gevlekte truffel	Be
<i>Leccinum rufum</i>	Rosse populierboleet	Kw	<i>Tuber rufum</i>	Roodbruine truffel	Be
<i>Leccinum versipelle</i>	Oranje berkeboleet	Kw	<i>Tylopius felleus</i>	Bittere boleet	Kw

Sinds de jaren '70 is de paddenstoelenflora in Nederland sterk achteruit gegaan (Arnolds, 1991). In zure bossen was deze achteruitgang tussen 1950 en 1990 voor sommige families zelfs 90-100%. Vooral soorten die specifiek met één boomsoort in symbiose leven, zijn sterk achteruit gegaan, terwijl generalistische soorten een minder sterke achteruitgang vertonen. De achteruitgang van bovengrondse vruchtlichamen (paddenstoelen) van ectomyceten betekent niet altijd dat ook de ondergronds levende schimmel achteruitgang vertoont, maar ook ondergronds wordt dikwijls een verschuiving in soortensamenstelling waargenomen (Nillson & Wallander, 2003).

Een groot aantal mycorrhiza vormende bospaddenstoelen komen nu nog voornamelijk voor in lanen en op oude begraafplaatsen. Deze zijn doorgaans minder zuur dan de aangrenzende bossen en bovendien waait het strooisel hier grotendeels weg of wordt het verwijderd. Stikstof kan zo veel minder snel ophopen. Nederlandse mycologen onderscheiden daarom een groep "laan"-soorten. In het onderstaande worden deze soorten tot de bossoorten gerekend omdat ze van nature in het bos thuishoren.

De indeling in drie typen bos zoals die gemaakt is op basis van landschap, standplaats en vegetatie, is voor paddenstoelen slechts gedeeltelijk hanteerbaar. De opsplitsing in bossen op basenrijke bodem en bossen op basenarme bodem is ook voor paddenstoelen goed te maken; veel soorten zijn kenmerkend voor één van beide bodemtypen. De opsplitsing in stagnatiebossen en beekdalbossen is voor paddenstoelen echter niet te maken. In mycologische inventarisaties zijn beide bostypen zelden of nooit van elkaar gescheiden, zodat hier geen gegevens over zijn. Vermoedelijk komt de mycoflora vrij goed overeen, maar is deze in beekdalbossen vanwege de hogere grondwaterstanden doorgaans soortenarmer. In het navolgende wordt daarom alleen onderscheid gemaakt tussen dekzandbossen enerzijds en stagnatiebossen & beekdalbossen anderzijds.

Dekzandbos

In totaal worden 481 soorten paddenstoelen als kenmerkend beschouwd voor bossen op arme gronden, waarvan er 278 op de rode lijst staan (Arnolds & Veerkamp, 2008). Van deze 481 soorten zijn er overigens 228 gebonden aan naaldbomen. De belangrijkste oorzaken voor achteruitgang zijn verzuring en stikstofdepositie. Er zijn een aantal refugia te onderscheiden voor de meest gevoelige soorten. Dit zijn, naast de bovengenoemde laanmilieu's, vooral jonge stuifzandbebouwingen en vochtige bossen. De stuifzandbossen zijn nog relatief stikstofarm. De vochtige bossen kennen vooral een betere basenverzadiging, waardoor voor verzuring gevoelige soorten hier een zwaartepunt hebben. Een overzicht van deze soorten is weergegeven in tabel 2.11.

Stagnatiebossen & beekdalbossen

De Nederlandse bossen en lanen op basenrijke bodem zijn nog soortenrijker dan die op basenarme bodem; in totaal zijn 907 soorten kenmerkend waarvan er maar liefst 594 op de rode lijst staan (Arnolds & Veerkamp, 2008). Een minderheid van deze soorten is beperkt tot kalkrijke bodem in het rivierengebied Zuid-Limburg en in mindere mate de kalkrijke duinen. Het gaat dan met name om een aantal Boleten, Vezelkoppen, Aardsterren en Parasolzwammen. Maar kalkrijke bodem is ook in de stagnatiebossen hier en daar aanwezig, bijvoorbeeld rondom Winterswijk.

Daarnaast kan in dit bostype ook nog een andere groep paddenstoelen optreden. Onder de meer dan 300 voor grasland kenmerkende soorten zit een grote groep die ook in basenrijke vochtige bossen kan voorkomen. Recent onderzoek heeft laten zien dat de betekenis voor graslandsoorten vaak heel plaatselijk aanwezig is, maar wel heel groot kan zijn (Lammers et al., 2012). Intensieve inventarisaties laten dan zien dat er zelfs tientallen bedreigde soorten op een oppervlak van hooguit enkele hectaren kunnen voorkomen (Tabel 2.15). De graslandsoorten groeien vooral op lemige plekken waar weinig strooisel blijft liggen.

Vochtige bossen vormen dus een zeer belangrijk biotoop voor een groot deel van de uit Nederland bekende paddenstoelen. Het zal dan ook niet verbazen dat de lijst met de 200 beste paddenstoelgebieden in Nederland, maar liefst 40 gebieden bevat die op de zandgronden liggen en die gedomineerd worden door vochtig bos (Jalink, 1999). Concentraties van zulke bossen liggen op de basenrijkere bodems: de overgang van de Utrechtse heuvelrug naar het Kromme Rijn-gebied, de landgoederen in de Graafschap, de Achterhoek en Twente, de leemgebieden van midden en zuidoost Noord-Brabant, de oostrand van de Veluwe, de Drentse keileem en de overgang van de zandgronden naar beek- en rivierdalen.

Tabel 2.15: Lijst met graslandpaddenstoelen die zijn aangetroffen in enkele delen van het Coovels bos bij Helmond, voorzien van rode lijst categorie. Uit Lammers, Van Hooff, Raaijmakers, Van Kuijk & Boudewijns (2012). NI = nieuwe soort voor Nederland.

Table 2.15: List of grassland fungi that are found in some parts of the Coovels forest in Helmond, with red list category. From Lammers, Van Hooff, Raaijmakers, Van Kuijk & Boudewijns, (2012). NI = new species for the Netherlands.

Ruwsporige knotszwam	<i>Clavaria atrofusca</i>	NI	Bosstaalsteeltje	<i>Entoloma incarnatofuscescens</i>	
Spitse knotszwam	<i>Clavaria falcata</i>		Helmsatijnzwam	<i>Entoloma infula</i>	Be
Wormvormige knotszwam	<i>Clavaria fragilis</i>	Kw	Stopverfsatijnzwam	<i>Entoloma kuehnerianum</i>	Kw
Witte sterspoorknotzwam	<i>Clavulinopsis asterospora</i>		Bleek staalsteeltje	<i>Entoloma lividocyanulum</i>	Ge
Sikkelkoraalzwam	<i>Clavulinopsis corniculata</i>		Vaalgeel staalsteeltje	<i>Entoloma longistriatum</i>	Be
Gele knotszwam	<i>Clavulinopsis helveola</i>	Ge	Lilagrijze satijnzwam	<i>Entoloma mougeotii</i>	Kw
Fraaie knotszwam	<i>Clavulinopsis laeticolor</i>	Kw	Bleekgele satijnzwam	<i>Entoloma neglectum</i>	Kw
Verblekende knotszwam	<i>Clavulinopsis luteoalba</i>	Kw	Gestreepte sneeuwvloksatijnzwam	<i>Entoloma olorinum</i>	Be
Kleinsporige knotszwam	<i>Clavulinopsis microspora</i>	Ge	Kleine sneeuwvloksatijnzwam	<i>Entoloma per candidum</i>	Ge
Bleke sikkelkoraalzwam	<i>Clavulinopsis subtilis</i>	Ge	Sombere satijnzwam	<i>Entoloma poliopus</i>	Kw
Bezemkoraaltje	<i>Clavulinopsis tenuiramosa</i>		Porfiersatijnzwam	<i>Entoloma porphyrophaeum</i>	Be
Kleine molenaar	<i>Clitopilus scyphoides</i>	Kw	Blauwbruin staalsteeltje	<i>Entoloma pseudocestinum</i>	Kw
Zoetgeurende satijnzwam	<i>Entoloma ameides</i>	Be	Kubusspoorsatijnzwam	<i>Entoloma rhombisporum</i>	Kw
Schubbig staalsteeltje	<i>Entoloma asprellum</i>	Ge	Sneeuwvloksatijnzwam	<i>Entoloma sericellum</i>	Kw
Bruine zwartsneesatijnzwam	<i>Entoloma caesiocinctum</i>	Kw	Zwartsneesatijnzwam	<i>Entoloma serrulatum</i>	Kw
Roze sneesatijnzwam	<i>Entoloma callirhodon</i>		Bleekbruin staalsteeltje	<i>Entoloma sodale</i>	Be
Blauwplaatstaalsteeltje	<i>Entoloma chalybaeum</i>	Kw	Geribbelde satijnzwam	<i>Entoloma undatum</i>	Kw
Genavelde cystidensatijnzwam	<i>Entoloma cocles</i>	Ge	Klokhoedsatijnzwam	<i>Entoloma velenovskyi</i>	Ge
Blauwzwarte satijnzwam	<i>Entoloma corvinum</i>	Kw	Geelplaatstaalsteeltje	<i>Entoloma xanthochroum</i>	Ge
Fijngestreepte satijnzwam	<i>Entoloma cryptocystidiatum</i>	Ge	Slanke aardtong	<i>Geoglossum umbratile</i>	Kw
Grootsporig staalsteeltje	<i>Entoloma cyanulum</i>	Be	Hooilandwasplaat	<i>Hygrocybe aurantioviscida</i>	Kw
Roodvoetstaalsteeltje	<i>Entoloma exile</i>	Ge	Zwartwordende wasplaat	<i>Hygrocybe conica</i>	
Melig staalsteeltje	<i>Entoloma farinasprellum</i>	Eb	Gewoon sneeuwzwammetje	<i>Hygrocybe virginea</i>	Ge
Gele satijnzwam	<i>Entoloma formosum</i>	Ge	Oranjegeel koraaltje	<i>Ramariopsis crocea</i>	Kw

2.5.4 Fauna

Schaalniveaus en variatie

Diersoorten maken op verschillende schaal gebruik van het landschap. Het voorkomen van bodemfauna en een deel van de planten- en houtetende fauna in bossen wordt bepaald door terreincondities op standplaatsniveau, zoals vochtregime, temperatuur en kwaliteit van blad, strooisel, wortels of hout. Voor andere soortengroepen is juist de variatie in terreincondities binnen bossen bepalend voor de soortenrijkdom. Het kan daarbij gaan om soorten van nat-drooggradiënten of van bosranden. Vochtige bossen liggen vaak op een vochtgradiënt. Binnen bosgebieden met vochtig bos liggen ook drogere en/of nattere delen. Het naast elkaar voorkomen van verschillende bostypen en de interne variatie in vochtigheid en daarmee samenhangende variatie in terreincondities en vegetatiesamenstelling zijn belangrijk voor de soortensamenstelling van de fauna. Dieren kunnen gebruik maken van de verschillende elementen in het landschap om hun levenscyclus te voltooien (Verberk et al., 2009). Verder is deze variatie voor het voortbestaan van populaties belangrijk, omdat in uitzonderlijk droge of juist nattere jaren individuen op gemiddeld genomen te natte, respectievelijk te droge plekken kunnen overleven.

Daarnaast zijn er diersoorten die op groter schaalniveau gebruikmaken van het landschap, zoals vogels die broeden in het bos, maar foerageren in aangrenzende heide of agrarisch gebied. Duidelijke voorbeelden zijn de Grote lijster (Poelmans et al., 2013) en Nachtzwaluw (Nijssen et al., 2012). Tussen, maar ook binnen vochtige bossen variëren het vochtregime, de invloed en kwaliteit van grondwater en de bodemsamenstelling. De variatie in zuurgraad, basenverzadiging, nutriëntenbeschikbaarheid, humusprofiel en strooiselkwaliteit zorgt voor variatie in de samenstelling van de vegetatie en fauna. Naast de variatie in standplaatscondities die de vegetatiesamenstelling bepaalt, is de soortensamenstelling van de fauna ook afhankelijk van de door beheer en successie beïnvloede structuur van de mos-, kruid-, struik- en boomlaag en van de regionale soortenpool en de landschappelijke positie van het bos (versnippering, omvang bos). De betekenis van bossen voor de faunadiversiteit is vooral groot wanneer het bos oud en uitgestrekt is. Alleen dan kan een rijke bosstructuur ontstaan met jonge tot zeer oude bomen, met zowel staand als liggend dood hout, een goed ontwikkelde struiklaag en met een afwisseling tussen open plekken met een warm, droog microklimaat en sterk beschaduwde plekken waarin een koel, vochtig microklimaat heerst. In jongere bossen kan hakhoutbeheer, mits op kleine schaal uitgevoerd, zorgen voor open plekken naast gesloten bos.

Sturende factoren in faunasamenstelling en voedselketen

De betekenis van vochtige bossen voor fauna kan zowel vanuit het perspectief van het voorkomen van (karakteristieke) soorten en gemeenschappen, als vanuit een functionele benadering omschreven worden. Met het oog op het verkrijgen van inzicht in problemen en herstel mogelijkheden van vochtige bossen is een benadering van het bosecosysteem aan de hand van stofstromen of voedselketenrelaties nuttig. Primaire producenten worden geconsumeerd door herbivoren. De samenstelling van de herbivorenfauna is afhankelijk van de soortensamenstelling van de vegetatie en van de kwaliteit van de voedsel- of waardplanten. Dit wordt gestuurd door bodemkwaliteit en hydrologische omstandigheden (waterstandregime en kwaliteit van bodemwater en evt. oppervlaktewater), waarop elders in dit rapport (zie Hoofdstuk 4) nader wordt ingegaan. Het dode plantenmateriaal, of strooisel, wordt benut door detritivoren. De soortensamenstelling van de detritivoren is hoofdzakelijk afhankelijk van de kwaliteit van het strooisel en van het vochtregime. De strooiselkwaliteit is weer afhankelijk van de soortensamenstelling van de vegetatie (bomen, struiklaag, kruidlaag, moslaag) en van de kwaliteit van de planten - en dus ook van de bodem. In zure bosbodems en zuur strooisel zijn bacteriën en regenwormen minder actief en zijn schimmels, nematoden en potwormen juist meer actief (Kemmers, 2011). In bossen spelen verder de consumenten van dood hout een belangrijke rol. Herbivoren en detritivoren worden geconsumeerd door predatoren. De samenstelling van de predatorenfauna is voor een groot deel afhankelijk van het prooiaanbod. Recent krijgt binnen OBN de kwaliteit van prooien in termen van nutriëntenbalansen en deficiënties (Van den Burg, 2000) – mede onder invloed van aantastingen (zie Hoofdstuk 7) – meer aandacht (Vogels et al., 2013; Van den Burg et al., 2014).

Belangrijke sturende factoren voor de soortensamenstelling van de diverse diergroepen in bossen zijn het microklimaat (i.v.m. thermoregulatie) en lichtintensiteit. Door het koele microklimaat zijn bossen bijvoorbeeld slechts voor een klein aantal bijensoorten aantrekkelijk (Peeters et al., 2012). Ook onder de dagvlinders zijn er weinig bossoorten, maar onder de nachtvlinders zijn er duidelijk veel meer echte bossoorten (Ebert, 1991). Veel soorten bladwespen zijn niet warmteminnend en prefereren locaties met halfschaduw en vochtige tot natte bosbiotopen, waar het vaak een paar graden koeler is dan op meer zonbeschenen plekken (Poelmans et al., 2013). De soortenrijkdom en abundantie van houtbewonende kevers op eiken is echter hoger naarmate de boom meer door de zon wordt beschenen (Koch Widerberg et al., 2012). Veel warmte- en lichtminnende insectensoorten zijn in bosgebieden vanwege de microklimatologische omstandigheden vooral te vinden in bosranden, zomen en open plekken (windworp of kapvlakte, soms ook in hakhout).

Speciaal in vochtige bossen kan het waterregime een belangrijke factor zijn in de soortensamenstelling. Bij overwintering en overzomerung speelt waarschijnlijk een sturende rol in hoeverre overstroming en zuurstofloosheid van de bodem optreedt. Voor de activiteit van de bodemfauna is vochtigheid van de bodem en het strooisel een belangrijke factor: in droge perioden zijn veel bodemdieren niet actief en neemt de afbraak van strooisel en humus af. De dieren bevinden zich dan dieper in de bodem, of in een stadium dat niet gevoelig is voor droogte (ei, pop of ruststadium). Voor predatoren van bodemfauna, zoals Houtsnip (*Scolopax*

rusticola), is het kunnen vinden van voldoende prooidieren dus afhankelijk van een voldoende vochtige bodem. Vochtigheid is ook voor slakken belangrijk, omdat het de hoeveelheid tijd bepaalt die een weekdier kan besteden aan voedselzoeken en voortplanting (Poelmans et al., 2013). Het voedsel van slakken omvat hoofdzakelijk algen en schimmels op rottend blad of hout en ook daarvoor geldt dat vochtigheid belangrijk is.

Levend en dood plantenmateriaal speelt uiteraard een sleutelrol in het boscysteem en zo ook in vochtige bossen. Twee derde van de 330 Nederlandse zweefvliegsoorten is in meer of mindere mate aan bos gebonden, hoofdzakelijk vanwege de larven die zich in dood hout of oude levende bomen ontwikkelen (Van Steenis & Reemer, 2013). In de leembossen van het Groene Woud zijn meer dan 100 keversoorten aangetroffen, die direct afhankelijk zijn van dood hout, meer dan 125 keversoorten van levende houtige gewassen en ruim 100 soorten die leven van kruidachtigen (Poelmans et al., 2013). Ongeveer 20 tot 35% van de aan bos gebonden biodiversiteit hangt af van oude bomen en dood hout (Vandekerkhove et al., 2013).

Zowel voor de beschikbaarheid en diversiteit van prooi-soorten, als voor de nestgelegenheid voor vogels is de structuur van het bos relevant. De mate waarin de boomlaag, struiklaag, kruidlaag en moslaag zijn ontwikkeld en het voorkomen van dood hout zijn belangrijke factoren. Tenslotte is de regionale soortenpool en het kolonisatievermogen (dispersiecapaciteit) mede bepalend voor de soortensamenstelling binnen de diverse functionele groepen. Hier spelen de afstanden en verbindingen tussen bosgebieden, het wel of niet hebben van vleugels en vliegspieren (bijv. bekend van loopkevers) en relaties met stabiliteit en ouderdom van het bos een rol (Vandekerkhove et al., 2013).

Karakteristieke soorten

Voor de Natura2000-habitattypen waartoe de vochtige bossen behoren zoals ze in dit preadvies worden behandeld, zijn de in Tabel 2.16 vermelde soorten voor Nederland als typische soort aangemerkt. De meeste van deze soorten zijn echter niet specifiek gebonden aan vochtige bossen. Hun voorkomen geeft ook in vochtige bossen in veel gevallen wel aan dat de biotische structuur goed genoemd kan worden. Zo zijn de spechtensoorten afhankelijk van insecten in staand en liggend dood hout en mieren op de bosbodem. Verder zijn holtes in bomen voor spechten en andere holenbroeders, maar ook voor vleermuizen, essentieel. Eikelmuis (*Eliomys quercinus*), Hazelmuis (*Muscardinus avellanarius*) zijn duidelijke voorbeelden van soorten die gebaat zijn bij een gevarieerde opbouw van de vegetatie, vooral bosranden met besdragende struiken. Beide soorten komen in Nederland bijna alleen nog in het Zuid-Limburgse heuvelland voor en worden aangemerkt als typische soorten voor Eikenhaagbeukenbossen in het heuvelland (H9160_B). De Grote bosmuis (*Apodemus flavicollis*) is eveneens aangemerkt als typische soort voor H9160_B, maar is recent ook gevonden in Oost-Groningen, Twente en de Achterhoek (o.a. Willinks Weust) (www.zoogdiervereniging.nl). De leefgebieden LG 13 en LG 14 bevatten alleen vogelsoorten met een zwaartepunt in droge bossen. De Kokerjuffer (*Lepidostoma hirtum*), de Vuursalamander (*Salamandra salamandra* ssp. *terrestris*) en de Waterspitsmuis (*Neomys fodiens*) zijn afhankelijk van (stromend) water of zeer nat bos en zijn te vinden in beekbegeleidende alluviale bossen (H91E0C).

Vogels in vochtige bossen

Houtsnippen leven vooral van regenwormen en daarnaast insecten (vooral kevers en keverlarven), spinnen en duizendpoten. Ze zijn gebaat bij een vochtige bodem, zodat prooidieren in de bodem voor hen bereikbaar zijn. De vochtige leembossen vormen voor Houtsnip de Nederlandse topgebieden (Poelmans et al., 2013). De Wielewaal (*Oriolus oriolus*) is niet aangemerkt als een karakteristieke soort, maar is ook een bosvogel met voorkeur voor vochtige bossen. De Wielewaal heeft een duidelijke voorkeur voor oudere populierenbossen. In jongere populierenbossen zijn de dichtheden ongeveer de helft lager. De Wielewaal doet het momenteel ook goed in vochtige berkenbossen in hoogveenrestanten en natte heidegebieden (Engbertsdijkvenen, Bargerveen, Dwingelerveld). Hoe dit komt, is onduidelijk, maar mogelijk speelt een rol dat deze bossen vochtiger zijn geworden dankzij de vernattingsmaatregelen en er daardoor meer voedsel (grote rupsen) beschikbaar is (Van Duinen et al, 2014).

Dagvlinders in vochtige bossen

Dagvlinders maken nauwelijks gebruik van het bos, maar vooral van bosranden (mantelvegetaties), open plekken in het bos en kapvlakten, vanwege het licht, structuur en waardplanten. Onder de nachtvlinders zijn veel meer echte bossoorten dan onder de dagvlinders (Ebert, 1991). Bossen vervullen echter wel een functie voor dagvlinderssoorten;

een aantal soorten is alleen in boscomplexen te vinden en ontbreekt in open landschappen die voor het overige gelijk zijn aan begroeiingen van bosranden en open plekken (Ebert, 1991).

Van de in Tabel 2.16 genoemde vlindersoorten zijn de in Nederland sterk achteruit gegane Kleine ijsvogelvlinder (*Limenitis camilla*) en de nog zeldzamere Grote weerschijnvlinder (*Apatura iris*) specialisten van vochtige bossen, waar ze vooral open plekken en bosranden benutten (Bink, 1992; Poelmans et al., 2013). De als karakteristieke soort voor beekbegeleidende vochtige alluviale bossen (H91E0C) aangemerkte Grote ijsvogelvlinder (*Limenitis populi*) is in Nederland uitgestorven. De laatste populatie leefde tot 1995 op Terschelling. Vroeger kwam de soort ook voor in Zuid-Limburg en in de buurt van Nijmegen (www.vlindernet.nl).

De waardplant van de Kleine ijsvogelvlinder is Kamperfoelie (vooral *Lonicera periclymenum*). De vlinder komt voor in open bossen, vooral kleine open plekken in het bos waar Kamperfoeliestruiken in de halfschaduw groeien (Bink, 1992). In verschillende complexen van beekbegeleidend bos en eiken-haagbeukenbos, zoals op Hackfort en de landgoederen bij Brummen, worden corridors in het bos aangelegd om interne bosranden te maken. In het Hekenbroek bij Hummelo, De Brand bij Udenhout en het Weerterbos komt de Kleine ijsvogelvlinder in hoge aantallen voor (mededeling R.J. Bijlsma). Al is de Kleine ijsvogelvlinder niet als typische soort aangemerkt voor Eiken-haagbeukenbossen (H9160_A), in Nederland is dit habitatype momenteel zeer belangrijk voor deze vlindersoort.

Tabel 2.16: Karakteristieke en constante diersoorten van Natura2000-habitattypen (H) en leefgebieden (LG) waartoe de vochtige bossen behoren die in dit preadvies worden behandeld. Ca = constante soort goede abiotische toestand; Cb = constante soort goede biotische structuur; Cab = constante soort goede abiotische toestand en goede biotische structuur; K = karakteristieke soort; x = soort van Vogelrichtlijn waarvoor leefgebied is aangewezen.

Table 2.16: Characteristic and constant animal species of Natura2000 habitat types (H) and living areas (LG) that include the forests on moist sites dealt with in this report. Ca = constant species good abiotic condition; Cb = constant species good biotic structure; Cab = constant species good abiotic condition and good biotic structure; K = characteristic species; x = species of Bird directive for which living area is designated.

	Beuken-eikenbossen met hulst	Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden)	Eiken-haagbeukenbossen (heuvelland)	Oude eikenbossen	Hoogveenbossen	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleid)	Bos van arme zandgronden	Eiken- en beukenbos van lermige zandgronden
Soortnaam	H9120	H9160_A	H9160_B	H9190	H91D0	H91E0_C	LG13	LG14
Eikenpage				Cab				
Grote ijsvogelvlinder						K		
Grote weerschijnvlinder						K		
Kleine ijsvogelvlinder						K		
<i>Lepidostoma hirtum</i>						K		
Vuursalamander						K		
Hazelworm	Cab							
Korhoen							x	x
Draaihals							x	x
Grote bonte specht	Cb		Cb			Cb		
Zwarte specht		Ca					x	x
Boomklever	Cb	Cb	Cb			Cb		
Nachtzwaluw							x	
Matkop				Cb	Cb	Cb		
Appelvink		Cb	Cb			Cb		
Houtsnip					Cab			
Bosuil		Cb	Cb					
Wespendief				Cab				
Eikelmuis			K					
Hazelmuis			K					
Grote bosmuis			K					
Waterspitsmuis						Cb		

De waardplant van de Grote weerschijnvlinder is vrijwel uitsluitend boswilg (*Salix caprea*), maar er zijn ook waarnemingen op grauwe wilg (*Salix cinerea*) en ratelpopulier (*Populus tremula*), hoewel sommige auteurs het gebruik van deze laatste soort in twijfel trekken (Willmott, 1990). De Grote weerschijnvlinder is dan ook vooral gebonden aan open vochtige loofbossen en wilgenbroekbossen waar de waardplant in voldoende dichtheden voorkomt (Tax, 1989; Bink, 1992; Groenendijk & Mensing, 2007).

Overige diergroepen

In 2012 is de Vermiljoenkever (*Cucujus cinnaberinus*; Habitatrichtlijn Bijlage II en IV) ontdekt in Nederland in een nu vochtig bos, waar door vernatting veel bomen zijn dood gegaan.

Voldoende aanwezigheid van vers dood, vochtig hout is de belangrijkste voorwaarde voor vestiging (Noordijk et al, 2013).

Het in 2013 verschenen boek 'Leembossen in Het Groene Woud' (Poelmans et al., 2013) geeft een mooi overzicht van de het voorkomen van diersoorten van verschillende diergroepen in deze bossen. De hierin gegeven informatie geldt ten dele ook voor vochtige bossen elders in Nederland. Het onderzoek dat voor dit boek is uitgevoerd, maakt duidelijk dat vochtige bossen -daadwerkelijk of in potentie- een belangrijke functie vervullen voor veel soorten.

3. Sturende processen op landschapsschaal

3.1 Inleiding

Vochtige bossen komen voor in de fysisch geografische regio Hogere zandgronden, waarbinnen in O+BN-verband drie landschappen worden onderscheiden: Droog zandlandschap, Nat zandlandschap en Beekdallandschap. Voor de plaatsbepaling van vochtige bossen zijn deze landschappen nader ingedeeld volgens de PAS-herstelstrategieën op landschapsschaal (Jansen et al., 2014 concept). Aldus wordt beleidsmatig aangesloten bij Natura 2000 en de PAS. Voor elke hoofdgroep van de vochtige bossen, respectievelijk die van dekzanden, van stagnante locaties en van de beekdalen zal de landschapsecologische positie worden besproken, evenals de hydrologische processen op landschapsschaal die sturend zijn voor hun standplaatscondities. Deze beschrijvingen gaan vergezeld van een korte typering van de belangrijkste achterliggende abiotische factoren: reliëf en geologische opbouw. Reliëf en geologie vormen het nagenoeg onveranderlijke kader voor de ecosysteemontwikkeling. Voor de hydrologie geldt dit niet. Veranderingen in de waterhuishouding (grondwaterstroming, grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit) in het verleden geleid tot ontwikkeling dan wel degradatie van groeiplaatsen van vochtige bossen. Behalve grondwaterstroming en het verloop van de grondwaterstanden gedurende het jaar is grondwaterkwaliteit voor grondwater gevoede systemen van groot belang. Niet alleen de zuurgraad, de basenrijkdom en de alkaliniteit zijn van belang, maar evenzeer de gehalten aan nitraat, sulfaat, ijzer, fosfaat etc. Zo kan nitraatuitspoeling leiden tot een toename van de sulfaatconcentratie van het grondwater en een afname van de ijzerconcentratie. Dit is een voorbeeld van een proces dat op landschapsschaal de uiteindelijke grondwatersamenstelling op standplaatsniveau bepaalt. Zulke processen spelen in alle gradiënten die hierna worden beschreven en zijn daarom typologisch niet onderscheidend. Op standplaatsschaal zijn ze uiteraard wel van groot belang. Ze komen daarom in hoofdstuk 4 uitgebreid aan de orde. Verbetering van de waterhuishouding kan in de toekomst (gedeeltelijk) herstel en ontwikkeling van vochtig bossen mogelijk maken. Daarbij geldt dat subtiele verschillen in hydrologie significante verschillen in bostype kunnen bewerkstelligen. Om die redenen is het aspect hydrologie in de te beschrijven gradiënten nader uitgewerkt. Vochtige bossen in de beekdalen kunnen deel uitmaken van grotere grondwatersystemen. In de "dekzandbossen" en de "stagnante bossen" zijn echter lokale grondwatersystemen en schijngrondwaterspiegels bepalend voor het ontstaan van vochtige bossen. Voor de aanduiding van geomorfologisch en bodemkundig min of meer homogene eenheden (fysiotopen, standplaatstypen) binnen de sublandschappen wordt tevens aangesloten op de fysiotopenindeling zoals o.a. gebruikt in SynBioSys (De Waal, 2003). De relatie tussen sublandschappen, fysiotopen, bodemtypen en humusvormen is weergegeven in Tabel 2.6.

3.2 Landschappelijke positie van vochtige bossen

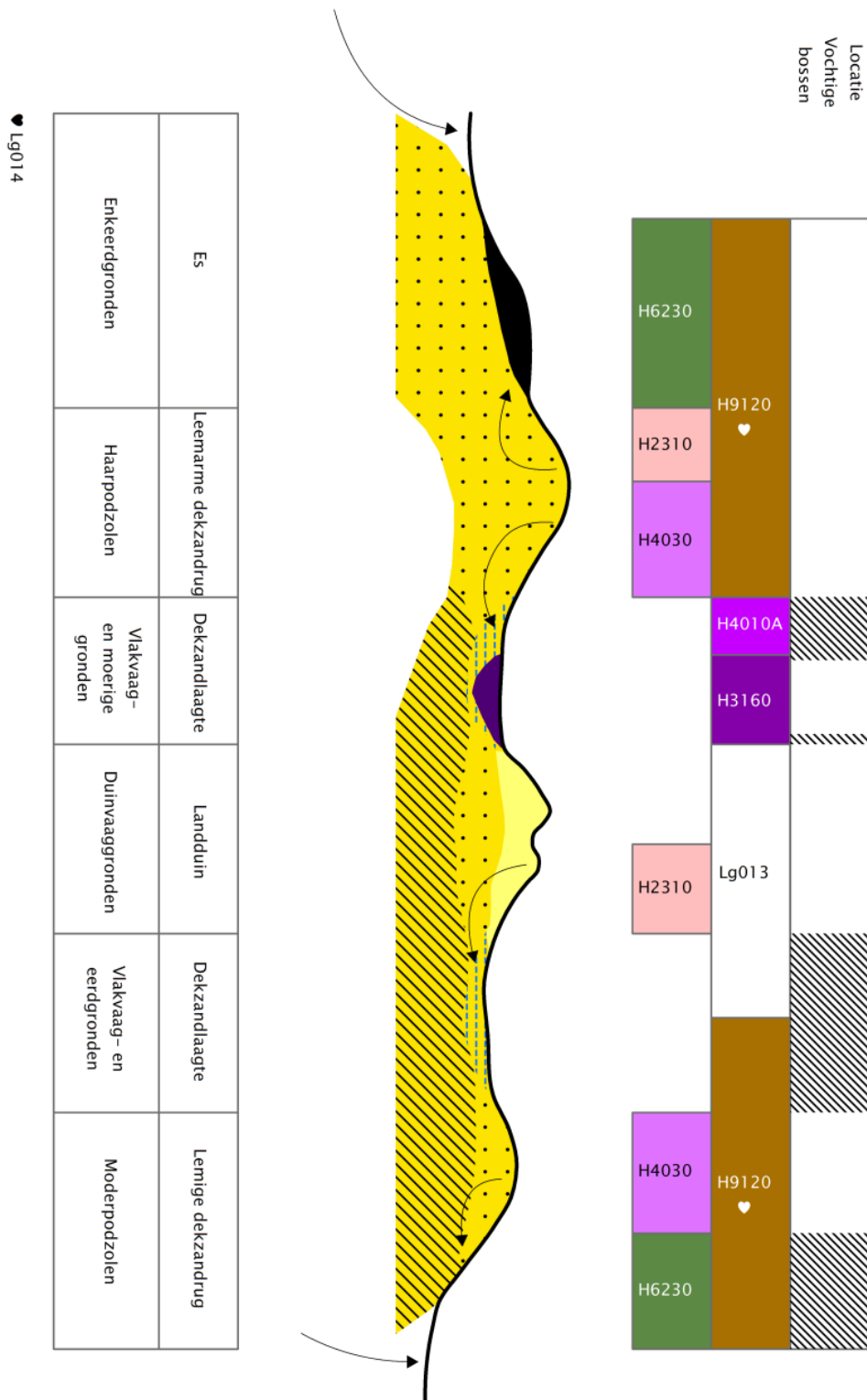
3.2.1 Door regenwater of lokaal grondwater gevoede laagten in pleistocene zandgebieden (dekzandbos)

Het dek- en stuifzandlandschap is ten opzichte van andere landschappen met vochtige bossen gekenmerkt door een schaarste aan oude bossen. Het dekzand (Figuur 3.1) kenmerkt zich door een afwisseling van lage dekzandruggen, laaggelegen vlakten en laagtes, met een gering reliëf (enkele meters) en qua textuur en mineralogie homogeen substraat, d.w.z. dekzand (Bijlsma et al., 2013). Het meestal dikke pakket jong dekzand ligt op veel plekken op lemiger en mineralogisch rijker (basenrijker) oud dekzand. De differentiatie in bodem en standplaats binnen dit landschap hangt direct samen met vochtverschillen en de daaraan gekoppelde landgebruiksgeschiedenis die uiteindelijk heeft geleid tot een sterke gradiënt in nutriëntstatus en P-beschikbaarheid. De bodems van het dekzandlandschap met heiden en vochtige bossen bestaan voor een heel groot deel uit sterk verarmde en verzuurde humuspodzolen. In het laatste geval is de nutriëntstatus en P-beschikbaarheid zeer laag. In minder verarmde gebieden komen moderpodzolen en lemige dekzanden voor, waarbij de overgangen naar de beekdalen en grondwater gevoede laagten worden gevormd door gooreerdgronden. In door basenrijk grondwater gevoede laagten bestaat de bodem uit vlakvaag- en/of beekerdgronden, in door zuur en matig zuur grondwater gevoede gronden uit vlakvaaggronden, moerige gronden en veengronden. In het Stuifzandlandschap (Figuur 3.2) gaat het bijna steeds om verstoven dekzanden. De vochtige bossen zijn er beperkt tot de zogenoemde plateaurestduinen (overstoven dekzand- en/of veenprofielen; 'forten'). Het grondwaterregime en de grondwaterkwaliteit van vochtige bossen in het dek- en stuifzandlandschap wordt in hoge mate bepaald door inzigging van regenwater en soms door zijdelingse toestroming (lokale kwel) van zuur grondwater uit lokale grondwatersystemen. Verder spelen de dikte van het ingewaarde stuifzand en de hoeveelheid betrekkelijk snel verweerbare mineralen daarin een rol.

De vochtige bossen in dit landschap behoren vegetatiekundig beschouwd tot het Zomereikverbond (*Quercion roboris*) en het Verbond van de naaldbossen (*Dicrano-Pinion*; indien beplant met of overheerst door naaldbomen; Stortelder et al., 1999b). In goed ontwikkelde toestand gaat het vooral om begroeiingen van het Berken-Eikenbos (*Betulo-Quercetum roboris*), maar het meest voorkomend zijn romp- en derivaatgemeenschappen van het *Verbond van de naaldbossen*. Wanneer oude dekzanden of (sterk) lemige dekzanden aanwezig zijn kunnen vochtige Beuken-Eikenbossen (*Fago-Quercetum*) ontwikkeld zijn.

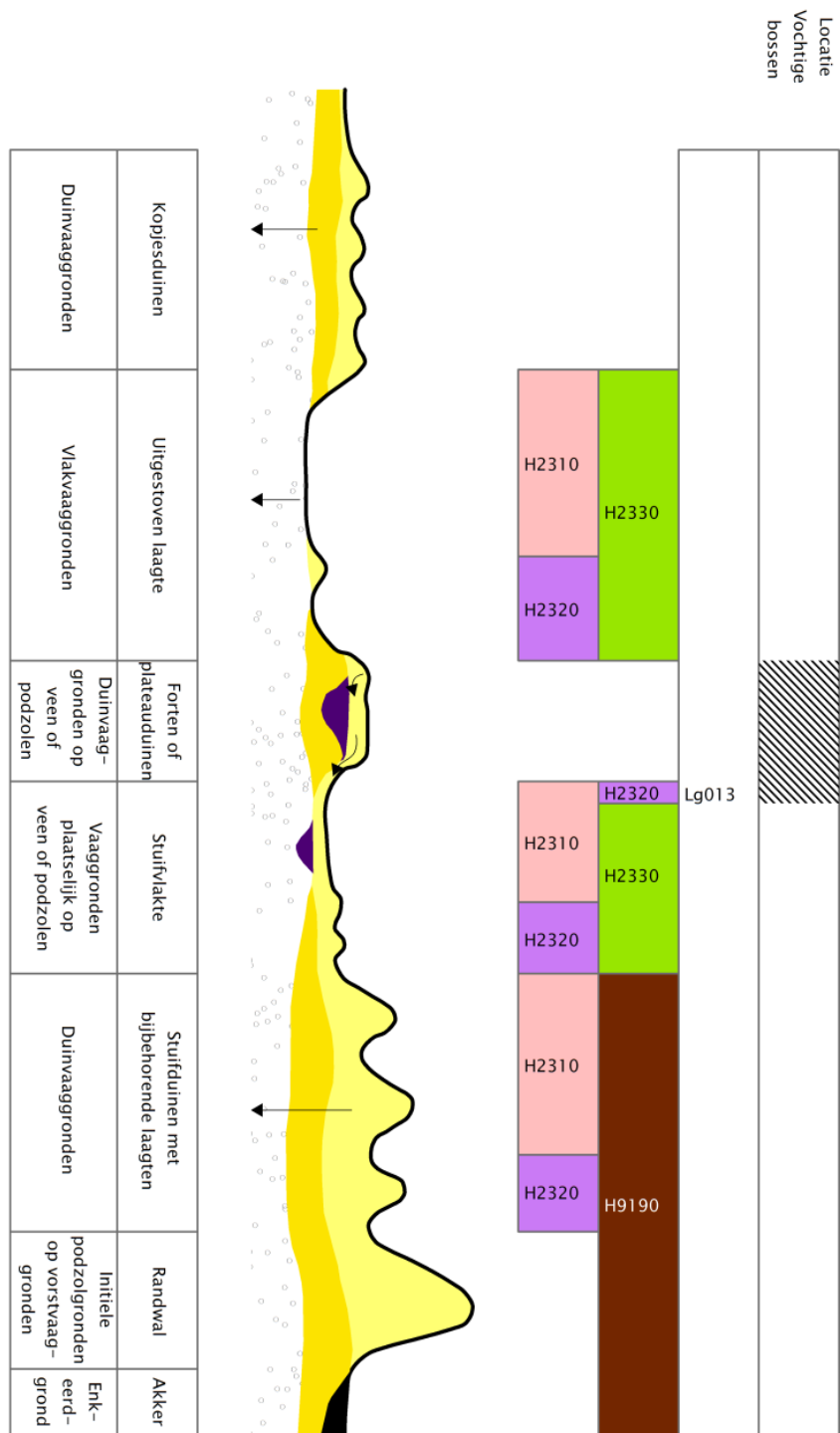
Op de flanken en aan de randen van de fortten kan het Kussentjesbos-Dennebos (*Leucobryo-Pinetum empetretosum*) worden aangetroffen (Foto 3.2). Bij verdroging van de veentjes in deze fortten kunnen (Rompgemeenschappen van) Berkenbroeken (*Betulion pubescentis*) ontstaan.

Typisch voor dit landschap zijn zogenoemde "zure laagten zonder schijnspiegel", zeer zwak gebufferde laagten en zwak gebufferde laagten. De twee laatst genoemde laagten kunnen overigens ook voorkomen in het grondmorene- en terrassenlandschap. Vochtige bossen bevinden zich tussen de hogere en droge gronden en de laagten. Het betreft veelal vochtige Berken-Eikenbossen, langs de randen van de laagten kan plaatselijk Berkenbroek zijn ontwikkeld. Treedt in deze overgang laterale stroming van lokaal grondwater op dan kunnen Gagelstruwelen (H 40-RG1-[40Aa]) voorkomen in afwisseling met Berkenbroeken (H91D0).



Figuur 3.1.: Locaties met vochtige bossen in het dekzandlandschap. Gewijzigd naar Bijlsma, Sevink & De Waal, 2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.1: Position of moist forests in the airborne sand landscape. Changed after Bijlsma, Sevink & De Waal, 2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur 3.2. : Locaties met vochtige bossen in het stuifzandlandschap. Gewijzigd naar Bijlsma et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1 .

Figure 3.2: Position of moist forests in the inland drift sand landscape. Changed after Bijlsma et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

3.2.2 Stagnerende leem- en kleigronden (stagnatiebos)

Deze vochtige bossen zijn vooral te vinden in het grondmorene- en terrassenlandschap en in het beekdallandschap daar waar zich slecht doorlatende leemlagen nabij het maaiveld bevinden. Verder kunnen ze plaatselijk voorkomen in het stuwwallen landschap aan de bovenzijde van bronnen.

Het reliëf in het grondmorene- en terrassenlandschap is vaak glooiend vanwege de discontinue afzetting van het dekzand. Het kan plaatselijk reliëfrijk zijn door rivierduinen en duinvorming in lokale stuifzanden. Verder kunnen in de keileem en de terrasafzettingen geulen zijn ingesneden met plaatselijk dikkere dek- of stuifzandzandlagen (Bakker et al., 1986). In deze geulstructuren liggen vaak veentjes of andere natte laagten (Everts et al., 2005). Deze zijn door Everts et al. (2014 concept) beschreven als schijnspiegellaagten (zie § 3.3.2). Dit onregelmatige pre-dekzand reliëf resulteert in een op korte afstand wisselende drainage. In het terrassenlandschap van zuidelijk Nederland is het oppervlak van de slecht doorlatende oude afzettingen regelmatig (geen grondmorenes) en vertoont daarmee duidelijker aan het macroreliëf gekoppelde patronen in drainage. Lemige tot kleiige banken komen voor op hellingen aan of nabij het oppervlak en leiden daar tot uitredend water of drasse zones. Ook laagten in terrassen kunnen sterk wisselvochtig zijn.

Grondmorene en daaraan verwante afzettingen kunnen mineralogisch sterk wisselen in rijkdom maar zijn in het algemeen rijker dan dekzanden. De zeer slechte doorlatendheid leidt tot een sterke afwisseling van reductieve en oxidatieve omstandigheden met afvoer van ijzer, waardoor in de veelal zandige bovengrond (meestal dekzand of stuifzand) toch een aanzienlijke verzuring en podzolering is opgetreden. Dit wordt nog versterkt in geval van latere verdroging.

De slenken en laagten in het terrassenlandschap zijn veel minder goed beschreven dan die in het grondmorenelandschap. Langs de Oude IJssel liggen diverse uitgeveende laagten op schijnspiegels. Vergelijkbare schijnspiegellaagten zijn eveneens bekend van de Zuidelijke IJsselvallei ter hoogte van Voorst-Klarenbeek. Op grond van hun vegetatie (Jansen & Vegter, 1991; Jansen et al., 2001; De Kort-Langeveld & Jansen, 2011) behoren deze laagten tot de zwak gebufferde laagten.

Het stuwwallenlandschap (zie Figuur 3.4) bestaat uit stuwwallen, smeltwaterterrassen tussen de stuwwallen, 'droge dalen' aan het uiteinde waarvan de puinwaaiers liggen en spoelzandvlakten (Bijlsma et al, 2013). In lage delen van de stuwwallen zijn de grindhoudende oudere afzettingen vaak bedekt door (verspoeld) dekzand van wisselende dikte. Dekzand komt ook voor als langgerekte, geïsoleerde ruggen op de hogere delen van de stuwwallen, vooral op de Veluwe. Dekzanden gaan aan de zuidzijde van de Veluwezoom, maar ook van het Montferland en het Rijk van Nijmegen, over in zandige löss, die mineralogisch veel rijker en lemiger is dan het dekzand. Op deze dekzandruggen komen lokaal stuifzanden voor. In de stuwwallen wisselen grind-, zand- en leemlagen elkaar af in een patroon dat door de stuwricting is bepaald, met zeer plaatselijk resten keileem (bijvoorbeeld op de Havelterberg). Gronden komen voor als hogere, zeer droge koppen en ruggen; leem vooral in langgerekte depressies in de stuwwal.

In het stuwwallandschap zijn vochtige bossen en andere van vochtige standplaatsen afhankelijke plantengemeenschappen zeldzaam. Dat komt doordat de grondwaterstanden over het algemeen zeer diep zijn (meerdere meters onder maaiveld). Slechts daar waar scheefgestelde of verspoelde kleien of lemen dagzomen of andere slecht doorlatende lagen (met ijzer, mangaan en organische stof verkitten horizonten) voorkomen, heersen vochtige tot natte omstandigheden. Wanneer dikkere pakketten van slecht doorlatende lagen steile hellingen aansnijden kunnen hellingvenen tot ontwikkeling komen. Voorwaarde voor het ontstaan van dergelijke venen is dat gedurende het gehele jaar oppervlakkige toestroming van grondwater optreedt. Uitgestrektere hellingvenen ontstaan alleen wanneer grondwater toestroomt uit een voldoende groot intrekgebied. Bij kleine veentjes kan dat intrekgebied zeer lokaal van aard zijn, zoals bij het hellingveentjes op de Holterberg en de Archemerberg in Overijssel (Bell & Hullenaar 2010; 2011). Wanneer zulke hellingvenen licht ontwaterd worden, ontwikkelen zich Berken- en wilgenbroeken.

Hydrologisch gezien is het stuwwallandschap een inzijgingsgebied met een vaak metersdiepe grondwaterspiegel. Alleen in insnijdingen in de voetzone komt dit grondwater aan het oppervlak (Figuur 3.5). Daarnaast treedt in de vlakkere delen van de voetzone plaatselijk stagnatie op. Op de stuwwallen zelf of op hun puinwaaiers of spoelzandzones kunnen ook schijnspiegelsystemen optreden. Deze schijnspiegels bevinden zich op nabij het maaiveld

gelegen lemen of kleien of andere slechtdoorlatende lagen (gliede, verkitte B-horizont, ijzerbanken). Op de Hoge Veluwe komen verkitte horizonten voor op plaatsen waar een dunne (tot circa een halve meter) laag stuifzanden op grovere dekzanden en/of waai- en spoelzanden ligt (Jansen et al., 2013). De verkitte, ondoorlatende horizonten kunnen in de podzol B zijn gevormd, maar ook op enige diepte eronder. In laagten die gevoed worden door lateraal afstromend water uit deze schijnspiegelsystemen kunnen zich zowel zure als zwak zure stagnatielaagten vormen (voor bijvoorbeeld de de Hoge Veluwe zie Jansen et al., 2008; Jansen et al., 2013; voor het Gooi zie Sevink & Vlamink, 2006). Bij een voldoende hoge ijzerrijkdom van het lokale toestromende grondwater kunnen onder invloed van oxidatie en reductieprocessen zelfs zwak gebufferde laagten ontstaan (Jansen et al., 2013). Voor de zogenoemde "stagnatiebossen" in deze landschappen zijn inzijing en stagnatie van neerslagwater en laterale afstroming (sub-surface flow; lokale kwel) de sturende hydrologische processen (Figuren 3.3 & 3.4). Op bovenlokale schaal zijn deze systemen vanuit hydrologisch oogpunt te beschouwen als inzijingebieden. De bodems van de vochtige bossen in deze landschappen zijn gekenmerkt door wisselvochtigheid (hoge GHG's in combinatie met diepe GLG's): een dunne zandige bovengrond met een beperkte bergingscapaciteit ligt op een betrekkelijk slecht doorlatende lemige tot kleiige ondergrond.

Geulsystemen met vochtige bossen in het grondmorene- en terrassenlandschap takken vaak aan op beekdalen, zowel in boven-, midden- als benedenlopen en vormen aldus oorsprongen van beeksystemen (Bakker et al., 1987; Grootjans et al., 2014).

De variatie aan vochtige bos- en andere plantengemeenschappen van vochtige omstandigheden is groot in het grondmorene- en terrassenlandschap. Het betreft hier in de eerste plaats jonge bebossingen op een ondiepe ondergrond met keileem, potklei of terrasleem. Deze bebossingen zijn vanwege hun ruimtelijk heterogeen optredende extremen in vochtcondities (langdurige stagnatie versus betonharde indroging met soms zelfs krimpscheuren) nauwelijks interessant als productiebos. Vaak is door begreppeling, rabattering of diepe bodembewerking geprobeerd de groeiomstandigheden te verbeteren.

De ecologische diversiteit van deze bossen is laag, ook voor soorten van Lg13 en Lg14 (Bos van arme zandgronden resp. Eiken- en beukenbos van lemige zandgronden). Plaatselijk kunnen echter oude boskernen voorkomen met hoge natuurwaarden. Het gaat om Oude eikenbossen (droge standplaatsen van dikkere pakketten stuifzanden en leemarme dekzanden; H9190), Beuken-Eikenbossen met hulst (H9120, op dunne zandpakketten of op leem) en Eiken-Haagbeukenbossen van de hogere zandgronden (H9160A, op terrasleem).

Het merendeel van de vochtige bossen in het grondmorene- en terrassenlandschap behoort vegetatiekundig beschouwd tot het Zomereik-verbond en het Verbond van de naaldbossen (indien beplant met of overheerst door naaldbomen; Stortelder et al., 1999b). In goed ontwikkelde toestand gaat het vooral om begroeiingen van het Berken-Eikenbos, maar het meest voorkomend zijn romp- en derivaatgemeenschappen van het Verbond van de naaldbossen. Het Beuken-Eikenbos (H9120) is kenmerkend voor oude bosgroeiplaatsen op de leemrijke bodems in dit landschap.

Op terrasvlaktes met oude rivierklei, zoals in de Oude IJsselstreek en juist ten westen van Nijmegen, liggen landelijk gezien belangrijke concentraties van Eiken-Haagbeukenbossen (H9160A; *Carpinion betuli*). Helaas zijn de meeste van deze bossen gerabatteerd. Het Heksenbos van de Willinks Weust (geërodeerde grondmorene) is een vergelijkbaar H9160A maar dan ongerabatteerd. Hier, maar bij voorbeeld ook in de Bijvank bij Beek (bij 's Heerenberg), het Heekenbroek (bij Hoog-Keppel), Slangenbrug (bij Doetinchem) en in het Anholtse Broek in de zuidelijke Achterhoek, is nog een ruimtelijk patroon zichtbaar met gradiënten als gevolg van subtiele hoogteverschillen: van hoog gelegen koppen met Adelaarsvaren en Dalkruid (*Maianthemum bifolium*) (Beuken-Eikenbossen), via typische Eiken-Haagbeukenbosflora met Bosanemoon naar stagnerende plekken met Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*), Gele lis (*Iris pseudacorus*) en andere met broekbossen geassocieerde soorten (overgangen naar het Bos van Els en Vogelkers (*Alno-Padion*) en het Elzenbroek (*Alnion glutinosae*); zie ook De Waal & Bijlsma 2003). Ook op de Noord-Nederlandse potkleiafzettingen, vooral die nabij Roden-Leek-Nietap en lokaal bij Gasteren, hebben zich Eiken-Haagbeukenbossen van de hogere zandgronden ontwikkeld. Op de laagste delen, onder langdurig nattere omstandigheden hebben zich hier ook bossen van het *Alno-Padion* (Verbond van Els en Vogelkers) ontwikkeld.

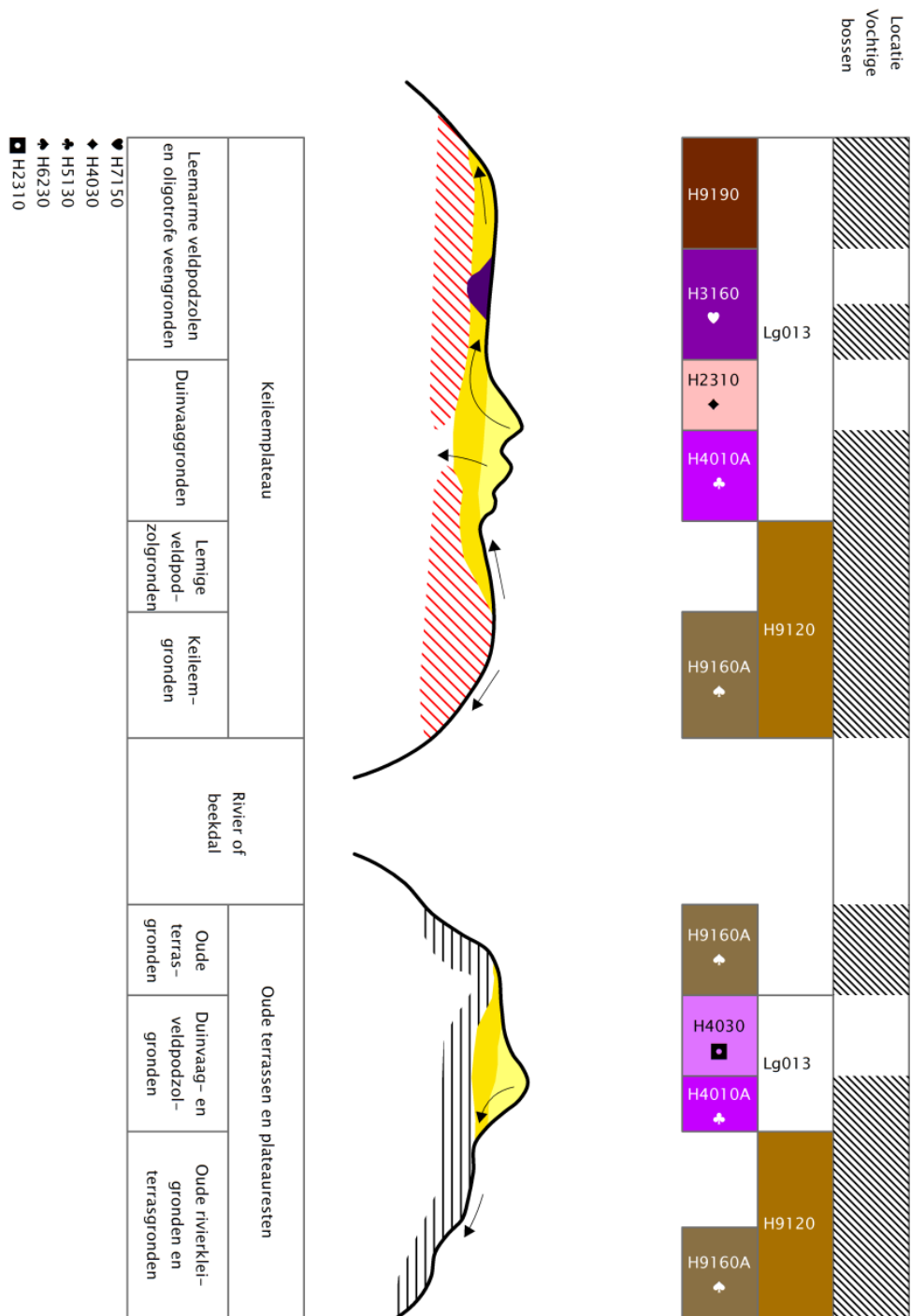
Grote delen van het stuwwallenlandschap zijn in de tweede helft van de negentiende en in de eerste helft van de twintigste eeuw bebost. Op de vochtige, leemarme en zuurdere plaatsen

gaat het om Lg13 (Bos van arme zandgronden) en op de vochtige, leemrijke en zwak gebufferde bodems om Lg14 (Eiken- en beukenbos van lemige zandgronden). De ecologische diversiteit van deze bossen is laag, ook voor soorten van Lg13 en Lg14. De vochtige bossen in het stuwwallandschap behoren vegetatiekundig beschouwd tot het Zomereik-verbond en het Verbond van de naaldbossen (indien beplant met of overheerst door naaldbomen; Stortelder et al., 1999b). In goed ontwikkelde toestand gaat het vooral om begroeiingen van het Berken-Eikenbos, maar het meest voorkomend zijn romp- en derivaatgemeenschappen van het Verbond van de naaldbossen. Aan wisselvochtige omstandigheden gebonden Beuken-Eikenbossen komt voor op plaatsen waar zure kleien en lemen zich nabij het maaiveld bevinden. Verder kunnen deze bossen, ook wanneer ze zijn gedegradeerd tot strubbenbos, rond of nabij de nederzetting, in lichtere substraten, op moderpodzolen voorkomen (zie Figuur 3.3).

In de slenken in het grondmorenelandschap is de invloed van heel licht gebufferd en CO₂-rijk grondwater vaak het grootst (Tomassen et al., 2011). Hier zijn de mogelijkheden voor de ontwikkeling van hoogveen groot. Bij verdroging of bij voortgaande successie kunnen in en langs de randen van deze veentjes Berkenbroeken (H91D0) ontstaan. Voorbeelden van fraai ontwikkelde stagnatielaagten op leembodems zijn te vinden op het Drents Plateau in het Dwingelderveld (Verschoor et al., 2003), op het Ooster- en Westersand (bij Havelte), in het Drents-Friese Wold op het landgoed Boschoord (bij Vledder; Jansen et al. 2010), op de grondmorene van Oost-Twente (Schijvenveld en Vörgersveld bij Delden) en het Lankheet (bij Haaksbergen). Ook langs de randen van herstellende hoogvenen kunnen Berkenbroeken voorkomen zoals in het Wooldse Veen. Ook in het stuwwallenlandschap komen plaatselijk fraai ontwikkelde zure vennen en heideveentjes voor met Berkenbroeken of vochtige Berken-Eikenbossen. Op de Veluwe betreft het enkele veentjes in het Nationaal Park de Hoge Veluwe, het Mosterdveen nabij Nunspeet en Kroondomein de Bieze. Vrijwel al deze laagten liggen op de overgang naar stuifzandlandschappen, waarbij slecht doorlatende horizonten zijn ontstaan (Jansen et al., 2013). Het grondwater dat deze veentjes voedt is afkomstig uit schijnspiegelgrondwatersystemen in de landduinen (Jansen et al., 2008; Jansen et al., 2013). Zulke laagten zijn soms (zeer) zwak gebufferd. Vochtige bossen in het stuwwallenlandschap zijn soms ontwikkeld op plaatsen waar ondiep leem aanwezig is, zoals het Fazantenbos op de Hoge Veluwe.

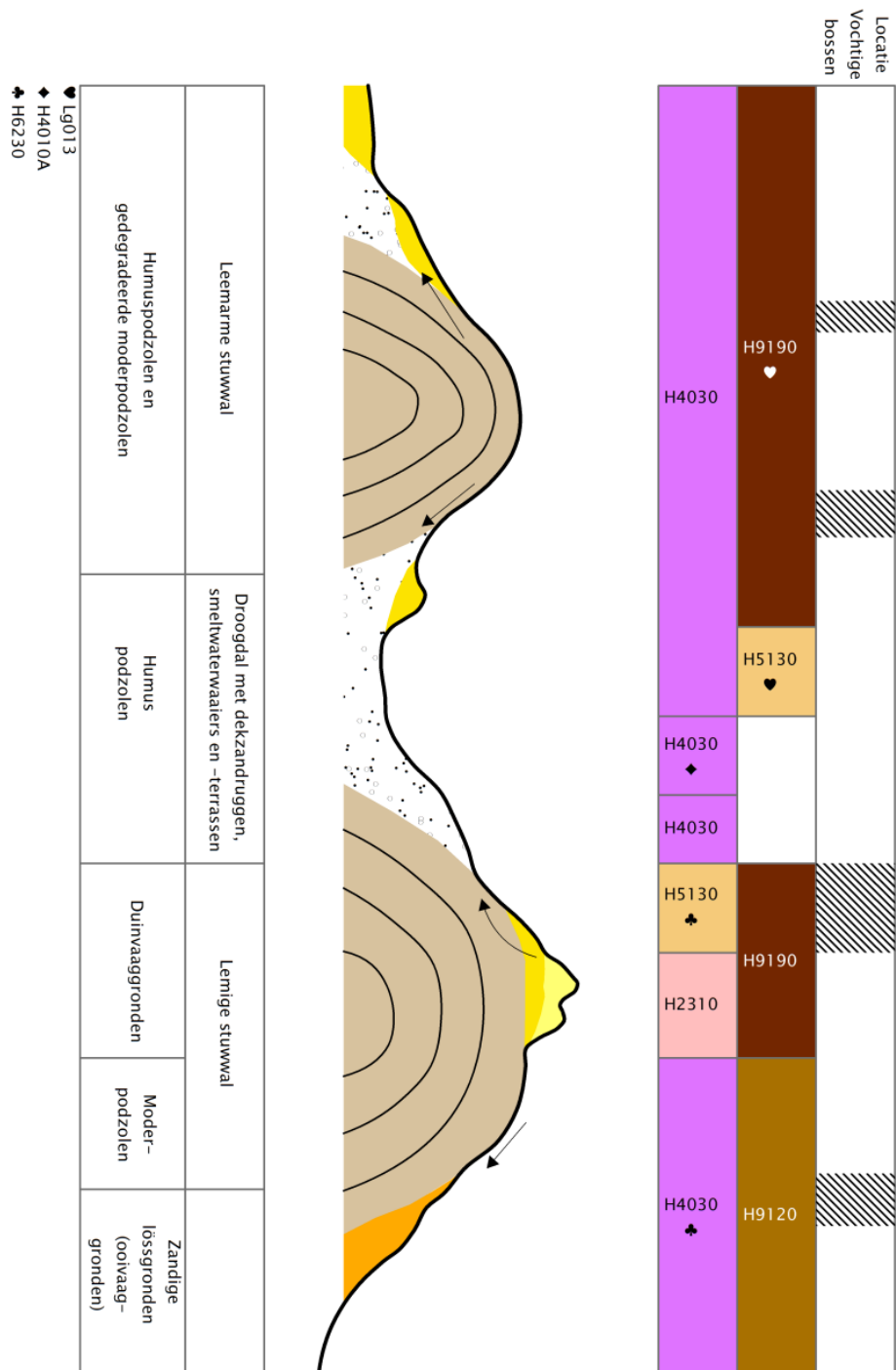
In het grondmorene en terrassenlandschap en ook op de flanken van het stuwwallenlandschap zijn plaatselijk hellingvenen ontwikkeld. Voor zover begroeid met bos, kan de vegetatie tot de Berkenbroeken worden gerekend. Plaatselijk komen struwelen van Grauwe wilg (*Salix cineræae*) voor. Voorbeelden van zulke hellingvenen zijn de Groene plas & Horsterveen (bij Haaksbergen), in Zuid-Limburg de Brunssumerheide, de Breukberg en het Schutterspark (alle bij Brunssum) en in Midden-Limburg op Maasterrassen het Haselaersbroek (bij Echt) en de Meinweg (omgeving Roode beek). Voorbeelden uit het stuwwallenlandschap zijn het Wisselse Veen en landgoed Tongeren, beide op de oostelijke Veluwezoom.

In het beekdalenlandschap kunnen plaatselijk ook slecht doorlatende lagen voorkomen. Het betreft zowel beekdalen in stuwwallen als in het grondmorene – en terrassenlandschap. Deze bossen behoren vegetatiekundig tot het Bos van Els en Vogelkers en het Eiken-Haagbeukenbos. De bossen zijn vaak lintvormig en behoren in de Natura 2000-systematiek tot de beekbegeleidende bossen (H91E0C). Ze komen fraai ontwikkeld voor op het Oost-Nederlands Plateau, met een zwaartepunt in de omgeving van Winterswijk (Heksenbos), de Achterhoek (Ulenpas, Slangenburger), in Twente (Smoddebos, Achter de Voort en verschillende bossen op de stuwwal van Oldenzaal) en in Noord-Brabant op de zogenoemde Brabantse Leem (De Geelders, Ulvenhoutse Bos, De Mortelen, De Brand) en zijn verder te vinden in het rivierterrassenlandschap van de Maas (onder andere in het Leudal), maar ook langs de IJssel (bijvoorbeeld landgoed Voorstonden en landgoed Leusveld).



Figuur.3.3: Locaties met vochtige bossen in het grondmorene- en terrassenlandschap. Gewijzigd naar Bijlsma et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.3: Position of moist forests in the moraine and river terrace landscape. Changed after Bijlsma et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur.3.4: Locaties met vochtige bossen in het stuwwallandschap. Gewijzigd naar Bijlsma et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.4: Position of moist forests in the pushed moraine landscape. Changed after Bijlsma et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

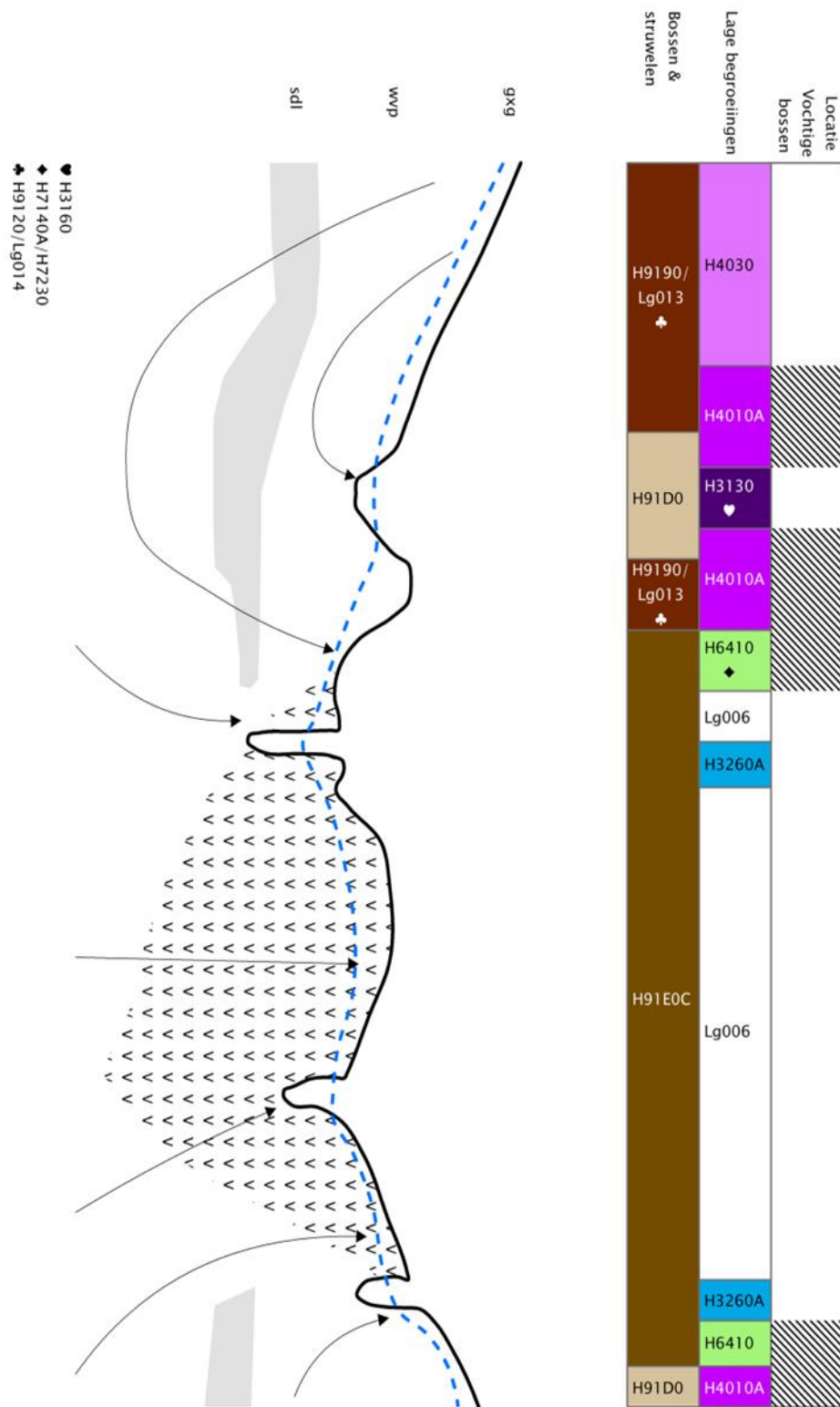
3.2.3 Vochtige bossen in het beekdallandschap (beekdalbos)

Beekdalen zijn bij uitstek gradiëntrijke landschappen. De waterhuishouding heeft een belangrijke ruimtelijk structurende werking op de vegetatie. Factoren als kwel (lokaal, subregionaal, regionaal), kwelintensiteit, natuurlijke of door de mens gestuurde of onbewust veroorzaakte inundaties, stagnatie en al of niet geredde afvoer van beekwater onder invloed van verschillen in verval dragen bij aan de grote verscheidenheid aan veenvormende en niet-veenvormende plantengemeenschappen. Binnen een beekdal bieden de oorsprong, bovenloop, middenloop en benedenloop een grote verscheidenheid aan gradiënten.

Gradiënten van beekdalen hebben een zeker raakvlak met die van het nat zandlandschap.

Beekdalen zijn gekenmerkt door zowel dwars- als lengtegradiënten, terwijl het natte zandlandschap gekenmerkt is door alleen dwarsgradiënten. In de beekdalen treedt in stroomafwaartse richting (lengtegradiënt) een verschuiving op in de voeding van grondwater door kwel van voornamelijk lokale naar voornamelijk bovenlokale herkomst waarbij water al dan niet via een beek oppervlakkig wordt afgevoerd en de kans op overstromingen vanuit de beek toeneemt. Ten slotte is in het nat zandlandschap inzijging van regenwater het overheersende proces, waarbij plaatselijk kwel van meer lokale herkomst kan optreden, terwijl de waterhuishouding in het beekdallandschap wordt bepaald door kwel van lokaal en bovenlokaal grondwater.

Vochtige bossen bevinden zich veelal op de flank van het beekdal in de boven- en middenlopen d.w.z. op de overgang van de hogere (dekzand en / of grondmorene) naar de lagere veen- of andere sterk door grondwater gevoede gronden (zie Figuur 3.5). Ze behoren vegetatiekundig tot het Bos van Els en Vogelkers, de best ontwikkelde tot het Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*). De bossen zijn vaak lintvormig en behoren in de Natura 2000-systematiek tot de beekbegeleidende bossen (H91E0C). Ze nemen in de hoogtegradiënt een positie in tussen de hogere gronden met vochtige bossen van het *Zomereik-verbond* en het *Verbond van de naaldbossen* (indien beplant met of overheerst door naaldbomen; Stortelder et al., 1999) en de zeer natte, lage gronden met Elzenbroeken of natte hooilanden (Dotterbloemhooilanden (*Calthion palustris*), Kleine-zeggenmoerassen (*Parvocaricetea*)). Voorbeelden van goed ontwikkelde door bovenlokaal, basenrijk grondwater gevoede vochtige bossen zijn schaars, aangezien de meeste beekdalen sterk ontwaterd zijn en deze van nature natte vruchtbare plaatsen grotendeels zijn ontgonnen. Ze komen plaatselijk nog goed ontwikkeld voor langs de Drentse Aa (Burgvollen, Amen), langs de Boven-Slinge (Buskersbos en Bekendelle), in Twente langs de Dinkel (landgoed Singraven) en langs de Dommel (Urkhovense zeggen).



Figuur 3.5: Beekdal met sterke kwel. Gewijzigd naar Grootjans, Everts, Eysink, Jansen, Smolders & Takman, 2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.5: Brook valley with high seepage intensity. Changed after Grootjans, Everts, Eysink, Jansen, Smolders & Takman, 2014 concept). For legend see box 3.1.

Kader 3.1: Legenda van de figuren 3.1 t/m 3.13.

Box 3.1: Legend for the figures 3.1 to 3.13.

Legenda

	H2310	Stuifzandheiden met struikhei
	H2320	Binnenlandse kraaiheibegroeiing
	H2330	Zandverstuiving
	H3110	Zeer zwakgebufferde vennen
	H3130	Zwakgebufferde vennen
	H3140	Kranswierwateren
	H3160	Zure vennen
	H3260A	Beken en rivieren met waterplanten (waterranonkels)
	H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)
	H4030	Droge heiden
	H5130	Jeneverbessenstruwelen
	H6230	Heischrale graslanden
	H6410	Blauwgraslanden
	H7110A	Actieve hoogvenen (heideveentjes)
	H7140A	Overgangs- en trilvenen (trilvenen)
	H7150	Pioniervegetatie met snavelbies
	H7210	Galigaanmoerassen
	H7230	Kalkmoerassen
	H7410A	Trilvenen
	H9120	Beuken-eikenbossen met hulst
	H9160A	Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden)
	H9190	Oude eikenbossen
	H91D0	Hoogveenbossen
	H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)

Lg001	Bron & bovenloop
Lg006	Dotterbloemgrasland van het beekdallandschap
Lg013	Bos van de arme zandgronden
Lg014	Eiken- & beukenbos van de lemige zandgronden

	Maaiveld
	Grondwaterstand
	Stroomrichting
	Periodieke optredende grondwaterstroom
Wvp	Watervoerend pakket
N	Neerslag
L	Lithoclien (basenrijk water)
	Slecht doorlatende laag (sdl)
	Veen
	Veen (Droog zandlandschap)
	Grind
	Smeltwater en puinwaaier afzetting (Droog zandlandschap)
	Fluvioglaciale afzetting/ oude terrasafzettingen
	Kalkhoudend
	Stuifzand
	Dekzand
	Jong dekzand
	Verspoeld dekzand
	Oud dekzand
	Keileem of potklei
	Oude terrasleem
	Gestuwd preglaciaal
	Zandig löss
	Enkeerd

3.3 Positie en sturende processen

De positie die de vochtige bossen innemen binnen de drie onderscheiden landschappen kan worden beschreven aan de hand van enkele kenmerkende situaties (Everts et al., 2014 concept; Grootjans et al., 2014 concept):

Schijnspiegellaagten (zuur en zwak zuur);

Zure laagten zonder schijnspiegel;

Zwak gebufferde laagten (zeer zwak en zwak gebufferde laagten);

Basenrijke afvoerloze laagten;

Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden (stuwwallen, terras- en dalranden);

Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden met basenarm hellingveen;

Beekdalen (boven- en middenloop).

Een overzicht van het voorkomen van deze situaties binnen de onderscheiden landschappen staat in Tabel 3.1. Deze situaties worden hieronder beschreven, waarbij van elke situatie een beknopte kenschets wordt gegeven, waarna wordt ingegaan op de sturende (hydrologische) processen.

Tabel 3.1: Overzicht van het voorkomen van vochtige bossen in gradiënten (genoemd in de rijen) binnen de drie onderscheiden landschappen (genoemd in de kolommen).

Table 3.1: Overview of the occurrence of moist forests in gradients (mentioned in the rows) within the three distinguished landscapes (mentioned in the columns).

	Dek- en stuif- zandlandschap	Grondmorene- en terrassen- en stuw- wallenlandschap	Beekdalland-schap
Zure laagten zonder schijnspiegel	x		
Schijnspiegellaagten (zuur en zwak zuur)	x	x	
Zwak gebufferde laagten (zeer zwak en zwak gebufferde laagten)	x	x	
Basenrijke afvoerloze laagten	x	x	x
Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zand-gronden (stuwwallen, terras- en dalranden)		x	
Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zand-gronden met basenarm hellingveen			x
Beekdalen (boven- en middenloop)			X

3.3.1 Zure laagten zonder schijnspiegel

In zure laagten zonder schijnspiegel (Figuur 3.6) beweegt de waterspiegel mee met het grondwaterniveau in de omgeving (Everts et al., 2014 concept). Deze laagten liggen laag ten opzichte van het omringde landschap, terwijl een (organische) slecht doorlatende laag onder de laagte ontbreekt. Het grondwaterregime van deze laagten wordt aldus bepaald door dat van het omliggende landschap in tegenstelling tot dat van de schijnspiegellaagten.

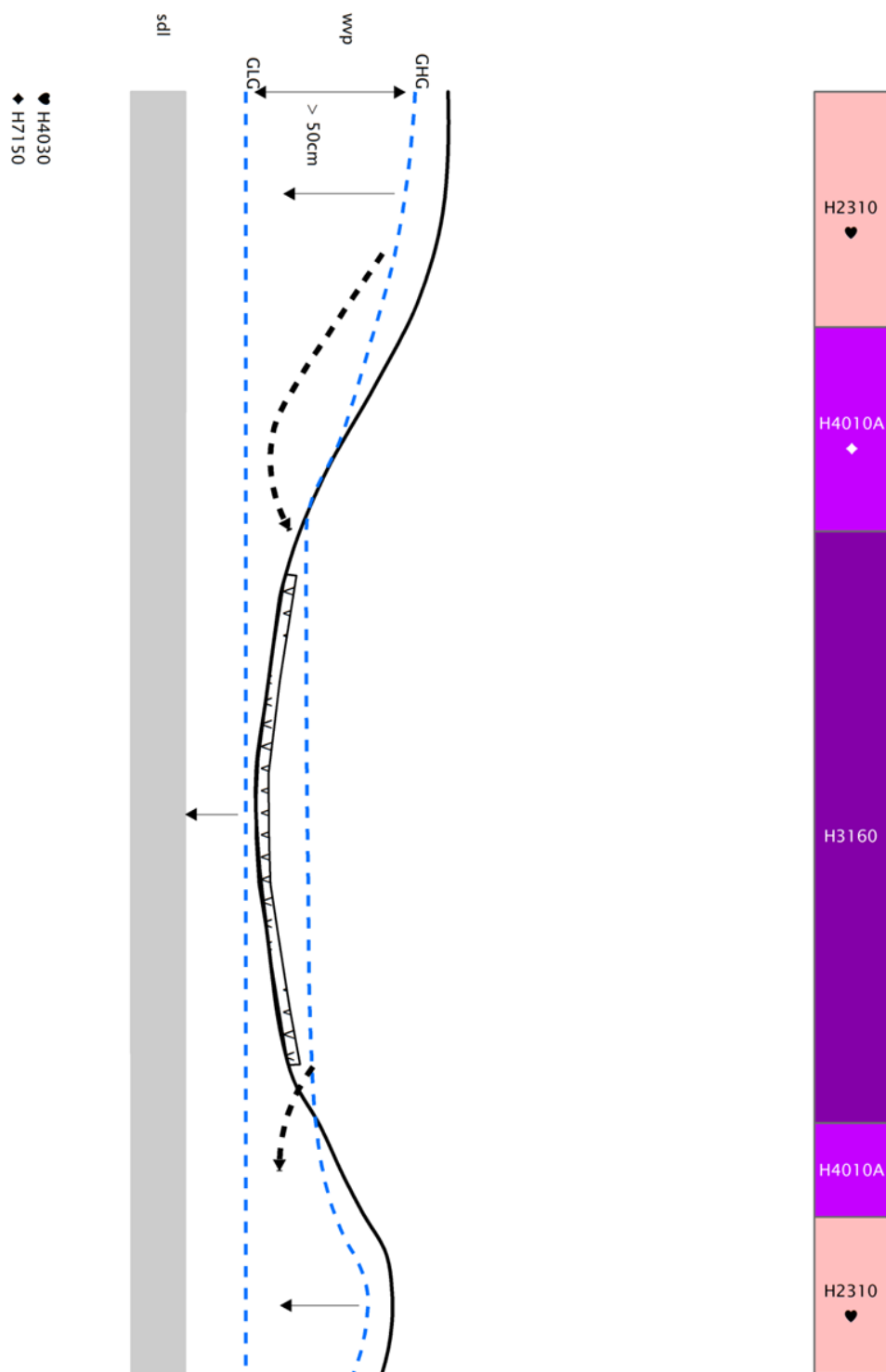
Zure laagten zonder schijnspiegel liggen in de regel nabij een waterscheiding en in een basenarm sediment (dekzand of stuifzand) en voeren zuur water. Net als bij de zure schijnspiegellaagten kennen ze een uiteenlopende ontstaanswijze. Een voorbeeld van een reeks zure laagten die tijdens de laatste ijstijd is ontstaan in een vlechtend beekstelsel temidden van stuifzanden is die van de Malpie (Van Kleef et al., 2007).

De volgende processen bepalen de standplaatscondities van de vochtige bossen in Zure laagten zonder schijnspiegel (Everts et al. 2014 concept):

- Peilfluctuaties zijn een gevolg van langdurige laterale toestroming van lokaal grondwater onder invloed van opbolling van de grondwaterstanden in de aangrenzende zandruggen. Het lokale grondwater is enigszins verrijkt met basen en rijk aan kooldioxide. Opbolling treedt op in de perioden met neerslagoverschot en zakt geleidelijk uit in perioden van neerslagtekort (Vermulst, 2009). In grote en hoge zandruggen kan ook in perioden met een neerslagtekort nog opbolling optreden. Het grondwaterpeil mag daarbij niet of niet langdurige aan of boven het maaiveld staan voor de ontwikkeling van vochtig bos;
- Zijdelings toestromend grondwater uit lokale grondwatersystemen is bepalend voor de instandhouding van de standplaatscondities voor vochtig bos. Bij te hoge toevoer worden de omstandigheden te nat voor de ontwikkeling van vochtig bos en zullen veenmosrijke Berkenbroeken en Gagelstruwelen ontstaan (Jansen et al., 1996; Van Kleef et al., 2007);
- Soms komen mesotrafente soorten voor die duiden op wat basenrijkere omstandigheden. Dat kan verklaard worden door het (vroegere) inwaaien van zand uit (voormalige) zandverstuivingen (Van der Voo, 1973) of door de doorstroming met iets basenrijker water (zie zwak zure schijnspiegellaagten in het grondmorene- en terrassenlandschap).

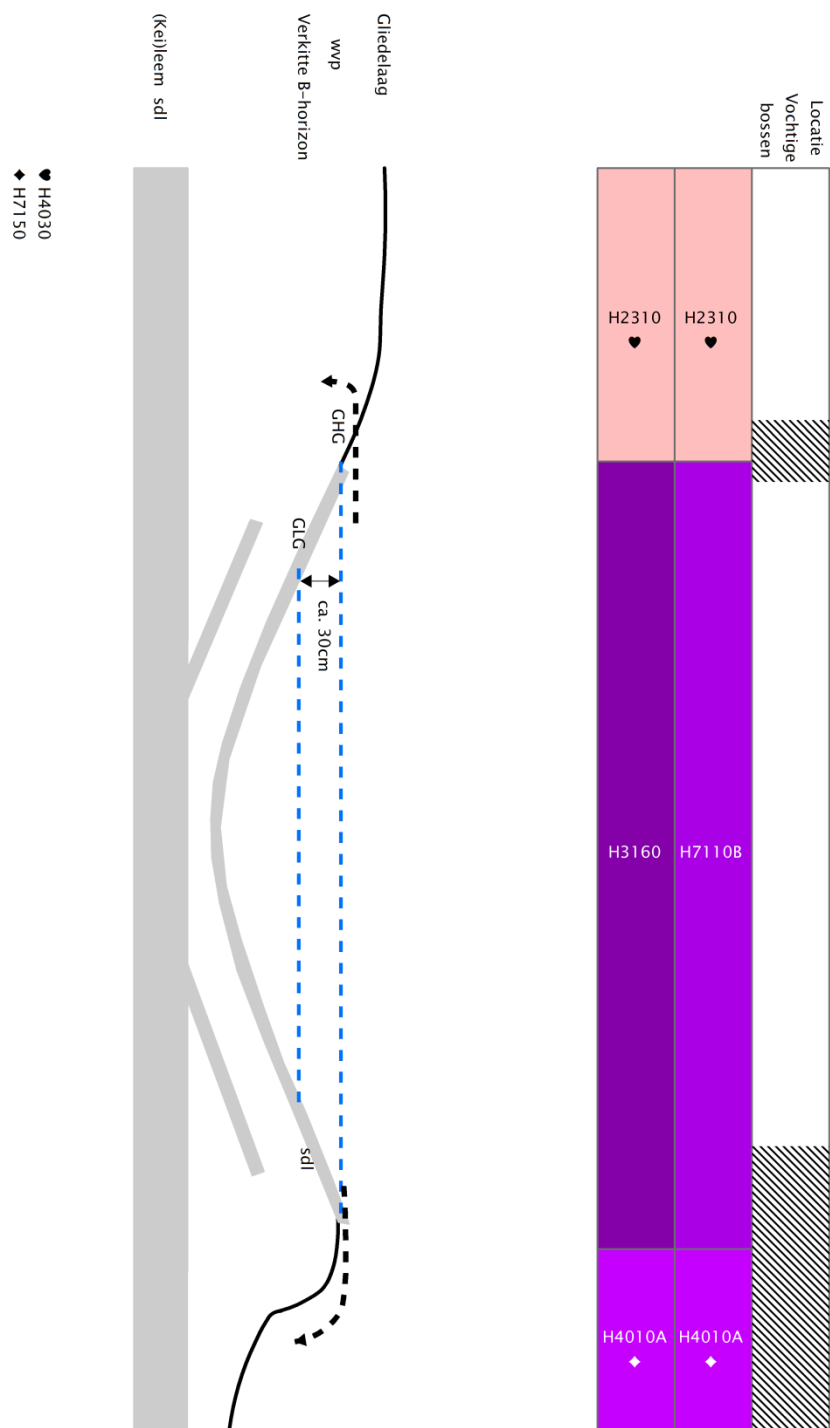
3.3.2 Schijnspiegellaagten (zuur en zwak zuur)

Op tal van plaatsen komen in het Pleistocene landschap laagten voor met een schijngrondwaterspiegel (Figuren 3.7 en 3.8). Deze laagten zijn nauw verwant met de zogenoemde *Kesselmoore* (Succow & Joosten 2001) of kettle hole mires (Grootjans et al, 2006). Ze zijn gekenmerkt door organische slecht doorlatende lagen op de overgang naar de onderliggende minerale bodem, die zijn gevormd door de in- of verspoeling van organische materiaal (humuscolloïden) tijdens het ontstaan van het veentje zelf. Dankzij de ligging in de laagte kan de waterstand stijgen. Het ontstaan van de slecht doorlatende laag geschiedt weliswaar onder invloed van waterbeweging, de veenvorming (met een niet-gewelfd maaiveld) beïnvloedt de omgeving echter nauwelijks (Succow & Joosten, 2001). De schijnspiegellaagten zijn als het ware soepborden waarin zich regenwater verzamelt dat in perioden met een neerslagoverschot tot oppervlakkige afvoer (subsurface flow) komt wanneer de stand van het schijngrondwater uitstijgt boven de drempel d.w.z het niveau van het laagste punt van de rand van de laagte. De waterstand in deze schijnspiegellaagten is (nagenoeg) onafhankelijk van de grondwaterstand van het omringende landschap. De hoogste standen in de laagte worden zoals gezegd door drempels afgetopt, terwijl de laagste standen worden bepaald door het zomerse neerslagtekort. Uiteindelijk zijn daardoor de fluctuaties in het ven beperkt zijn tot 30-40 cm.



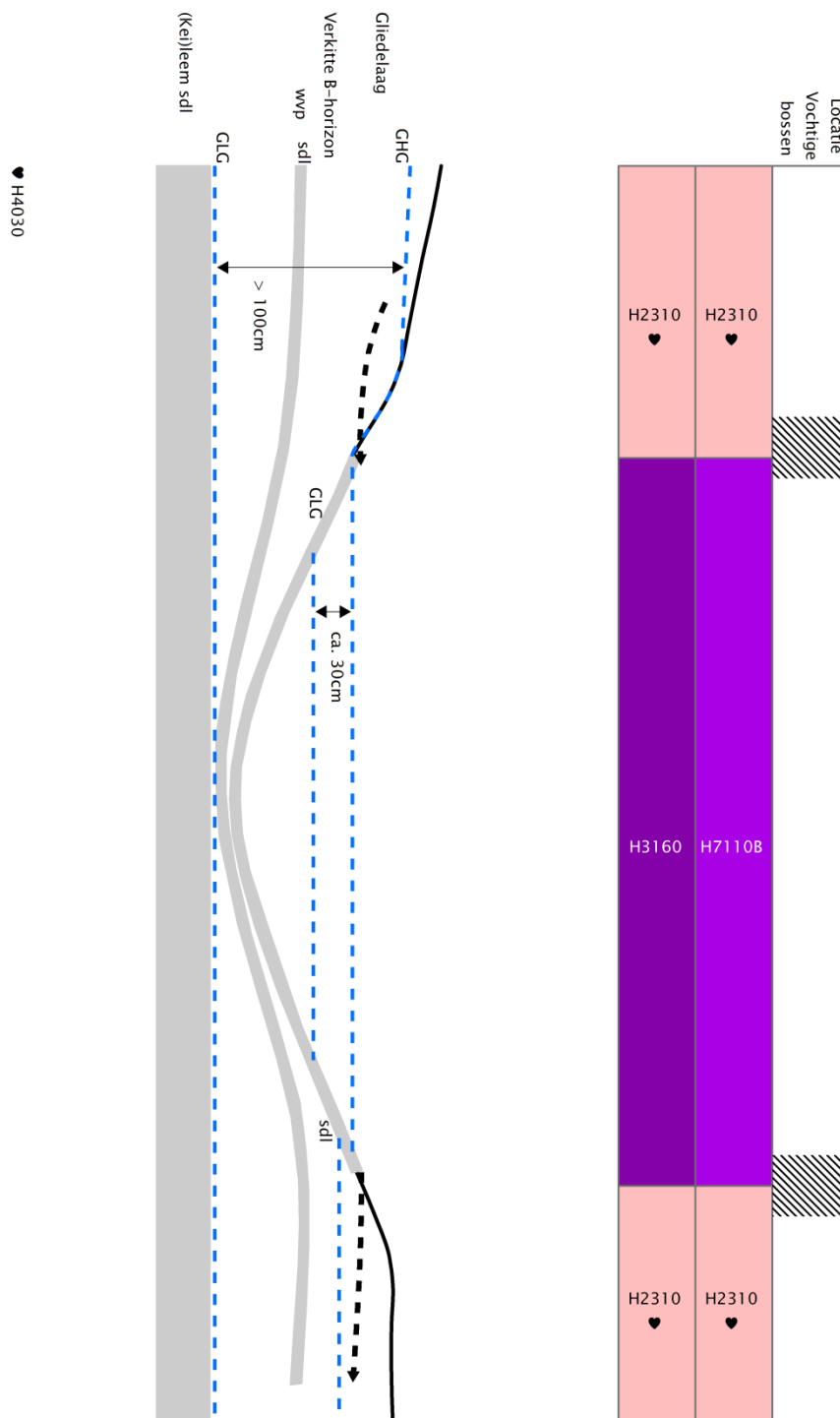
Figuur 3.6: Zure laagte zonder schijnspiegel. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.6: Acid depression without a perched water table. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur 3.7.: Schijnspiegellaagte, zure variant. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.7: Acid depression with a perched water table, variant of acid conditions. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur 3.8: Schijnspiegellaagte, zwak zure variant. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.8: Acid depression with a perched water table, variant of slightly acid conditions. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

Men vindt schijnspiegellaagten zowel nabij de waterscheiding, op de flanken van beekdalen als in de zone daartussen (Bakker et al., 1986). In veel gevallen is de actuele grondwaterstand te hoog voor vochtig bos is er sprake van veenvorming (met een niet-gewelfd maaiveld). Deze laagten worden in het Brabants "ven" genoemd en in het Drents "veentie" (Eysink & Jansen, 2011). In meer algemene zin kan worden gesproken van laagten met een schijngrondwaterspiegel of kortweg "schijnspiegellaagten". Deze laagten kunnen op uiteenlopende plaatsen ontstaan zoals in geulen in vlechtende beek- of rivierstelsels, waar ze vaak ketens vormen, als pingoruïnes of in vroegere dooimeren. In stuifzanden zijn schijnspiegellaagten ontwikkeld op plateaurestduinen. In voorheen laag gelegen delen van het stuifzandlandschap met een veenbodem of met een moerige podzol, werd stuivend zand ingevangen waardoor de oorspronkelijk laagste delen uiteindelijk het hoogst in het landschap kwamen te liggen (Bakker et al., 1986; Castell et al., 1983; Schelling, 1955). De sturende processen in schijnspiegellaagten zijn door Everts et al. (2014 concept) gedetailleerd beschreven voor het zogenoemde gradiënttype 2 van het Nat zandlandschap. De schijnspiegellaagten in plateaurestduinen zijn door Bobbink et al. (2013) uitgebreid beschreven als het kleine ecotoop "Kwelzones in het natte zandlandschap: (II) lekzones van vennen of veentjes met een schijngrondwaterspiegel".

De volgende processen bepalen de standplaatscondities van de vochtige bossen in schijnspiegellaagten (Everts et al., 2014 concept):

- Het grondwaterregime en de grondwaterkwaliteit worden in hoge mate bepaald door neerslag. Op bovenlokale schaal zijn deze systemen vanuit hydrologisch oogpunt te beschouwen als inziggebieden d.w.z. de schijngrondwaterspiegel is (het grootste deel van het jaar) hoger dan de stijghoogten in het dunne watervoerend pakket van de omliggende gronden.
- Op lokale schaal kunnen deze schijnspiegellaagten worden gevoed met lokaal grondwater dat afstroomt over slecht doorlatende lagen (Bakker et al., 1986; Everts et al., 2005; Jansen et al., 2008). Deze lokale grondwatersystemen bezitten een zeer klein intrek- en kwelgebied.
- De vochtige bossen van plateaurestduinen worden volledig gevoed door regenwater (Figuur 3.2). Desondanks kunnen daar toch oligo-mestrote tot mesotrofe omstandigheden zijn ontstaan door het inwaaien van zand. Ingestoven zand in veen betekent een wijziging in de warmtehuishouding, wat leidt tot een versterkte mineralisatie van het veen en daarmee tot wat voedselrijkere omstandigheden (Arts, 2000; Baaijens, 1984).
- In de zwak zure schijnspiegellaagten speelt naast voeding door regenwater ook voeding van lokaal grondwater uit de omgeving een rol (Verschoor et al., 2003; Von Asmuth et al., 2011; Tomassen et al., 2011). Daarom is in de doorsnede van deze laagten (Figuur 3.8) niet alleen de GHG en de GLG van de schijngrondwaterspiegel aangegeven, maar tevens die van het bovenlokale grondwater. Deze laagten maken veelal deel uit van geulsystemen, waarin in het dunne watervoerend pakket grondwaterstroming optreedt en waarin zich soms (oude) organische horizonten bevinden. Door bacteriële activiteiten in deze horizonten is het afstromende grondwater veelal koolzuurrijk. In neerslagrijke perioden met hoge grondwaterstanden kan het koolzuurrijke, soms licht gebufferde grondwater (Tomassen et al., 2011) de laagte instromen over de slecht doorlatende randen (Von Asmuth et al., 2011).
- Grondwatergevoede zwak zure schijnspiegellaagten kennen doorstroming. Dat betekent dat deze laagten niet alleen een zijde met aanvoer van grondwater kennen, maar ook een zijde met oppervlakkige afvoer van water (over de rand van de slecht doorlatende laag bij een lagere drempel). Zulke doorstroomlaagten zijn beschreven voor geulsystemen (Everts et al., 2005; Jansen et al., 2008), waarin stroomafwaarts de voedselrijkdom wat kan toenemen (Everts et al., 2005).
- De waterstanden fluctueren in het laagste en natste gedeelte zelf weinig doordat er niet of nauwelijks wegzijging optreedt (Aggenbach et al., 1998; Arts, 2000). De hoogste standen worden afgevlakt doordat het venwater bij stijgende standen over de rand van de slecht doorlatende laag stroomt. Langs de randen van het ven of veentje zijn de fluctuaties groter en daardoor geschikter als standplaats voor vochtig bos.



Foto 3.1 en 3.2: Schijnspegellaagten in plateaurestduin (fort) in het stuifzandlandschap van landgoed Boschoord (Drenthe). Boven: rand met Kraahei-Dennenbos. Onder: verdroogd en langzaam verbossend veentje op het plateaurestduin met langs de randen Berkenbroek.

Photo 3.1 and 3.2: Plateau rest dune (fort) in the drifting sand landscape of the estate Boschoord (Drenthe). Above: rim with Crowberry-pine forest. Under: dry fen, slowly transforming into forest, on the plateau rest dune with a rim Birch brook forest.

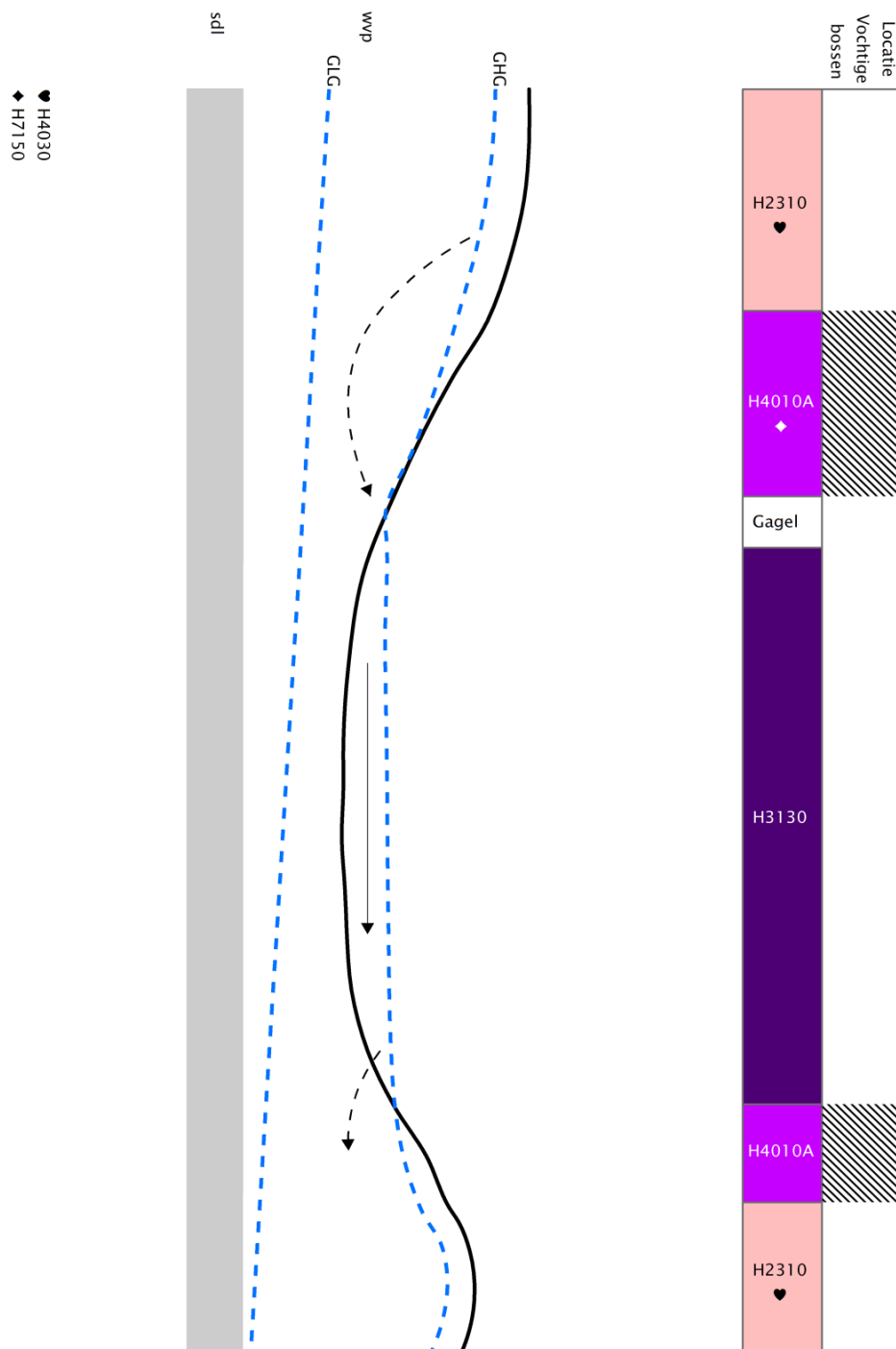
3.3.3 (Zeer) Zwak gebufferde laagten

Zeer zwak en zwak gebufferde laagten (figuren 3.9 & 3.10) komen in het Pleistocene landschap voor in laagten, waarvan de waterspiegel meebeweegt met het grondwaterniveau in de omgeving en waar toestroming van enigszins gebufferd grondwater optreedt. Deze laagten bevinden zich in de regel op enige afstand van de waterscheiding of komen voor in gebieden met basenrijke bodem of op overgangen naar beekdalen.

Er worden twee typen standplaats voor vochtige bossen onderscheiden in samenhang met de positie in het landschap en de waterhuishouding; zwak gebufferde en zeer zwak gebufferde laagten. Deels gaat het hier om vochtige laagten of vochtige overgangszones langs vennen. Zwak gebufferde vennen (H3130) (Figuur 3.9) onderscheiden zich van de zeer zwak gebufferde vennen van (H3110) (Figuur 3.10) doordat ze een hoger gehalte aan bicarbonaat (hogere alkaliniteit) hebben (Arts et al., 1990; Arts, 2000). Zwak gebufferde vennen (alkaliniteit 0.2-1 (soms tot 2) meq/l) ontvangen naast regenwater ook grondwater dat basenrijke lagen heeft gepasseerd. Deze laagten en venranden liggen aan de randen van beek- en rivierdalen of in zandgebieden met een basenrijke ondergrond. Zeer zwak gebufferde laagten (alkaliniteit van het grondwater van 0.05-0.2 meq/l) liggen vaak dicht tegen de dekzandruggen en ontvangen naast regenwater enigszins gebufferd grondwater. Beide standplaatsen kunnen worden gekenschetst als doorstroomsysteem d.w.z. de laagte kent een zijde waar (zeer) zwak gebufferd grondwater uittreedt (de kwelzijde) en een zijde waar water wegzijgt (inzijgzijde). Meestal vormt de hoge zijde in het landschap de kwelzijde en de lage zijde de wegzijgzijde. In dit gradiënttype kan verder buffering optreden door langdurige stagnatie van regenwater en zuur lokaal grondwater op (zeer) basenrijke zand of op leembodems (niet weergegeven in de doorsneden). Behalve een verschil in buffering kan er ook een verschil zijn in beschikbaarheid van kooldioxide, maar dat is voor de vochtige bossen in deze laagten van minder belang.

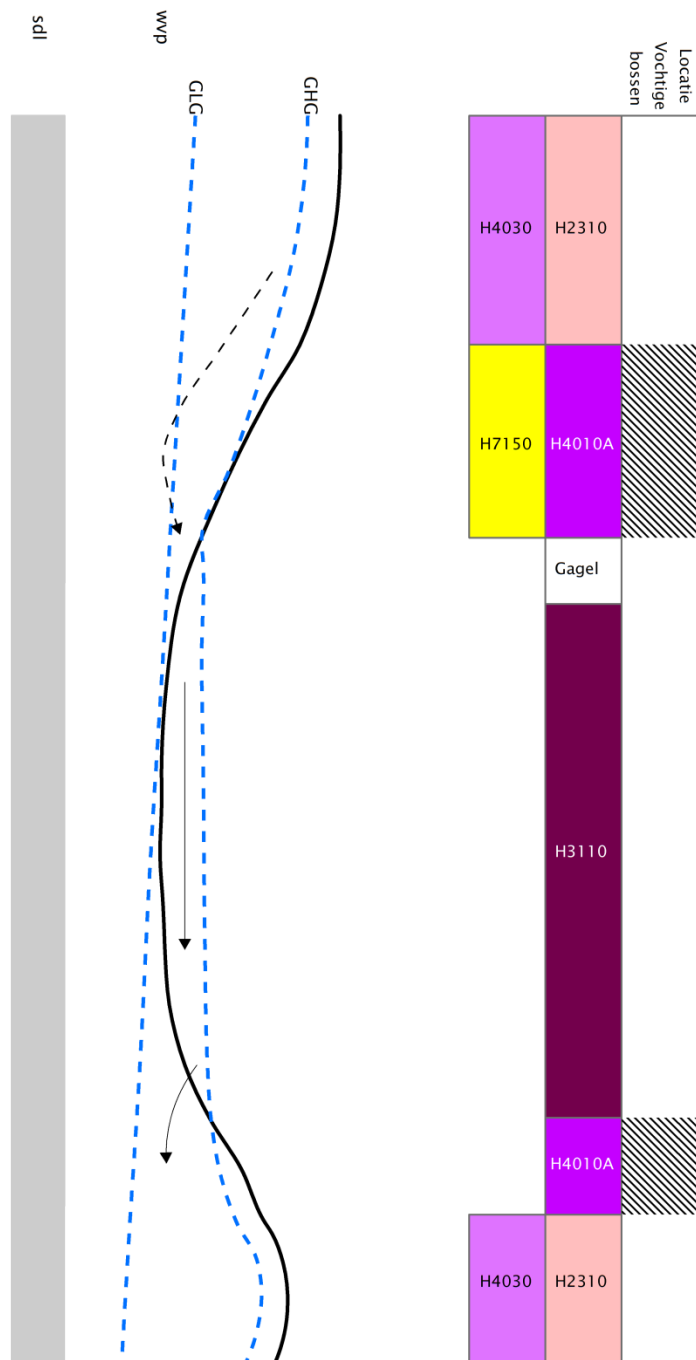
De volgende processen bepalen de standplaatscondities van de vochtige bossen in zwak gebufferde laagten (Everts et al., 2014 concept):

- Het grondwaterregime en de grondwaterkwaliteit worden in hoge mate bepaald door neerslag in combinatie met de toestroming van grondwater uit lokale grondwatersystemen. Deze grondwatersystemen bezitten meestal een klein intrek- en kwelgebied.
- Zeer zwak gebufferde laagten zijn afhankelijk van de toestroming van enigszins gebufferd grondwater. Door de buffering is in dit type laagten de pH hoger dan in zure (schijnspiegel) laagten (Brouwer et al., 1996; Van Duinen et al., 2009; Smolders et al., 2002).
- Zwak gebufferde laagten ontvangen naast regenwater ook grondwater dat basenrijke bodemlagen heeft gepasseerd, waardoor het meer gebufferd is dan het grondwater dat zeer zwak gebufferde vennen voedt. De bodem heeft vaak een wat hoger gehalte aan voedingsstoffen dan de zeer zwak gebufferde laagten (Brouwer et al., 1996);
- Voeding met basen kan ook plaatsvinden door inundatie met oppervlaktewater (Brouwer et al., 2009; Van Kleef, 2010). De kwaliteit van het water is daarbij van groot belang. Gunstig is als het rijk is aan bufferstoffen maar arm aan voedingsstoffen, met name arm aan fosfaat, en als het instromende oppervlaktewater een lange weg kan afleggen (Van Kleef, 2010).



Figuur 3.9.: Zwak gebufferde laagten. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.9: Slightly buffered pools. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur 3.10: Zeer zwak gebufferde laagten. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

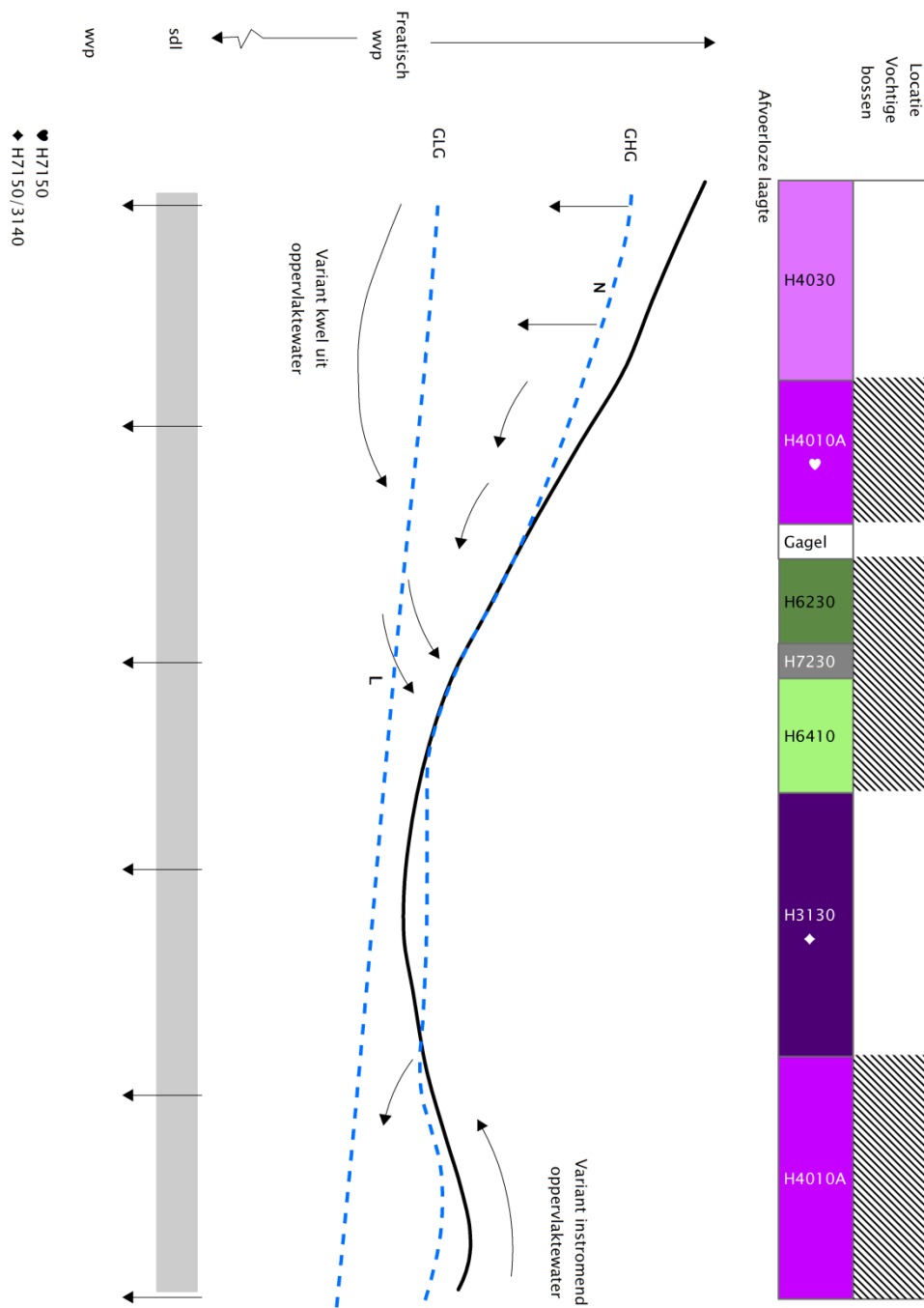
Figure 3.10: Very slightly buffered pools. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

3.3.4 Basenrijke afvoerloze laagten

Basenrijke afvoerloze laagten zijn geïsoleerde laagten, vaak met een dun pakket dekzand, die omgeven zijn door dekzandruggen. Aan een zijde of twee zijden van de laagte is dekzandrug duidelijk hoger dan aan de andere zijden. Deze laagten danken hun basenrijkdom aan zeer lokale hydrologische processen of aan de interactie tussen deze lokale processen en het onderliggende basenrijke grondwater uit een groter grondwatersysteem (Jansen et al., 2000; Jansen et al., 2001; Figuur 3.11). De genoemde laagten liggen vaak in slenken, vaak onderbroken door lage drempels, en vormen dan de oorsprongen van beeksystemen, zowel in boven-, midden- als benedenlopen (Grootjans et al., 2014 concept).

De volgende processen bepalen de standplaatscondities van de vochtige bossen in basenrijke afvoerloze laagten (Everts et al., 2014 concept):

- De grondwaterstanden zijn het grootste deel van het jaar hoger dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerend pakket. Hydrologisch gezien zijn deze systemen daarom inzigggebieden. Gedurende het droge deel van het jaar treedt inzijing op naar de ondergrond, waarbij de grondwaterstanden in de laagte relatief diep kunnen wegzakken (tot maximaal circa 1,2 m onder maaiveld).
- In het natte seizoen inunderen de laagten (Eysink & Jansen 1993; Jansen et al. 2001), allereerst met regenwater. Inundatie treedt op omdat zich aan de stroomafwaartse zijde van de laagte een natuurlijke drempel (lage dekzandrug) bevindt die oppervlakkige afstroming van water verhindert. Er ontstaat een plas met een vlakke waterspiegel. Alleen bij zeer hoge standen stroomt het water oppervlakkig af (sub-surface flow & runoff), maar het meeste verdampt of zijgt uiteindelijk in.
- In het natte seizoen treedt gaandeweg opbolling op van het freatisch vlak in de aanliggende dekzandgronden, waardoor dieper in de bodem aanwezig basenrijk grondwater omhoog wordt geperst in de zone op de overgang naar de plas. Deze processen treden op aan de bovenstroomse of kwelzijde van de gradiënt. Het basenrijke grondwater kan afkomstig zijn uit een groter grondwatersysteem dan het lokale dekzandrugsysteem (Jansen et al. 2000; Jansen, 2010; Jansen et al., 2012; Smolders et al., 2010). In dat geval ligt de locatie met dit gradiënttype in een reliëfrijk dekzandlandschap op grotere afstand van de (sub)regionale waterscheiding. Het basenrijke grondwater kan ook zijn ontstaan door contact van het lokale grondwater met basenrijke lagen waardoor op de overgang naar de plas basenrijke omstandigheden ontstaan (Jansen et al. 2000; 2001). Dan ligt de locatie met dit gradiënttype in een reliëfrijk dekzandlandschap meestal nabij de (sub)regionale waterscheiding.
- Aan de stroomafwaartse zijde van de laagte treedt gedurende het natte seizoen inzijing op.
- Varianten op dit systeem kunnen zich voordoen langs kanalen die een hoger peil hebben dan de aangrenzende laagte (lokale kanaalkwel) of langs beken waarbij de hoogste beekstanden het niveau van de rug langs de laagte overschrijden (Boeye & Verheyen, 1994; Jansen et al., 2000).



Figuur 3.11: Basenrijke afvoerloze laagten. Gewijzigd naar Everts et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.11: Base-rich depressions without superficial discharge. Changed after Everts et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

3.3.5 Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden (stuwwallen, terras- en dalranden)

In dit gradiënttype (Figuur 3.12) zorgen het sterke reliëf en de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen in het (ondiep) ontkalkte landschap er voor dat relatief basenarme grondwaterstromen overheersen. Vanwege de hoge flux van het uittredende grondwater kunnen desondanks relatief sterk basenminnende habitattypen tot ontwikkeling komen. Plaatselijk kan het grondwater echter in contact komen met kalkhoudende afzettingen zoals lösslemen en Tertiaire kleien. In dergelijk gevallen is het grondwater baserijk tot zeer baserijk (Van der Veen et al., 2007). Het zijn lokale hydrologische systemen die de hydrologie van dit gradiënttype bepalen. Het grondwater is afkomstig uit de omliggende heuvels of stuwwallen.

3.3.6 Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden met basenarm hellingveen

De grondwaterstanden in het hoge achterland zijn vaak veel (vele meters) hoger. Dat betekent dat er gedurende het gehele jaar een toestroming van grondwater richting de laagte (figuur 3.13) optreedt. In het geval van basenarme doorstroomvenen bestaat het achterland geheel uit kalkarm zand. Het grondwater wordt door de aanwezigheid van slechtdoorlatende bodemlagen en of door een knik in de hellingshoek gedwongen uit te treden en dit gebeurt in een vrij smalle zone. Doordat er het gehele jaar grondwater uittreedt, is de waterstand in deze zone zeer stabiel. Deze smalle zone zelf zal aanleiding geven tot ontwikkeling van bronbos. Boven de zone met uittredend grondwater is het grondwaterpeil lager en zakken de peilen in de zomer verder weg. Dit zijn bij uitstek de standplaatsen voor vochtig bos. Lager op de helling vormt het uitgetreden grondwater een beekje. Dat beekwater kan lager op de helling weer infiltreren om lager op de gradiënt opnieuw uit te treden. Het grondwater bevat vrij veel kooldioxide, waardoor er goede omstandigheden zijn voor veenvorming. In vergelijking met bronnen (zie volgende gradiënt) treedt het grondwater over een groter oppervlak (diffuser) uit en met een lagere snelheid.

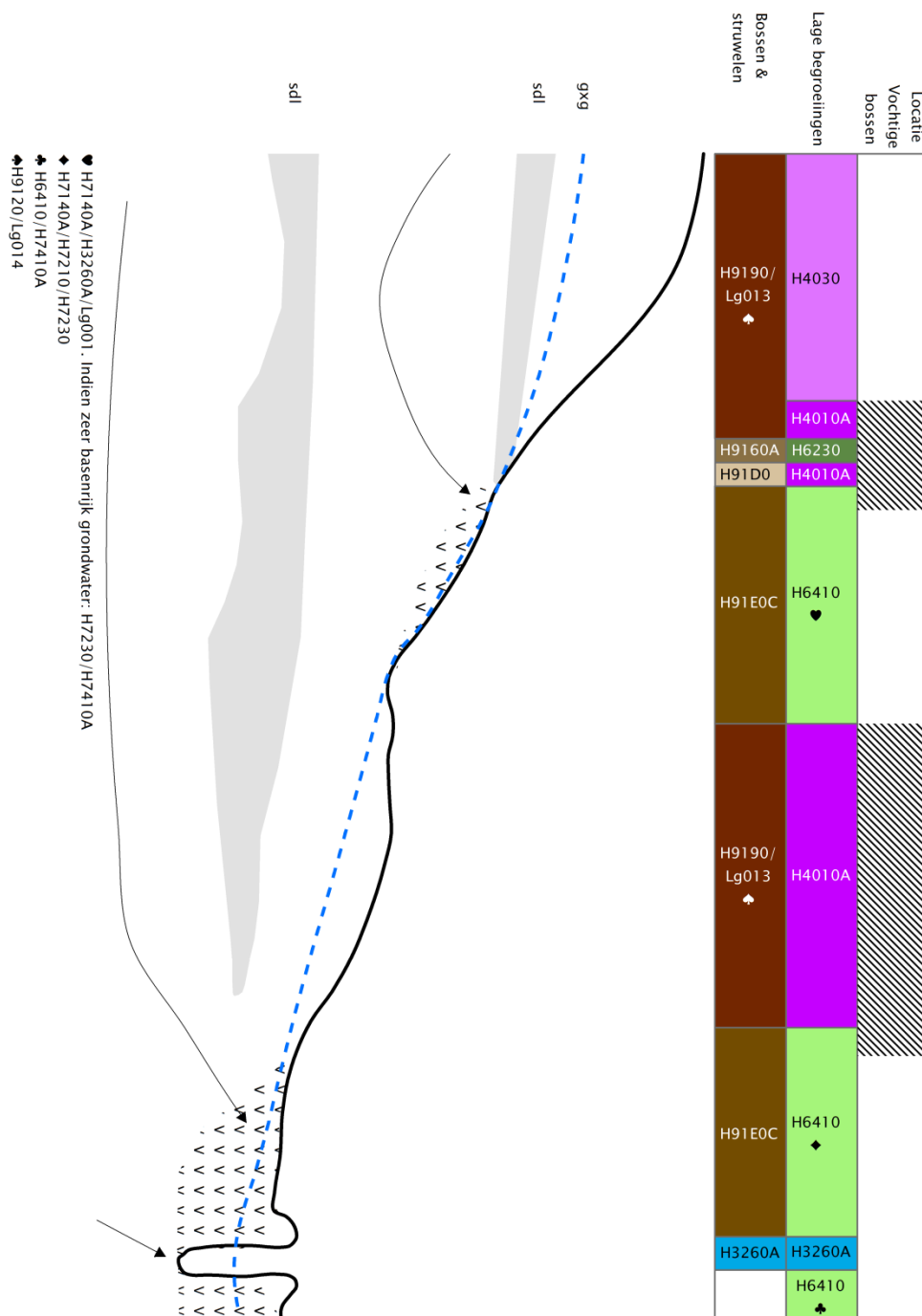
3.3.7 Beekdalen (boven- en middenloop)

De bovenlopen van beekdalen (Figuur 3.5) liggen veelal in ontkalkte Pleistocene plateaus en ontvangen grondwater van relatief kleine hydrologische systemen die matig baserijk, ijzerrijk grondwater aanvoeren (Everts & de Vries, 1991; Jalink et al., 2003). De aanvoer van grondwater (kwel) is daarom vaak periodiek (maar kan ook permanent zijn). Indien op de flanken sterk uitgeloopte, slecht doorlatende klei of leemlagen aanwezig zijn, kan ook zeer basenarm grondwater het beekdal bereiken. De bovenlopen van beekdalen zijn relatief smal en ondiep. In het beekdal zelf kunnen veenpakketten van meer dan een meter diep voorkomen, indien grondwater uit naastliggende relatief grote hydrologische systemen het maaiveld kan bereiken. Dit zijn in het algemeen broekbosstandplaatsen. Langs deze standplaatsen of in verdroogde bovenlopen komen vochtige bossen voor. De lengte van de dwarsgradiënt is veelal niet meer dan enkele honderden meters, tot hooguit enkele kilometers. Bovenlopen kennen vaak betrekkelijk sterk wisselende waterstanden en eventuele veenpakketten zijn veelal minder dan een meter dik. Op de overgang van zand naar veen bevinden zich potentiële standplaatsen van vochtige "beekdalbossen". Bovenlopen met slecht doorlatende lagen in de ondergrond kunnen periodiek echter zeer nat zijn, en de lagere delen kunnen dan veenpakketten bezitten die 1-2 meter dik zijn. In de natte perioden kan het neerslagwater moeilijk de grond in dringen waardoor de grondwaterstanden aan of vlak onder het maaiveld verblijven. Daardoor ontwikkelen zich lokaal grondwaterstromen die zijdelings richting het beekdal stromen en daar aan de flanken van de beekdalen uittreden. Op zulke standplaatsen hebben zich vochtige "stagnatiebossen" ontwikkeld. Het uittredende grondwater is overwegend basenarm omdat de oppervlakkige afzettingen meestal sterk zijn uitgeloopt. In het droge seizoen verdwijnen deze lokale systemen (grotendeels) en daarmee ook het zijdelings uittreden van basenarm grondwater.

Beekdalen met een vrijwel permanente toestroming van grondwater zijn vaak in de middenloop van een bekenstelsel gelegen (Figuur 3.12). Beekdalen met een vrijwel permanente toestroming van grondwater zijn vaak in de middenloop van een bekenstelsel gelegen (figuur 3.5). Dergelijke beekdalen ontvangen hun grondwater vaak uit diepere watervoerende lagen, waarvan de infiltratiegebieden op vele kilometers afstand kunnen liggen. Waar deze lagen zijn onderbroken treedt (sub)regionale kwel aan maaiveld (Everts & de Vries 1991, Jalink et al. 2003). In Nederland is dit (diepe) grondwater van nature veelal basen- en ijzerrijk, maar zeer arm aan sulfaat. Het water is niet sterk vervuild door landbouwkundige activiteiten en kan honderden jaren vanuit de infiltratiegebieden onderweg zijn voordat het in het beekdal uittreedt. De veenpakketten kunnen 2-4 meter dik zijn. De lengte van de

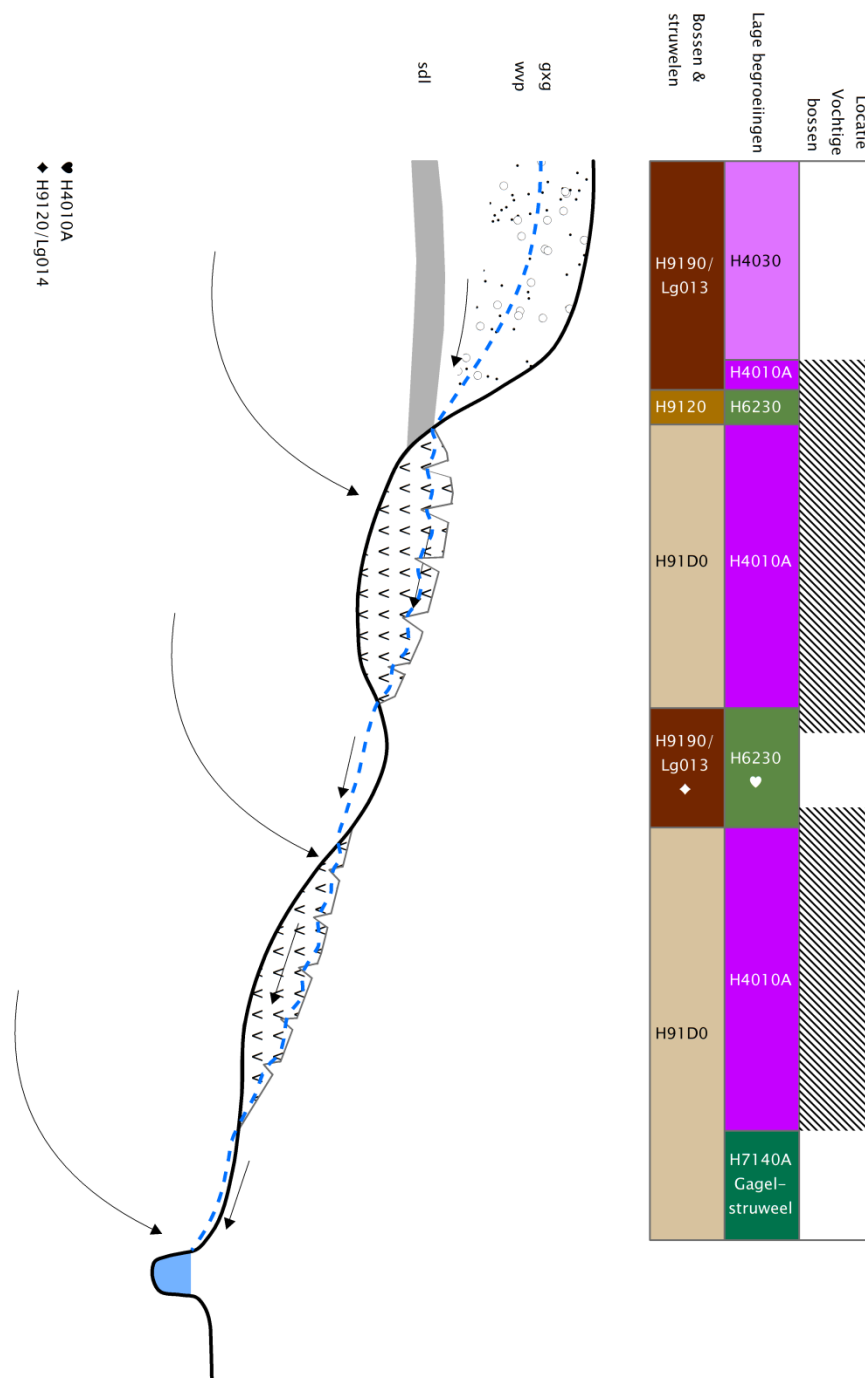
dwarsgradiënt is veelal enkele honderden meters. Ook hier vormen de drogere overgangen op de beekflanken de standplaats voor vochtig bos.

Zowel in de boven-als middenlopen komen de diepere grondwaterstromen in de lagere delen in het beekdal naar boven (Figuur 3.12). Hier bevinden zich meestal geen slecht doorlatende lagen, want die zijn in een ver verleden al weg geërodeerd. Verspoelde (kei)leem kan in de vorm van beekleem wel in bovenlopen zijn afgezet. Dat kan lokaal de kwelintensiteit in het beekdal verminderen. Wanneer op zulke veenbodems zijn ontwikkeld, betreft het Elzenbroeken. Op de overgang van het inziggebied naar het beekdal kunnen op minerale bodems wat beter gebufferde, vochtige plekken Beekbegeleidende bossen (H91E0C) van het Verbond van Els en Vogelkers (43Aa) voorkomen. De standplaatsen van deze bossen worden door zowel lokaal als bovenlokaal grondwater gevoed. Doordat het grootste deel van het grondwater uit betrekkelijk kleine grondwatersystemen afkomstig is, zakken de grondwaterstanden in de zomer betrekkelijk diep weg. In de winter treedt langdurige toevoer op van grondwater en bevinden de waterstanden zich aan maaiveld.



Figuur 3.12: Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden (stuwwallen, terrassen dalranden). Gewijzigd naar Grootjans et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1

Figure 3.12: Relief-rich brook valleys of the altitudinal sand landscape (pushed moraines, terrace and valley margins). Changed after Grootjans et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.



Figuur 3.13.: Reliëfrijke beekdalen van de Hogere zandgronden met basenarm hellingveen. Gewijzigd naar Grootjans et al. (2014 concept). Voor legenda zie kader 3.1.

Figure 3.13: Relief-rich brook valleys of the altitudinal sand landscape with base-poor sloping mire. Changed after Grootjans et al. (2014 concept). For legend see box 3.1.

4. Processen op standplaatsniveau

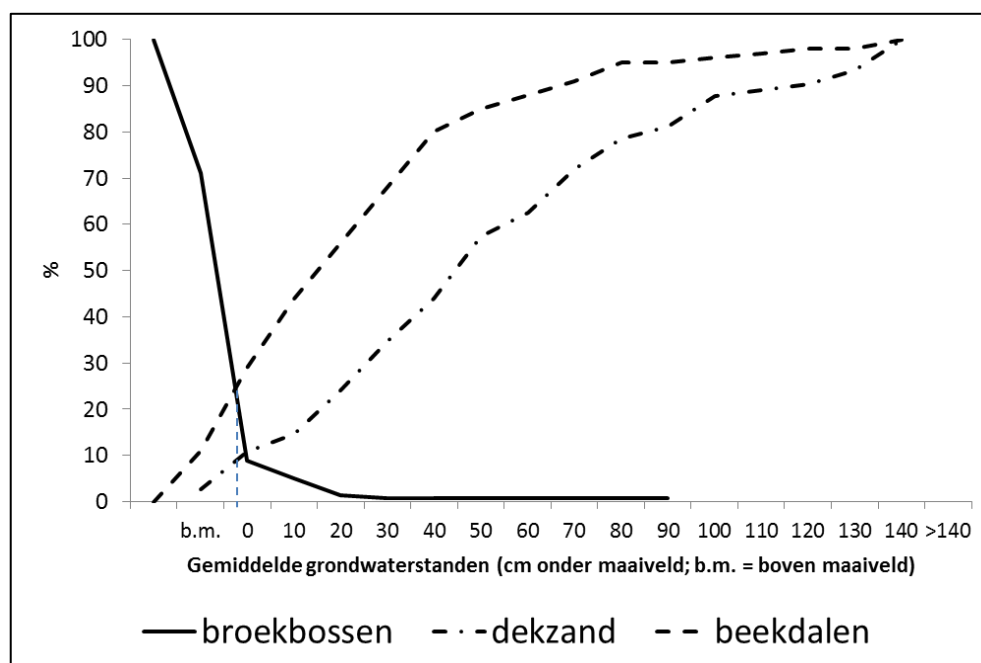
4.1 Inleiding

Binnen de in Hoofdstuk 3 beschreven landschappen en hun bostypen kunnen standplaatsen en de hier optredende relevante processen worden gekarakteriseerd naar grondwaterregime (§ 4.2), bodemfauna en decompositie (§ 4.3), chemische samenstelling van het grondwater (§ 4.4), buffering mechanisme (§ 4.5), nutriëntenbeschikbaarheid (§ 4.6), humusprofielontwikkeling (§ 4.7) en successie (§ 4.8).

4.2 Grondwaterregime

Het grondwaterregime van de vochtige beekdalbossen en dekzandbossen is binnen de hogere zandgronden vergeleken met dat van de natte bossen: bronbossen, beekbegeleidende broekbossen en broekbossen van de hoogvenen (Figuur 4.1 en 4.2; BES-bestand, Alterra). Er blijkt weinig overlap te bestaan tussen de hoogste grondwaterstanden (GHG) van de broekbossen en de dekzandbossen.

Het onderscheid tussen die van beekdalen en broekbossen is iets minder duidelijk (Figuur 4.1). De GHG van broekbossen bevindt zich doorgaans boven maaiveld en die van de vochtige bossen beneden maaiveld. De laagste grondwaterstand (GLG) laat wel een duidelijk verschil



Figuur 4.1: Vergelijking van de hoogste grondwaterstanden (GHG) tussen broekbossen en vochtige bossen van beekdalen en dekzanden (N broekbossen = 154, N beekdalen=101, N dekzand=149).

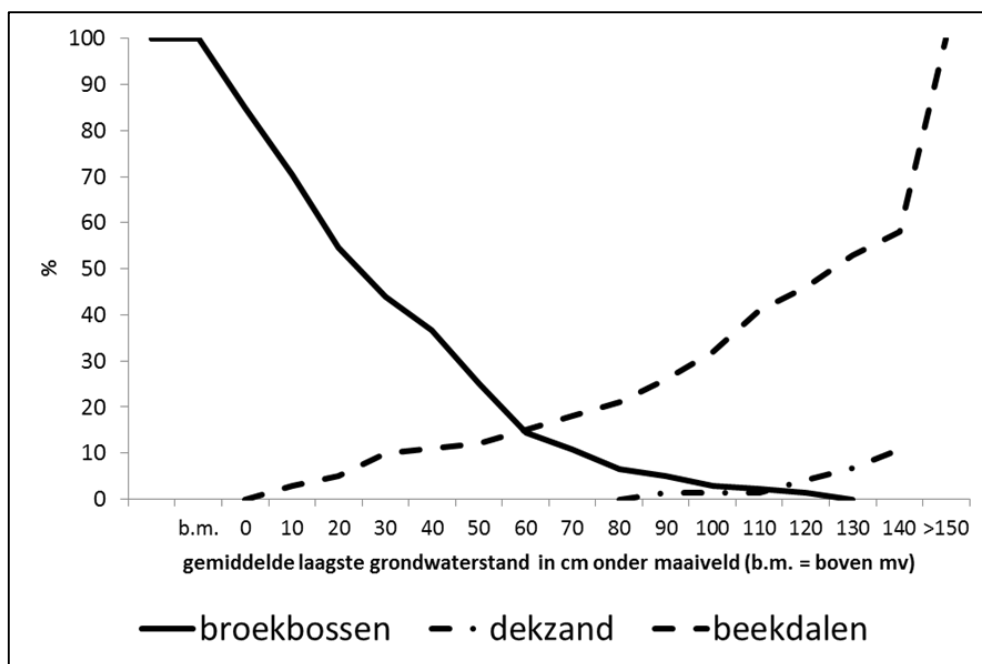
Figure 4.1: Comparison of the highest groundwater (GHG) between alluvial forests and moist forests of stream valleys and cover sands (N = 154 alluvial forests, river valleys N = 101, N = 149 cover sand).

zien tussen deze typen: bij een GLG van 66 cm wordt 87% van de vochtige beekdalbossen gescheiden van de broekbossen (Figuur 4.2). Bij deze GLG zijn broekbossen en vochtige dekzandbossen vrijwel volledig gescheiden. Het onderscheid met de droge zandgronden wordt het best weergegeven door de GHG: bij een GHG van 100 cm is sprake van 10% overlap met vochtige dekzandbossen en 1% met de beekdalbossen (Fig. 4.1).

De combinatie van een GLG > 70 cm en een GHG < 100 cm geeft een goede begrenzing van de vochtige bossen op basis van de grondwaterstand. Dit traject correspondeert met GWT III - VI. De maximale GLG die vochtige bossen scheidt van droge beslaat voorzover bekend een breed traject. Meestal zit deze waarde beneden de reguliere waarnemingsdiepte van 1,5 m onder maaiveld. Veel vochtige bossen aan de droge kant kunnen zolang de GHG vrij hoog is een GLG hebben die dieper zit dan 1,5 meter. Dit geldt vooral in bodems met een lemige component. In sterk lemige zanden en lemen kan de capilaire nalevering nog over aanzienlijke diepten plaats vinden.

In gronden met een stagnerende laag kunnen extreme verschillen tussen de gemiddelde hoogste en laagste gemeten grondwaterstanden optreden (van 14 cm onder maaiveld tot meer dan 2 m onder maaiveld voor lemige gronden (Wösten, et al., 2001).

De ligging in het landschap is bepalend voor het grondwaterregime. De omstandigheden die leiden tot een waterverzadigde wortelzone tijdens natte perioden zijn zeer verschillend.



Figuur 4.2: Vergelijking laagste grondwaterstanden (GLG) tussen broekbossen en vochtige bossen van de beekdalen en de dekzanden (N broekbossen = 154, N beekdalen=101, N dekzand=104). In de praktijk is er ook een maximum van de GLG die de vochtige bossen onderscheid van de droge bossen. Daar veel waarnemingen niet dieper gaan dan 150 cm onder maaiveld en een grote overlap hebben voor wat betreft de GLG is de GHG geschikter voor de scheiding tussen vochtig en droog.

Figure 4.2: Comparison lowest groundwatertables (GLG) between alluvial alder forests and moist forests of the stream valleys and cover sand (N alluvial forests = 154, stream valleys N = 101, cover sand N=104). In practice, there is a maximum of the GLG in which the moist forests differ from dry forests. GHG suitable for the separation of moist and dry.

Leem- of kleibodems raken in natte perioden snel waterverzadigd. Op dergelijke bodems is geen invloed van grondwater nodig, een goed voorbeeld zijn de hellingbossen in Zuid-Limburg. In het vochtige zandlandschap zijn bossen op dergelijke bodems schaars. Wat meer voorkomend is de situatie dat een leem- of kleilaag afgedekt is door een dunne zandlaag van enkele decimeters tot een meter. Omdat het water in de zandlaag niet makkelijk door de klei- of leemlaag heendringt, ontstaat in natte perioden een schijngrondwaterspiegel; de klassieke hydrologische situatie van het Eiken-Haagbeukenbos. Ook deze situatie is min of meer onafhankelijk van het onderliggende grondwatersysteem.

In de meeste vochtige bossen van het natte zandlandschap stijgt het grondwater echter in natte perioden tot in de wortelzone of tot aan maaiveld, en zakt in droge perioden weer weg. Vaak grenzen de vochtige bossen aan hogere terreindelen, die als inziggebied fungeren. Aan de natte kant kunnen broekbossen (natte bossen) aanwezig zijn, waar juist langdurig grondwater uittreedt. De vochtige bossen vertegenwoordigen in de gradiënt doorgaans de intermediaire situatie, waarbij in natte perioden sprake is van een relatief kortstondige invloed van grond- of oppervlaktewater.

De schommelingen in het grondwaterpeil zijn eveneens sterk afhankelijk van de positie van het vochtige bos binnen het (type) grondwatersysteem. In vochtige bossen die afhankelijk zijn van voeding door grondwater uit lokale dekzandruggen of stuifduinen zakt de waterstand in de zomer meestal tamelijk diep weg. Vochtige bossen die grenzen aan natte bossen – dat is meestal aan de randen van beekdalen – kennen minder grote waterstandsschommelingen en kunnen zelfs tijdelijk met beekwater geïnundeerd raken.

Gedurende vele eeuwen zijn de hoge zandgronden sterk ontbost geweest. De vervangende lage begroeiingen, zoals heidevelden en stuifzanden, verdampen veel minder water. De natuurlijke standplaatsen van vochtige bossen werden daardoor natter. Ook deze standplaatsen waren inmiddels grotendeels omgezet in vochtige graslanden en vochtige heiden. Om de toegankelijkheid voor mens en vee te verbeteren werden deze plekken, inclusief de nog aanwezige bosrestanten, uiteindelijk grootschalig gedraineerd. Het resultaat hiervan was dat het grondwater in de winter niet meer tot in de wortelzone kon stijgen. De gevolgen hiervan worden besproken in hoofdstuk 7.

4.3 Effecten grondwaterstand op bodemfauna en decompositie

4.3.1 Welke literatuur is voorhanden?

In de literatuur komen drie scenario's van wisselende waterstanden naar voren. Artikelen over de effecten van wisselende grondwaterstanden (tot op het niveau van het maaiveld) sluiten het beste aan bij de doelstelling van het preadvies en de beoogde situatie in het veld. De meeste literatuur behandelt echter de effecten van waterverzadiging van de bodem als gevolg van overstroming. Artikelen over overstroming zijn in onderstaande analyse wel meegenomen, omdat 1) terreinheterogeniteit ervoor zal zorgen dat bij verhoging van de grondwaterspiegel ook delen van het bos onder water komen te staan voor kortere of langere tijd, 2) de strategieën van organismen om met overstroming of hoge grondwaterstanden om te gaan vaak dezelfde zullen zijn en 3) omdat verwacht kan worden dat de effecten van overstroming op de bodemfauna groter zijn dan de effecten die ontstaan als gevolg van een hoge grondwaterspiegel. Een derde set van artikelen in de literatuur behandelt de effecten van waterinfiltratie op de bodemfauna.

De meeste literatuur gaat over ecosystemen anders dan bossen, omdat in bossen nog relatief weinig onderzoek is gedaan.

4.3.2 Effecten op faunadiversiteit

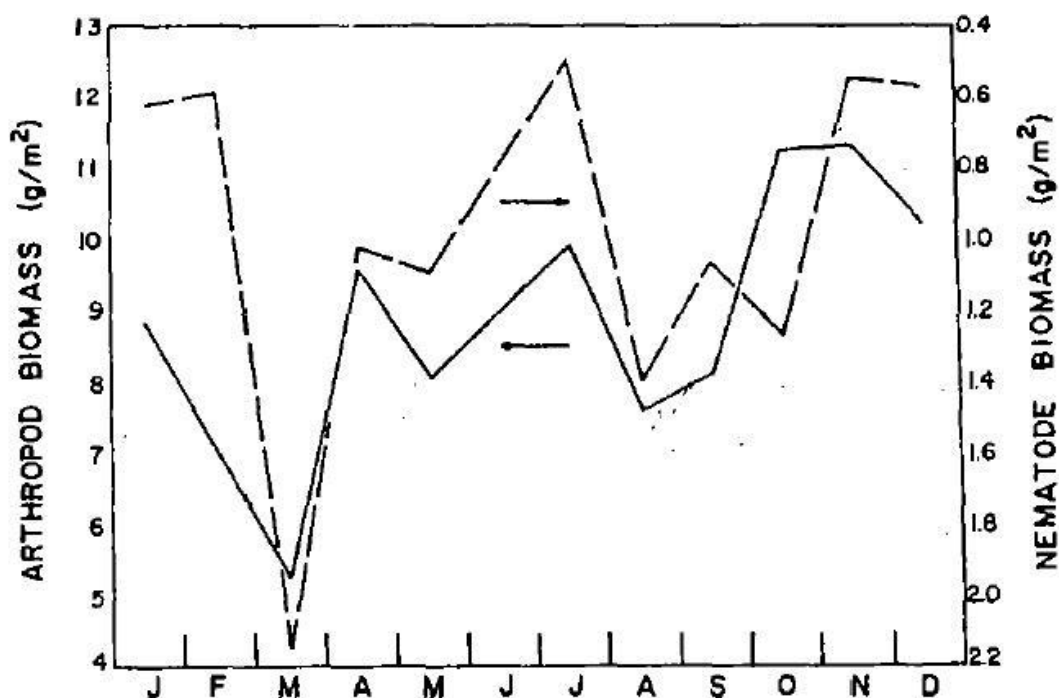
Als de bodem waterverzadigd raakt, heeft dit grote gevolgen voor de samenstelling van de bodemfauna (bijv. McBrayer et al., 1977; Plum, 2005; Zorn et al. 2005; Schütz 2008). Het algemene patroon is dat op korte termijn zowel de aantallen als soortdiversiteit van de bodemfauna afnemen (Frouz, 2004) en dat vooral algemene soorten profiteren (Plum, 2005). Een langere duur van een hoge grondwaterspiegel en een hogere temperatuur (Shapiro et al., 1997; Plum, 2005) leiden tot meer sterfte. Kleinere soorten van duizend- en miljoenpoten en pissebedden overleven beter, waarschijnlijk door een gunstigere oppervlakte – inhoud

ratio, waardoor de ademhaling van kleine soorten gemakkelijker is bij een lage zuurstofspanning (Tufová & Tuf, 2005).

Als gevolg van vernatting in de winter en uitdroging in de zomer, wordt het populatieverloop van de arthropodenfauna in de bodem bimodaal: laag in de winter wanneer de temperatuur het laagst en de bodem volledig water verzadigd is en in de zomer wanneer de bodem is uitgedroogd, zijn de aantallen bodemfauna het laagst (McBrayer et al., 1977, zie Figuur 4.3). Ook springstaarten laten grote populatiefluctuaties zien als gevolg van hoge grondwaterstanden (Irmeler 2004, Lessel et al., 2011). Veel arthropoden weten sterfte te voorkomen doordat ze in hun levenscyclus een resistent (winter-) stadium hebben (Griegel, 2008) of doordat ze in staat zijn met de waterspiegel te migreren (Plum, 2005). Migratie is een belangrijke strategie om aan hoge waterstanden te ontsnappen en om later in het seizoen drooggevallen gebied snel weer te koloniseren (Frouz, 2004). De migratie treedt zowel op in verticale richting (bodemdiepte) als horizontaal. Bij herhaaldelijke hoge waterstanden worden soorten die zich gemakkelijk verspreiden (hoge dispersiecapaciteit) en soorten met speciale overlevingstechnieken bevoordeeld (Tam, 1984, Decler, 2003). In soortgroepen met een heel hoge dispersiecapaciteit, zoals loopkevers, worden de effecten van hoge grondwaterstanden op de aantallen individuen gedempt (Decler, 2003).

Ook de fluctuaties in de aantallen springstaarten worden vermoedelijk veroorzaakt door migratie (Irmeler, 2004). Het grondwaterniveau heeft een grotere invloed op springstaarten dan bijvoorbeeld zomertemperatuur en -neerslag. In de minerale bodem verdwenen springstaarten na 3 maanden hoog grondwater, terwijl dit in de organische laag 4 tot 6 maanden in beslag nam (Irmeler, 2004). In tegenstelling tot springstaarten laten mosmijten veel meer ruimtelijke variatie in aantallen zien en ze reageren ook nauwelijks op veranderingen in het grondwaterniveau (Irmeler, 2004). De in vergelijking met springstaarten geringere dispersiecapaciteit van mosmijten heeft waarschijnlijk tot gevolg dat migratie geen kansrijke strategie is voor mosmijten om met hoge grondwaterstanden om te gaan. Herkolonisatie van verlaten, maar inmiddels opgedroogde plekken, duurt ongeveer twee maanden tot een jaar (Irmeler, 2004, Griegel, 2008). Op delen die nog lang nat blijven duurt het herstel van arthropoden langer (3 jaar of meer) (Griegel, 2008). De droge periode in de zomer is voor veel soorten voldoende om de winterverliezen te compenseren, als herkolonisatie mogelijk is vanuit een naburig brongebied (Plum, 2005). In droge perioden in de zomer kan de strooisellaag te droog worden en dan zal de activiteit van fauna verminderen.

De soort samenstelling van regenwormen verandert ook (Zorn et al., 2005), maar het resultaat is voor deze faunagroep afhankelijk van de duur van de hoge waterstand. Als het water lang hoog staat, neemt de biomassa van regenwormen af (Plum, 2005), maar wanneer de waterverzadiging van de bodem tijdelijk is, neemt de biomassa juist toe (Schütz, 2008). In een Amerikaanse studie is gevonden dat als de bodem in de winter verzadigd raakt en een afname van de geleedpotige bodemfauna optreedt, nematoden juist toenemen (McBrayer et al., 1977). Gedurende het voorjaar en zomer blijft het aandeel nematoden relatief hoog, maar als de bodem in de zomer uitdroogt, nemen beide faunagroepen tegelijkertijd af. Plum (2005) liet zien dat in graslanden slakken kunnen worden bevoordeeld door hoge waterstanden. Sommige soorten zullen door herhaaldelijke hoge grondwaterspiegels in het geheel verdwijnen, zoals bijen die in de grond nestelen (Fellendorf, 2004).



Figuur 4.3: Populatieverloop door het jaar heen bij arthropoden en nematoden (figuur afkomstig uit McBrayer et al., 1977).

Figure 4.3: Interaction of microarthropod and nematode biomass on a seasonal basis (Figure originates from McBrayer et al., 1977).

4.3.3 Effecten op het functioneren van bodemfauna in relatie tot decompositie

Het is duidelijk uit het voorgaande dat vernatting van een bos grote gevolgen kan hebben op de soortensamenstelling en aantallen van de bodemfauna. Het is echter de vraag of het te verwachten is dat dit leidt tot veranderingen op ecosysteemniveau. In zijn algemeenheid lijken decompositie en plantengroei onafhankelijk te zijn van veranderingen in de bodem op het niveau van individuele soorten van de bodemfauna (Setälä et al., 2000).

Dit komt omdat de functies van de soorten of groepen die verdwijnen kunnen worden overgenomen door andere soorten of groepen. De samenstelling van de bodemfauna zal dus in termen van functionele groepen moeten veranderen om effecten voor het ecosysteemniveau te kunnen verwachten, maar er lijkt geen literatuur te bestaan met voorbeelden dat dit ook daadwerkelijk gebeurt. Variatie in aantallen en soortensamenstelling van predatore bodemfauna hebben geen enkel effect op processen op ecosysteemniveau, zoals de decompositiesnelheid en plantengroei (Setälä et al., 2000).

De bodemfauna speelt een belangrijke rol in de afbraak van organische stof, maar bij de afbraak spelen ook bacteriën en schimmels een belangrijke rol. Er zijn verschillende wisselwerkingen tussen deze organismen die tezamen de afbraak verzorgen. Veel bodemfauna is afhankelijk van micro-organismen als voedsel, maar maken door hun eetgedrag de dode plantaardige biomassa beter beschikbaar voor verdere vertering door bacteriën en schimmels. Ook zijn bacteriën en schimmels gebaat bij een goede aeratie van de bodem die bijvoorbeeld ontstaat door de tunnels die regenwormen maken. Het is dus niet mogelijk om uitsluitend de effecten van vernatting op de decompositie te bespreken van één groep organismen.

Het vernatting van droge bodems heeft een snelle, korte toename van de bodemrespiratie in de grootteorde van een veertigvoudiging tot gevolg (Orchard & Cook, 1983; Schütz, 2008), omdat watergebrek zelf een beperkende factor kan zijn voor de afbraaksnelheid. Water zorgt ervoor dat micro-organismen niet uitdrogen en dat voedingsstoffen zich gemakkelijker door de bodem verplaatsen. Bacteriën hebben voor hun eigen verplaatsing ook water nodig en kunnen onder vochtige omstandigheden dus efficiënter consumeren en vermenigvuldigen. De hoogste mineralisatiesnelheid van stikstof in de bodem wordt bereikt als 80 tot 90% van het pore-

volume met water is gevuld (Stanford & Epstein, 1974). Bij verdroging treden de omgekeerde effecten op: nog ruim voor het punt waarop planten gaan verwelken wordt de vertering sterk geremd (ordegrootte 50%) (Reichstein et al., 2005). Bij verdroging neemt de stikstofmineralisatie bijna lineair af. Denitrificatie bij hogere watergehalten dan het optimum zou kunnen verklaren waarom zich niet meer gemineraliseerde stikstof in de bodem ophoopt (Stanford & Epstein, 1974).

De bodemfauna die betrokken is bij de afbraak van organisch materiaal migreert met zowel een dag- als jaarritme heen en weer tussen de organische lagen en het bovenste deel van de minerale bodem. (McBrayer et al., 1977; Frouz et al., 2004). Dit gedrag neemt af naarmate de grondwaterstand hoger is (Frouz et al., 2004). Toename van zowel epigeïsche (in het strooisel) als endogeïsche (in de minerale bodem) regenwormen als gevolg van vernatting zorgt in perioden van lage grondwaterstand voor aeratie van de gehele bodem, waardoor ook de microbiële gemeenschap tot een diepte van 20 cm zich beter kan ontwikkelen (Plum, 2005; Schütz 2008). Dieper in de bodem blijft de ontwikkeling van de bacteriële gemeenschap achter. De microbiële gemeenschap als geheel functioneert zonder problemen, doordat extracellulaire enzymen nog lang actief zijn, ook als de bacteriën zijn verdwenen, en omdat het waarschijnlijk is dat er compensatie van het ene organisme optreedt als het andere verdwijnt (Schütz, 2008).

Het effect van regenwormen op de afbraak van bladmateriaal wordt vooral sterk nadat het blad een jaar heeft gelegen en het reeds door micro-organismen gedeeltelijk is afgebroken (Cortez, 1998). In gebieden met veel regenwormen, wordt de afbraak sterk door wormen bepaald, in andere gebieden zijn bodemvocht en -temperatuur de belangrijkste parameters.

4.3.4 Conclusie, aanbeveling en kennislacune

Verhoging van grondwaterstanden, zeker wanneer deze nabij maaiveld komen of wanneer inundatie optreedt, heeft effecten op individuele soorten en soortgroepen. Het valt echter niet te verwachten dat er op ecosysteemniveau nadelige effecten zullen optreden als gevolg van de effecten van vernattingsmaatregelen op de bodemfauna.

Een mozaiekstructuur van hogere en lagere delen is aan te bevelen volgens Plum (2005). De hogere delen treden op als refugia voor migrerende bodemfauna en herkolonisatie kan vanuit de refugia snel verlopen als ze verspreid in het bosgebied liggen. Bij de uitvoering van vernattingsmaatregelen in vochtige bossen is het belangrijk een mozaiekstructuur met permanent drogere delen te behouden.

Een deel van de fauna welke niet tot de strikte bodemfauna wordt gerekend, zal verdwijnen bij vernatting (bijvoorbeeld grond-nestelende bijen). Een kennislacune is wat de huidige status van deze diergroepen is in bossen waar vernattingsmaatregelen worden voorgesteld. Is er alternatief habitat in de buurt voorhanden?

4.4 Chemische samenstelling van het grondwater

Voor het functioneren van vochtige bossen is vooral de samenstelling van het grondwater dat de wortelzone kan bereiken van belang. In een inzijgsituatie wordt dit vooral bepaald door de infiltratie van water ter plekke. In bossen op niet verstoorde bodem en in afwezigheid van stikstofdepositie spoelen stikstof en fosfaatvoedingsstoffen nauwelijks uit, in tegenstelling tot kalium. Fosfaat en ammonium blijven doorgaans goed gebonden aan de toplaag van de bosbodem en de concentraties vrij beschikbaar nitraat zijn laag. Wanneer over een langere periode stikstof wordt aangevoerd, raakt de bosbodem verzadigd met stikstof en zal het overschot gaan uitlekken naar het grondwater met als gevolg verzuring, uitspoeling van basen en mobilisatie van aluminium. In de Nederlandse bossen vindt doorgaans een sterke uitspoeling van nitraat uit naar het grondwater, waarbij de concentraties zijn opgelopen van enkele micromolen per liter naar enkele tientallen tot enkele honderden micromolen per liter (Boxman et al., 2008; Boxman & Roelofs, 2006). De gevolgen van deze nitraatuitspoeling worden in Hoofdstuk 7 besproken. De basenrijkdom van het grondwater is in hoge mate afhankelijk van de hydrologische situatie en het bodemtype. Daarnaast kan deze basenrijkdom ook in enige mate worden aangevuld door uitspoeling van basen uit de toplaag.

Dekzandbossen

Dit type vochtige bossen wordt gevoed door infiltrerend regenwater en grondwater dat een relatief korte weg door een zandbodem heeft afgelegd. Dit grondwater is meestal zuur (pH 4-5), maar bevat wel beduidend meer calcium en magnesium dan regenwater. In een minderheid van de gevallen zijn lokaal gebufferde zand- of leemlagen aanwezig, waardoor bicarbonaat, calcium en magnesium oplossen in het grondwater. Het water raakt dan zwak gebufferd, met een buffercapaciteit tot 0,5 milli-equivalent per liter. Wanneer er landbouw aanwezig is in het inziggebied, kan er ook aanrijking met basen, nitraat en/of sulfaat plaatsvinden. Bij uitzondering zijn er kalkrijke lagen in het lokale grondwatersysteem aanwezig, waardoor ook het grondwater matig tot sterk gebufferd kan zijn; een situatie die met name in Twente en in Noord-Brabant hier en daar optreedt.

Vochtige stagnatiebossen

In stagnatiebossen is vooral de samenstelling van het grondwater boven de waterkerende leemlaag van belang (De Waal & Bijlsma, 2003).

Deze leemlaag vertoont altijd wel enige hellingshoek, waardoor in stagnatiebossen relatief hooggelegen infiltratieplekken afwisselen met iets lagere delen die water ontvangen dat horizontaal over de leemlaag afstroomt. Op de infiltratieplekken is het grondwater relatief zuur, temeer daar de toplaag van de bodem hier veel minder in contact komt met grondwater, daardoor sterker verzuurt en dus meer zuur nalevert aan het infiltrerende grondwater. De zuren in het infiltrerende grondwater zorgen ervoor dat bij contact met de leemlaag bicarbonaat, calcium en magnesium in oplossing gaan totdat deze basen zijn uitgelooft en de leemlaag verzuurd is. In bodemlagen die ook in de zomer nat blijven, kan ook ijzer oplossen in het grondwater, een proces dat ook op zichzelf aanzienlijk bijdraagt de buffercapaciteit van het grondwater. In de iets lager gelegen delen is het grondwater dus aanzienlijk beter gebufferd en in de laagste delen soms ook ijzerrijk. Het gaat hier vaak om hoogteverschillen van enkele decimeters. Het spreekt voor zich dat dergelijke lokale grondwatersystemen enerzijds sterk bijdragen aan de afwisseling van standplaatcondities in stagnatiebossen en anderzijds bijzonder gevoelig zijn voor drainage of doorgraving van de leemlaag.

Vochtige beekdalbossen

Het grondwater onder vochtige bossen in en langs beekdalen heeft vaak een langere weg afgelegd, waarbij ook leem- of veenlagen of rivierafzettingen zijn gepasseerd. Dit water is daardoor minder zuur (pH 5-7) en rijker aan onder meer kooldioxide, ijzer, calcium en fosfaat. Indien de gepasseerde bodemlagen ook kalkhoudend zijn, is deze in wisselende mate ook opgelost in het grondwater. In de winter kunnen de grondwaterstanden tot in het maaiveld stijgen en kan in de lagere delen ook grondwater uit treden. Zowel ijzer als fosfaat kunnen dan neerslaan en dus langzaam ophopen in het systeem.

4.5 Buffering

Zowel de mate van buffering als de mechanismen hierachter verschillen sterk per type vochtig bos. De buffering wordt daarom voor de 3 typen vochtig bos apart besproken.

Vochtige dekzandbossen

Dekzanden hebben van nature een lage buffercapaciteit tegen verzuring; enerzijds door het ontbreken van kalk en anderzijds doordat de relatief grove zandkorrels slechts een beperkte capaciteit hebben om basische kationen vast te houden. Bij de afbraak van organisch materiaal worden organische zuren geproduceerd en door de geringe buffering wordt de humuslaag op deze dekzanden al snel sterk zuur met een pH_{water} beneden de 4,5 en een pH_{zout} van 3 tot 3,5 (Kemmers et al., 2007). Wel is het zo dat via de bladval relatief veel basische kationen worden aangevoerd, dus ondanks de zeer lage pH is de basenverzadiging bijna altijd meer dan 80%, wat ook gemeten is in de evaluatie van herstelmaatregelen. Het sterk zure water infiltreert naar de ondergrond, waardoor de minerale bodem direct onder de humuslaag sterk uitlooft. De basenverzadiging is hier doorgaans tussen de 30 en 50%, en in bossen die teveel verzurende neerslag ontvangen zelfs tussen de 5 en de 30%. Door de inspoeling van sterk zuur water worden dus kationen gemobiliseerd, die vervolgens uitspoelen naar diepere bodemlagen. Door deze uitruil van protonen tegen basische kationen is de pH in de minerale toplaag hoger dan in de humuslaag.

In vochtige bossen wordt de buffering op peil gehouden doordat deze voorraad basische kationen via het grondwater wordt aangevuld. De mate waarin aanvulling plaatsvindt is afhankelijk van het gehalte aan basische kationen en van de duur waarin het grondwater in de winter in contact staat met de bovenste bodemlaag.

Dit water is relatief rijk aan calcium en magnesium, waardoor deze basische kationen weer aan de bodem kunnen binden en protonen, ammonium en aluminium vrijkomen. Hierdoor is de basenverzadiging doorgaans iets hoger dan in de aangrenzende zandgronden die geheel buiten het bereik van het grondwater liggen.

Stagnatiebossen

Daar waar water stagneert op leemlagen wordt de mate van buffering bepaald door enerzijds de basenrijkdom van de leemlaag en anderzijds de hydrologie ter plekke. Op de iets hogere plekken waar voornamelijk infiltratie plaatsvindt is het grondwater minder sterk aangerijkt met basen en bovendien staat dit grondwater veel korter tot in de wortelzone dan op iets lager gelegen plekken. Hier kan de humuslaag bijna even zuur worden als in de vochtige dekzandbossen. Dieper in de bodem neemt de pH en basenverzadiging sneller toe dan in de dekzandbossen (De Waal & Bijlsma, 2003).

Op de lagere plekken staat gebufferd grondwater langdurig tot in de humuslaag. Hier is de pH en basenverzadiging ook in de toplaag hoger. Dit geldt ook voor plekken waar leem aan het oppervlak komt.

Een aanvullende factor die zorgt voor een betere basenverzadiging is de doorgaans betere strooiselkwaliteit van een aantal boomsoorten die in de dekzandbossen niet of nauwelijks voorkomen. Dit zijn bijvoorbeeld Haagbeuk, Winterlinde (*Tilia cordata*), Gewone es en Zoete kers (Hommel et al., 2007). Deze bomen wortelen in de leemlaag met een goede basenverzadiging en bouwen relatief veel kationen in hun bladeren, die vervolgens via bladval in de strooisellaag terecht komen. De variatie in pH en strooiselkwaliteit die samenhangt met kleine hoogteverschillen en leemopduikingen wordt dus nog eens verrijkt door de ruimtelijke afwisseling van boomsoorten met verschillende strooiselkwaliteit.

Vochtige beekdalbossen

In vochtige beekdalbossen is de buffercapaciteit en stijghoogte van het aangevoerde grondwater de dominante factor die de basenrijkdom hier bepaalt. Ook hier geldt dat kleine hoogteverschillen gepaard gaan met grote verschillen in pH en basenverzadiging in de humuslaag. Verder zorgen ook in dit type bos leemopduikingen en bomen met een goede strooiselkwaliteit voor een lokaal hogere pH en basenverzadiging.

4.6 Nutriënten

In bossen vindt van nature een ophoping van nutriënten plaats in de bosbodem. Bomen betrekken hun nutriënten uit een dikke bodemlaag van vaak meer dan een meter. Een groot deel van deze nutriënten komt uiteindelijk via het strooisel op de bosbodem terecht. Stikstof komt als ammonium vrij uit afbraak en wordt doorgaans omgezet in nitraat, dat via uitspoeling of dénitrificatie uit het systeem kan verdwijnen (Boxman, 2006). Kalium is weliswaar een kation, maar wordt makkelijk uitgewisseld tegen andere kationen die beter aan de bodem binden. Ook dit nutriënt kan dus door uitspoeling vrij snel weer verdwijnen in spoelen. Dit is anders voor het vrijkomende fosfaat. Dit bindt in de bosbodem aan ijzer of, calcium of organisch materiaal. In bossen waar zich weinig strooisel ophoopt blijft fosfor een groei limiterend element, bijvoorbeeld in alluviale bossen. In bossen met een sterke strooiselophoping doorgaans is dit veel minder het geval en kunnen zelfs op zeer fosforrijke bodem nog soorten als Witte klaverzuring en Bosgierstgras domineren (Baeten e.a., 2009), en is fosfor dus niet het limiterende element voor plantengroei in bossen.

In een natuurlijke bosbodem zijn dus vrij veel voedingsstoffen aanwezig, maar is de beschikbaarheid laag. Kalium en stikstof zitten vooral ingebouwd in organisch materiaal. Dit geldt ook voor fosfaat, maar hiervan zijn ook belangrijke fracties gebonden aan calcium, ijzer en aluminium. Vooral de in de bosbodem aanwezige schimmels kunnen gebonden fosfaat op efficiënte wijze losweken, gebruiken en vasthouden en maken zowel fosfaat als stikstof vrij door afbraak van organisch materiaal (Plassard & Dell, 2010). Bijna alle kruiden, struiken en bomen in vochtige bossen werken samen met schimmels in de slag om voldoende voedingsstoffen. Verstoringen als verzuring, verdroging, bodembewerking en kap leiden

doorgaans tot mobilisatie van voedingsstoffen, waardoor karakteristieke bossoorten worden verdrongen door eutrafente soorten die niet afhankelijk zijn van een dergelijke samenwerking.

Vochtige dekzandbossen

Dekzanden zijn arm aan fosfaat, met doorgaans minder dan 53 millimol fosfor per liter bodem (Smolders et al., 2009). Daar waar zich geen humus ophoopt, wordt plantengroei gelimiteerd door zowel stikstof als fosfaat. Echter, dekzanden zijn ook arm aan ijzer en calcium, waardoor de bindingscapaciteit voor fosfaat ook gering is. Bij ontwikkeling van een humuslaag verdwijnt de fosfaatlimitatie al snel en wordt vooral stikstof in de meeste bossen vermoedelijk het groei limiterende element, althans in afwezigheid van stikstofdepositie.

Stagnatiebossen

De leemlagen die lokaal aanwezig zijn op de pleistocene gronden in stagnatiebossen zijn doorgaans aanzienlijk fosfaatrijker dan dekzand; doorgaans is 3 tot 10 millimol fosfor per liter bodem aanwezig. Daar waar zo'n de leemlaag in de ondergrond zit, bereikt dit fosfaat vooral via opname door boomwortels en inbouw in bladeren uiteindelijk de humuslaag. Indien de leemlaag aan het oppervlak komt, is vooral de basenrijkdom en het ijzergehalte bepalend voor de mate waarin fosfaat beschikbaar is. Op basenrijke leem zal strooisel snel afbreken en ontwikkelt zich geen dikke humuslaag met een goede fosfaatbeschikbaarheid. Vooral als de leem dan ook nog ijzerrijk is, zal de fosfaatbeschikbaarheid laag blijven.

De omzettingssnelheden van stikstof zijn in stagnatiebossen waarschijnlijk hoger dan in vochtige dekzandbossen; de hogere pH stimuleert decompositie en mineralisatie van stikstof en het vrijkomende ammonium wordt sneller omgezet in nitraat. Het is dus aannemelijk dat de nitraatbeschikbaarheid in stagnatiebossen hoger is dan in vochtige dekzandbossen, maar goede data uit ongestoorde situaties ontbreken.

Door de afwisseling van hogere delen met een zure humuslaag, basenrijke leemopduikingen, laaggelegen delen die sterk door basenrijk grondwater worden beïnvloed en een sterke afwisseling in strooiselkwaliteit als gevolg van verschillende boomsoorten, is er in stagnatiebossen vermoedelijk een flinke ruimtelijke afwisseling in stikstof- en fosforbeschikbaarheid. Aangezien veel van deze bossen in hakhoutbeheer zijn (geweest), is er bovendien vaak een ruimtelijke afwisseling in de tijd. Het is onvoldoende bekend in hoeverre deze afwisseling de biodiversiteit in stagnatiebossen stuurt.

Vochtige beekdalbossen

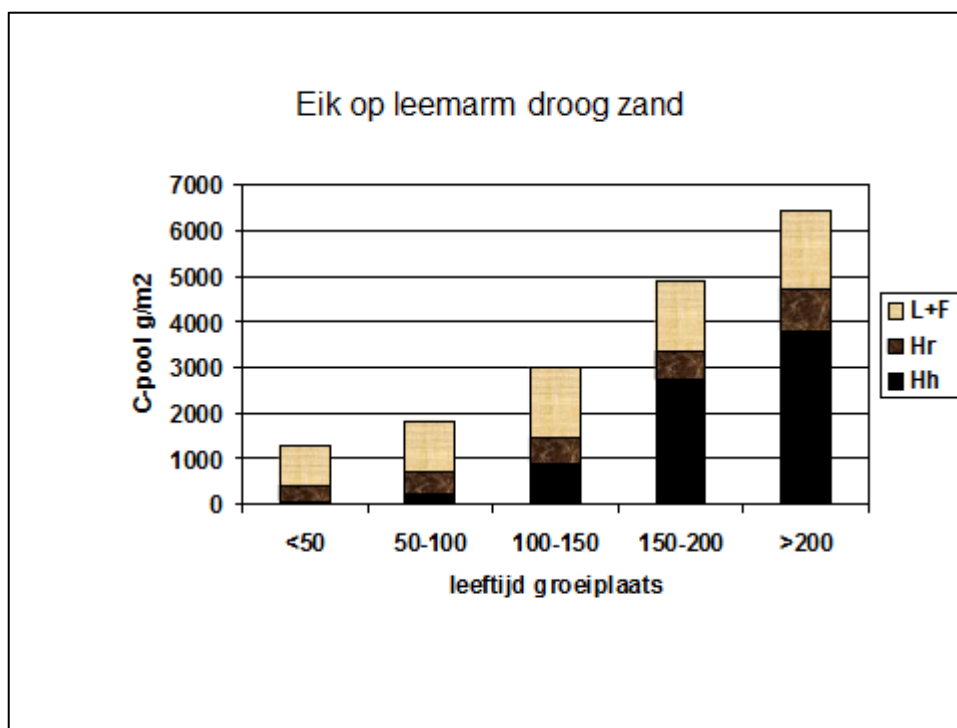
De nutriëntenhuishouding in vochtige beekdalbossen zal vermoedelijk niet veel afwijken van die in stagnatiebossen. Wel is het zo dat het grondwater in deze systemen een langere weg heeft afgelegd, waardoor er meer bicarbonaat, basische kationen en nutriënten worden aangevoerd. Gewoonlijk is in grotere grondwatersystemen meer ijzer in het grondwater opgelost dan fosfaat, waardoor de beschikbaarheid van fosfaat laag blijft. Mineraal stikstof zal in het zuurstofloze grondwater vooral aanwezig zijn als ammonium. De beschikbaarheid van nutriënten is in dit type vochtig bos daarom vermoedelijk wat groter dan in stagnatiebossen.

4.7 Humusprofielontwikkeling

Over de snelheid waarmee bepaalde humusvormen ontstaan is nog weinig bekend. Het is echter wel duidelijk dat jonge en oude bossen sterk kunnen verschillen in humusopbouw, afhankelijk van het moedermateriaal en de mate van bodemverstoring. Op voedselarme en zure bodems leidt de ontwikkeling van een H-laag (laag met amorfe fijne humus) na ca. 40 jaar ongestoorde ontwikkeling tot belangrijke veranderingen in het boscysteem (Emmer, 1995; zie Rol van nutriënten en basen). Dikke oude humusprofielen vertonen in eigenschappen overeenkomsten met amorfe veenprofielen. Er zijn sterke aanwijzingen dat in matig rijke, oude bossystemen een humuscyclus plaatsvindt waarbij eerst sprake is van mullvorming, vervolgens dominante strooiselvorming (modervorming) en uiteindelijk weer een mull-achtige ontwikkeling optreedt (Ponge & Bernier, 1995). Voor de Nederlandse situatie is deze cyclische ontwikkeling nog niet gedocumenteerd. Wel blijkt dat in oude vochtige boslocaties de aangroei van de H-laag zeer lang kan doorgaan; niet de ouderdom van de opstand is hier van belang maar de ouderdom van het bos (Figuur 4.4).

Rol van vocht (verdroging en vernatting)

Vochtige omstandigheden bevorderen in samenhang met de nutriëntenrijkdom de strooiselafbraak door bodemorganismen; droogte remt de activiteit van de bodemorganismen en daarmee de afbraak (zie § 4.7). Waterverzadiging leidt echter tot zuurstofgebrek waardoor de afbraak sterk wordt geremd. Anaërobe condities leiden tot specifieke humusvormen: in zure omstandigheden tot veenvorming en onder invloed van basenhoudend grondwater tot amorfe, gyttja-achtige humusvormen met een hoge basenverzadiging. Dergelijke natte omstandigheden worden niet beschouwd in het onderhavige project (Van Delft et al. 2009). Bij verdroging zal in eerste instantie door een betere zuurstofhuishouding de activiteit van bodemorganismen en daarmee de omzettingssnelheid van de organische stof toenemen. Bij verdere verdroging zal in samenhang met verzuring weer stapeling van ectorganische humus optreden. Dit betekent zeker niet dat afbraak onder invloed van fauna afwezig is in deze omstandigheden. Bij vernatting van droge situaties neemt het vocht- en basengehalte, in de bodem en daarmee zowel de bodemactiviteit als de humusomzetting toe (Figuur 4.5).



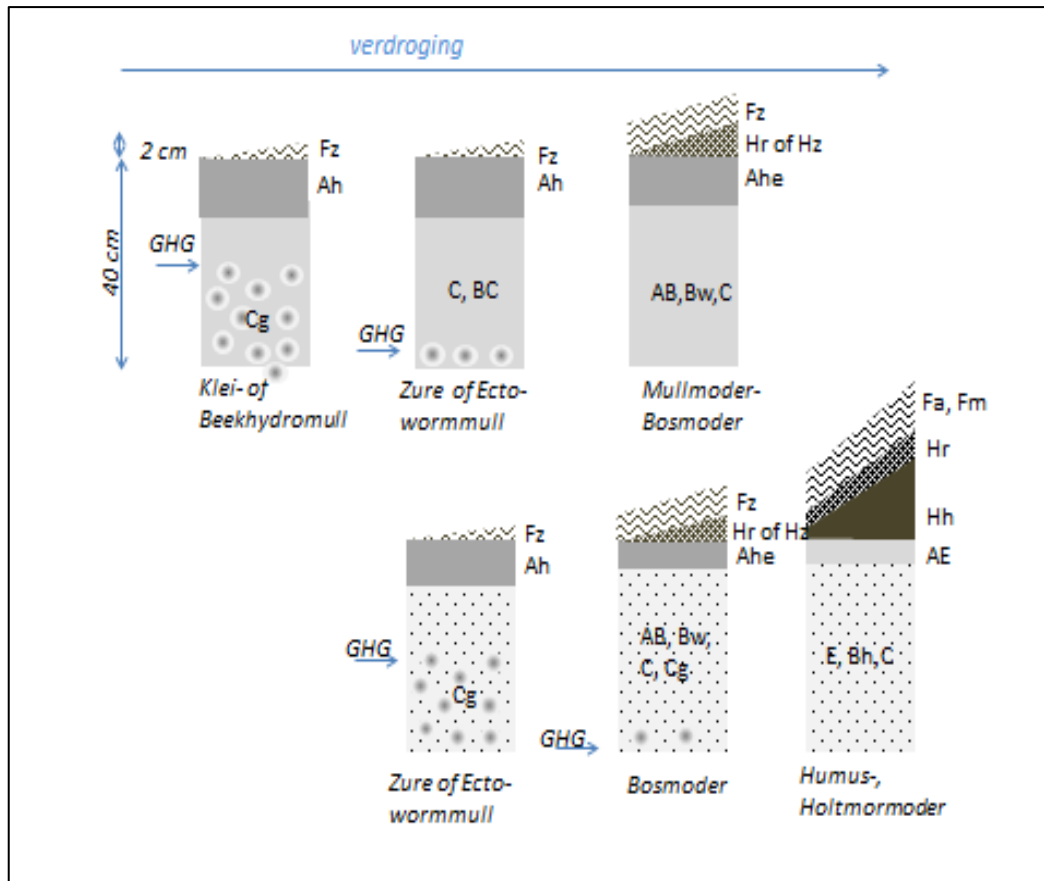
Figuur 4.4: Humusopbouw en leeftijd van het ecosysteem

Figure 4.4: The relation between humus form development and age of the ecosystem (oak on sandy soils)

Een verhoogde humusomzetting zal in het algemeen leiden tot een verhoogd aanbod van nutriënten (vooral N en P). Er zijn echter enkele mechanismen die tegelijkertijd de nutriëntenbeschikbaarheid temperen, die mogelijk ook de oorzaak zijn dat bij vernatting niet altijd verzuuring van de vegetatie zal optreden. Ten eerste zal door toename van het aantal bodemorganismen een deel van de door afbraak van organische stof vrijgekomen nutriënten geïmmobiliseerd worden (Kemmers et al., 2010; Kooijman, 2012). Met andere woorden ze worden vastgelegd in de biomassa van de bodemfauna. Bovendien wordt een deel van de nutriënten vastgelegd in de excrementen van de mesofauna (mijten, springstaarten en potwormen) waarbij moderbolletjes ontstaan. In de bodem wordt de humus door de macrofauna (o.a. div soorten regenwormen; zie § 4.7) gemengd met minerale bodemdeeltjes waarbij in kleihoudende bodems de N en P deels vastgelegd worden in klei-humuscomplexen (Scheffer & Schachtschabel 1992). Hoeveel van de bij humusafbraak vrijgekomen nutriënten weer vastgelegd worden moet nog verder onderzocht worden.

Vernatting kan echter ook te ver doorgevoerd worden. De zuurstofbeschikbaarheid neemt dan sterk af waardoor de activiteit van de bodemfauna en daarmee de humusomzetting weer vertraagd wordt. De nadruk zal meer komen te liggen op traag verlopende anaërobe omzettingsprocessen. In zulke semiterrestrische omstandigheden zal er in het algemeen een netto stapeling van organische stof plaats vinden. Veenvorming of de vorming van gyttja-achtige organische lagen zullen dan het resultaat zijn. Deze processen markeren grofweg de begrenzing tussen broekbos en vochtig bos.

Veel vochtige bossen zijn gekenmerkt door stagnerende bodems. Hier heersen voor een beperkt deel van het groeiseizoen anaërobe omstandigheden. In het zomerseizoen kan het grondwater echter diep wegzakken. Deze extreme verschillen leiden tot aparte humusvormen zoals hydromulls en hydromoders. Deze humusontwikkelingen kunnen op langere termijn tot meer permanente waterverzadigde omstandigheden leiden (semipermanente vennen). Vorming van oligotrofe amorfe humus (gliede) kan in de armere milieus stagnatie versterken. De relatie tussen vocht en humusontwikkeling is wederkerig. Bij ontwikkeling van dikke humusprofielen in oude vochtige bossen kan de vochttoestand in de wortelzone van de kruidlaag sterk veranderen (hoger vochthoudend vermogen en vertraging van infiltrerend water).



Figuur 4.5: Verandering in humusvormen bij verdroging op regenwatergevoede stagnatie plekken en kwelrijke groeiplaatsen. Bij vernatting zal het proces in omgekeerde richting verlopen.

Figure 4.5: Changes in humus forms following desiccation on rainwater fed stagnation places and seepage rich habitats. After rewetting the process will change in the

Rol van nutriënten en basen

De richting van de humusontwikkeling wordt in vochtige bossen van de hogere zandgronden ook gestuurd door de nutriënten- en basenstatus van het moedermateriaal en door de basenstatus van het grondwater. Een hogere basen- en nutriëntenstatus bevordert in het algemeen de afbraak. In matig rijke vochtig bossen (op lemig moedermateriaal en op door basenhoudend grondwater beïnvloede standplaatsen) vindt een snelle afbraak van organische stof plaats waarbij onder invloed van bodemwoelende regenwormen de organische stof gemengd wordt met de minerale bodem. De humus wordt daarbij gebonden aan het kleicomplex. Dit resulteert in mull-achtige humusvormen gekarakteriseerd door een dikke endorganische Ah-horizont en het ontbreken van een permanente strooisellaag (een Ah(F)-profiel) (zie Figuur 4.6). Door de hoge activiteit van de bodemfauna ontstaat een luchtig, diep en makkelijk doorwortelbaar bodemmilieu.

Onder matig arme omstandigheden (op zure, lemige zanden en lemen) blijft deze homogenisatie beperkt tot de strooisellaag en de overgang naar de minerale bodem. Hier zijn vooral strooiselwormen, potwormen, springstaarten en mijten actief (Beylich & Graefe, 2002; Van Delft et al., 2006). Hierbij ontstaat een humusvorm die grotendeels uit al dan niet aangevreten moderdeeltjes bestaat, zowel in het minerale als het organisch deel van het profiel: moder humusvormen (zie Figuur 4.5 en 4.6). Het accent bij de humusontwikkeling verschuift hier dus van endorganische humusvorming naar milde strooiselvorming. Er worden L-Fz-Hr/Hz-Ah- profielen gevormd die echter maar een geringe dikte hebben. In de Fz- en Hz-horizont (Fz en Hz zijn respectievelijk moderrijke halfverteerde strooisellagen en volledig omgezette moderlagen; zie Van Delft et al., 2006) is de moderhumus in de vorm van afzonderlijk bolletjes en aggregaten dominant aanwezig (de "z" staat voor zoögeen). De Hr-lagen bestaan deels uit moderdeeltjes met nog herkenbare, sterk verkleinde plantenresten en fijne amorfe humus (de "r" staat voor "residuen").

	Natbos	Vochtig bos	Droog bos
regenwater/lokale kwel	<p>accumulatie van moerig materiaal</p> <p>arme semiterrestrisch humusvormen (Veenmosmor en Mesimors)</p>	<p>mineralisatie moerig materiaal, stapeling terrestrisch strooisel (F,Hr)</p> <p>Moermesimors, hydromoder, moder</p>	<p>stapeling van strooisel (F,Hr,Hh)</p> <p>Humus-, Bos-, Holtmoder</p>
stagnatie		<p>vorming minerale hydromorfe humusvormen zonder of met geringe stapeling</p> <p>Hydromulls (evt. met dunne Fz-laag)</p>	<p>matige stapeling van strooisel</p> <p>Hydromoders, Humus-, Bosmoders, Mullmoder</p>
basenrijke kwel	<p>geringe accumulatie van moerig materiaal</p> <p>rijke semiterrestrisch humusvormen (Meereerdmoder, Moermoder, Beekmesimor)</p>	<p>vorming minerale, deels hydromorfe humusvormen zonder of met geringe stapeling</p> <p>Hydromulls (hydromorf) en Wormmulls</p>	<p>stapeling van strooisel</p> <p>Humus-, Bosmoders en Mormoders, Mullmoder</p>

Figuur 4.6: Het verband tussen humusvorm, vocht, basenrijkdom en strooiselkwaliteit in vochtige bossen van de hogere zandgronden.

Figure 4.6: The relation between humus form, moisture, base-content and litter quality in moist forests.

Onder de armste en zuurste omstandigheden wordt de afbraak van organische stof vooral gedomineerd door schimmels. Dit leidt tot een sterke ectorganische strooiselopbouw, waarbij naast de L- en F-horizont vooral de opbouw van een voornamelijk uit amorfe humus bestaande Hh-laag een belangrijke rol gaat spelen, zowel onder bos als heide. Er wordt een L-Fa/Fm-Hh-AE/E-profiel gevormd (zie Figuur 4.6). Dergelijke humusvormen worden aangeduid met mormoder of mor (Klinka, Green et al., 1981; Van Delft et al., 2006). De H-laag ontstaat na ca. 40 jaar ongestoorde humusontwikkeling. Oude bossystemen op arme standplaatsen worden dan ook gekenmerkt door een dikke Hh-laag, die wel een dikte van enkele decimeters kan bereiken (De Waal, 1996; Berg & McLaugherty, 2008).

Een prominente Hh-laag gaat door zijn afwijkende eigenschappen in belangrijke mate de standplaats mede bepalen. De zure en slecht afbreekbare Hh legt nutriënten en basen vast, zowel door zijn invloed op immobilisatie door bodemorganismen als door vastlegging in recalcitrante humus (Berg & McLaugherty, 2008).

Alleen sterk gespecialiseerde plantensoorten kunnen deze nutriëntenbron benutten, zoals soorten met ericoïde mycorrhiza (o.a. struik- en dophei). Een andere belangwekkende eigenschap is het hoge vochthoudend vermogen en de slechte doorlaatbaarheid en doorwortelbaarheid van deze laag. De vorming van een door de Hh-laag gedomineerde humusvorm bepaalt onder droge omstandigheden de vochttoestand van de standplaats. (Leuschner & Rode, 1999; Bijlsma et al. 2013)

Rol van de boomsoort

Boomsoorten met goed verteerbaar strooisel zoals populier, Gewone es, iep, linde, Zoete kers en in mindere mate esdoorn bevorderen de activiteit van de bodemfauna. Hierdoor treedt minder strooiselaccumulatie op in vergelijking met een aanbod van slecht verteerbaar strooisel

zoals afkomstig van eik, Beuk en naaldboomsoorten (Hommel et al., 2007). Boomsoorten met goed verteerbaar strooisel, zoals zijn zo in staat de basenstatus in een verzurend milieu nog lange tijd op peil te houden. De calciumconcentraties, die hoger zijn in bladstrooisel van de meeste loofbomen, spelen hierbij een cruciale rol. Boomsoorten met strooisel met hogere calciumconcentraties leiden tot een hogere pH en basenverzadiging in de humuslaag en minerale bodem en daarmee een betere regenwormpopulatie en een hogere afbraaksnelheid van het strooisel (Reich et al., 2005; De Schrijver, 2007). De "rijkere" boomsoorten op vooral om matig rijke bodems produceren strooisel met meer basische kationen, waardoor op den duur de pH in de humuslaag 0,5-1 eenheid hoger ligt dan in een humuslaag opgebouwd door bomen met armer strooisel (Hommel et al., 2007). Vooral in vochtige bossen die op een bodem met een beter gebufferde onderlaag staan, kan bevoordeling van deze "bodemverzorgers" bijdragen aan een betere buffering van de humuslaag. Hazelaar is een struiksoort met eenzelfde gunstig effect. Haagbeuk en ook berk nemen een middenpositie in. Zelfs in het sterk verzuurde bereik kunnen bepaalde boom- en struiksoorten via hun strooisel de humusvorming beïnvloeden. Berk en zelfs eik zijn in staat om in verarmde heideterreinen via hun strooisel het bodemleven te bevorderen (Nielsen et al., 1987). Iets dergelijks is bekend van Lijsterbes in extreem verzuurde milieus in Tsjechië (Kooijman et al., 1999).

Door de bodemverzorgers worden niet alleen basische kationen, maar vaak ook meer nutriënten aangevoerd. Zo zijn bijvoorbeeld bladeren van populieren niet alleen rijk aan kationen, maar ook bijzonder rijk aan fosfor. Uitbreiding van bodemverzorgers kan dus leiden tot een voedselrijkere bosbodem, zowel door het stimuleren van afbraak van organisch materiaal als door de aanvoer van extra voedingsstoffen en basen.

Rol van detritivore bodemfauna

De ontwikkeling van de humusvormen zijn onverbreekelijk verbonden met de activiteit van de bodemfauna. De humusvormen zijn op te vatten als het resultaat van de interactie tussen bodem en grondwater, bodemfauna en vegetatie (vooral boomsoort). In zure arme omstandigheden wordt de afbraak van de organische stof vooral verzorgd door schimmels (Mac Laugherty, Green et al., 1993, Van Delft et al.). In gematigde klimaatzones is de nutriëntencyclus, waarin bomen voedingsstoffen uit de bodem opnemen en bodemorganismen door de afbraak van gevallen bladeren en omzetting in de humusvorm de nutriënten weer beschikbaar maken, cruciaal voor het functioneren van bosecosystemen. De afbraak van organisch materiaal in de bodem/humusvorm komt vooral tot stand door bacteriën en schimmels (Brady & Weil, 2002). De detritivore bodemfauna, waaronder protozoa, nematoden, springstaarten en mijten, voedt zich vooral met deze micro-organismen. De effecten van de schimmel- en bacterie-eters kunnen wisselend zijn: in sommige vallen wordt door begrazing de groei van de microben gestimuleerd, waardoor de decompositiesnelheid toeneemt, terwijl in andere gevallen zoveel wordt weggegraasd dat de snelheid van decompositie (tijdelijk) afneemt (Brady & Weil, 2002).

Behalve het effect op microbenpopulaties, speelt de bodemfauna ook een rol bij het versnipperen van dood plantenmateriaal, waardoor schimmels en bacteriën er beter bij kunnen. Bodemfauna zorgt ook voor bioturbatie en het loshouden van de grond, waardoor zuurstof dieper de bodem kan indringen. Deze processen versnellen de afbraak aanzienlijk. Een deel van het dood plantaardig materiaal wordt bovendien in het in het maag-darmstelsel van de bodemfauna verteerd door bacteriën die daar in symbiose met de bodemfauna leven. Organisch materiaal dat het maag-darmstelsel van dieren is gepasseerd, wordt doorgaans versneld afgebroken. Het netto-effect van de bodemfauna is een duidelijke toename van de decompositiesnelheid (Brady & Weil, 2002).

De bodemfauna vormt echter geen stabiele populatie. Fluctuaties treden bijvoorbeeld op als gevolg van competitie en predatie, maar ook de abiotiek heeft invloed op bodemfaunapopulaties. Met name extremen in temperatuur en vochtigheid hebben grote effecten op de bodemfauna. Veranderingen in de pH hebben slechts geringe effecten op de bodemfauna op het niveau van soorten (Baath et al., 1980) en ecosysteemeffecten door verschuivingen van functionele groepen zijn niet te verwachten (tenzij in extreme situaties, die niet van toepassing zijn in de context van dit preadvies).

De bodemfauna reageert op bodemvocht en temperatuur door te migreren in de bodemlaag: naar boven als het te nat wordt en naar beneden als het droog, warm of koud wordt. In droge bossen werkt deze strategie goed, maar in vochtige bossen gaat in de winter kou vaak samen met een hoog grondwaterniveau, waardoor de dieren voor een dilemma komen te staan: naar beneden en mogelijk verdrinken of omhoog en mogelijk bevriezen.

4.8 Successie

Vochtige bostypen zijn in Hoofdstuk 2 ondergebracht in de hoofdtypen beekdalbos, stagnatiebos en dekzandbos (zie Tabel 2.9). Soortensamenstelling en bosstructuur zijn echter voortdurend in verandering. Deze veranderingen kunnen zo groot zijn dat wij in vegetatiekundige zin zelfs van andere bosgemeenschappen kunnen gaan spreken. Maar ook binnen één bostype kunnen soortensamenstelling en bosstructuur grote veranderingen ondergaan. Hierbij kunnen vier processen worden onderscheiden:

- Veranderingen van de vegetatie na degradatie van de groeiplaats (verdroging, vermessing et cetera);
- Veranderingen van de vegetatie volgend op een verandering in bosgebruik;
- Natuurlijke ontwikkeling door vestiging van soorten van bosesystemen (successie in strikte zin);
- Cyclische verandering (bosdynamiek) in de boom- en struiklaag door aftakeling en verjonging, gekoppeld aan oude, (relatief) natuurlijke bossen waarbij een dynamisch mozaïek van leeftijdsklassen ontstaat.

De drie hoofdtypen Vochtig bos verschillen voor wat betreft het relatief belang van deze processen.

Veranderingen na degradatie van de groeiplaats

Deze processen spelen weliswaar in alle drie de hoofdtypen, maar zijn dominant in de beekdalbossen. Deels gaat het hier om degradatie van oorspronkelijk aanwezige vochtige bossen (Vogelkers-Essenbos) door verdroging en/of rabattering, deels juist om verdroging van oorspronkelijk aanwezige elzenbroekbossen (nat bos), waarbij vanuit de Vochtige bossen geredeneerd nieuwe groeiplaatsen zijn ontstaan.

Een vergelijkbaar effect zien wij in de dekzandbossen, waar verdroogd berkenbroekbos zich als vochtig bos kan gaan ontwikkelen. Degradatie werkt lang door: rabatten hebben drogere en gehomogeniseerde bodems. De vochtgradiënt met bijbehorende soorten wordt teruggedrongen naar de greppelkanten (zie § 2.2.2 Figuur 2.2).

Veranderingen volgend op een verandering in bosgebruik

Beekdalbossen en stagnatiebossen werden na rabattering vaak ingeplant met intensief gebruikt eikenhakhout. Deze werden later veelal weer omgezet in structuurarm, extensief beheerd spaartelgenbos. Onder invloed van de dominantie van eik en (vooral in de beekdalbossen) verdroging van de groeiplaats ontstonden ectorganische humusprofielen. Dit leidde weer tot een verandering van het bostype, waarbij het oorspronkelijk aanwezige *Alno-Padion* (beekdalbos) dan wel *Carpinion* (stagnatiebos) uiteindelijk overging in een *Quercion*-bos, een situatie die sterk afwijkt van de oorspronkelijk ongerabatteerde toestand.

Natuurlijke ontwikkeling

Deze processen zijn dominant in de Dekzandbossen. Deels gaat het hier om spontane bosvorming op vochtige heidegronden, deels ook om veranderingen in jonge bosaanplant, veelal van Grove den. Een belangrijk aspect hierbij is de geleidelijke 'verlofing' van aangeplante dennenbossen, enerzijds door vestiging van boom- en struiksoorten zoals Zomereik, Beuk, Hulst (*Ilex aquilifolium*) en Amerikaanse vogelkers, anderzijds door het achterwege blijven van verjonging van Grove den. In de kruidlaag verloopt de successie in heide- en stuifzandbebossingen van een grasfase, via een dwergstruikfase naar een door besdragende struiken gedomineerd stadium met verjonging van loofboomsoorten. Deze ontwikkeling loopt parallel met een ontwikkeling van een ectorganisch humusprofiel waarbij de relatieve bijdrage van de H-laag steeds groter wordt. Ook de mycoflora verandert sterk onder invloed van deze successie (Bijlsma et al., 2010).

De beekdal- en stagnatiebossen zijn gemiddeld ouder dan de dekzandbossen en daardoor verder ontwikkeld. Veranderingen in soortensamenstelling en structuur zijn hier veelal gerelateerd aan een verandering in bosgebruik: van hakhout naar opgaand bos. Ook hier geldt dat verjonging van de hoofdboomsoort, zoals Zomereik, Zwarte els, Berk of Canadapopulier, vaak achterwege blijft, en sterk-verjongende soorten zich kunnen vestigen of uitbreiden, afhankelijk van de mate van verdroging/verzuring. Gewone es, Gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*), Beuk, Hulst of Klimop kunnen daardoor relatief toenemen. Hazelaar kan zich

ook bij verdroging goed handhaven en kan onder een steeds opener wordend kronendak van eik sterk uitgroeien. Met het veranderend bosgebruik samenhangende veranderingen in dominante boomsoort kunnen hierbij aanleiding zijn voor extra dynamiek in de soortensamenstelling van de ondergroei (zie hierboven).

De snelheid van successie en de ruimtelijke dynamiek van de kruidlaag wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van grote zoogdieren. De successie van dekzandbossen verloopt trager in de aanwezigheid van grote herbivoren (voornamelijk op de Veluwe) waardoor bossoorten met een gering dispersievermogen meer tijd krijgen zich te vestigen. Ook de bosdynamiek (zie hieronder) verandert in die zin dat open ruimtes veel langer open blijven. In rijkere bostypen, met name stagnatiesbos, kunnen zwijnen de kruidlaag open maken waardoor nieuw vestigingsmilieu ontstaat voor bijv. Slanke sleutelbloem (Van Buggenum, 2014).

Waar het de potentieel dominante boomsoort in de vochtige bossen betreft, bieden historische referenties geen eenduidig aanknopingspunt. Vooral het sterk verminderd aandeel van Eik in de verjonging ten gevolge van eikenmeeldauw (sinds 1907) maakt een voorspelling van lange termijn ontwikkelingen onzeker. Dit speelt in alle vochtige bossen, maar vooral in de dekzandbossen, waar het natuurlijk aanbod aan boomsoorten (naast de zomereik) toch al zeer beperkt is. Voor de ontwikkelingen in de beekdal- en stagnatiebossen is ook het nagenoeg verdwijnen van de Iep als bosboom (ten gevolge van de iepenziekte; sinds 1918) en de verwachte sterke achteruitgang van de Gewone es (ten gevolge van de essentakkensterfte; sinds 2011) van groot belang. Waarschijnlijk zullen in de nabije toekomst Gewone - en Noorse esdoorn (*Acer platanoides*) van dit machtsvacuüm gaan profiteren, terwijl wij nu al een duidelijke toename van Hulst in de boomlaag kunnen waarnemen.

Cyclische verandering van bossen op oude bosgroeiplaatsen

Voor de meeste vochtige bossen geldt dat het dynamisch bosmozaïek nog ver weg is. Relatief oude en natuurlijke bosgroeiplaatsen komen vooral voor in de stagnatiebossen, in veel mindere mate in de beekdalen en vrijwel niet in de dekzandbossen. Cyclische veranderingen in de vegetatie zijn echter niet strikt tot de oudste en meest natuurlijke bossen beperkt. In oude hakhoutbossen bijvoorbeeld neemt, mede onder invloed van verdroging en eikensterfte, de lichtinval op de bosbodem (tijdelijk) toe. Dit verhoogt de kans op braamdominantie en de vestiging, dan wel uitbreiding van Gewone esdoorn, Beuk en Hulst. Aftakeling en sterfte van de hoofdboomsoort geeft in dit geval een andere richting aan de successie (zie ook Bijlsma et al., 2010). Een tweede voorbeeld vormen de met populier doorplante beekdal- en stagnatiebossen. Populier vormt hier een scherm waaronder spontane bosontwikkeling plaatsvindt. Na windworp of, in verwaarloosde plantages, in de aftakelingsfase ontstaat variatie in het reliëf (kluiten, kuilen en gaten) en komt dik dood hout beschikbaar, terwijl zich in de struiklaag nieuwe soorten kunnen vestigen (Meidoorn, Hazelaar, Vogelkers) en ook de verjonging van Es en Esdoorn wordt bevorderd (zie ook § 7.4.2).

Voorwaarde voor het ontstaan van een dynamisch bosmozaïek is dat er voldoende bosoppervlak aanwezig is. Koop & Van der Werf (1995) noemen als vuistregel een minimumstructuurareaal van 10-15 ha. De geringe oppervlakte oud, niet-gedegradeerd bos is zowel in beekdalbossen als stagnatiebossen een knelpunt (zie ook § 7.3 Versnippering).

5. Referenties en voorbeeldgebieden

5.1 Criteria

De beschrijving van referenties omvat niet alleen de best ontwikkelde bossen in Nederland en aangrenzend buitenland maar ook voorbeelden van minder goed functionerende bossen met nog goede natuurkwaliteit en van gunstige ontwikkelingen. Criteria hierbij zijn:

1. De werking van processen op landschapsschaal, met name de mate waarin bossen onderdeel zijn van intacte landschappelijke gradiënten met andere bostypen (zie hoofdstuk 3; boscomplexen volgens Koop & Van der Werf 1995);
2. De ouderdom van de bosgroeiplaats en de aanwezigheid van oudbosindicatoren (o.a. Honnay, Hermy & Coppin, 1999);
3. De werking van processen op standplaatsniveau, met name de aanwezigheid van natuurlijk reliëf en de hierbij passende waterhuishouding (zie hoofdstuk 4);
4. De aanwezigheid van specifieke natuurkwaliteiten zoals soorten(groepen), bosstructuur en natuurlijkeheidsgraad (zie hoofdstuk 2).

We beperken ons tot de typen bossen die wijd verspreid voorkomen en een aanzienlijke beheer- en herstelopgave hebben: de stagnatiebossen op leem en oude klei, de bossen in beekdalflanken en de bossen van het heidelandschap.

Voor elk type geven we (relatief) goed ontwikkelde voorbeelden (categorie 1) en voorbeelden van meer aangetaste bossen met elementen van een goede natuurkwaliteit (categorie 2).

5.2 Stagnatiebossen op leem en oude klei

Categorie 1: In Nederland overwegend sterk versnipperd en omgeven door cultuurgronden (graslanden), maar hierbinnen met 1) deels intact reliëf met eilandenstructuur met zowel relatief hoog als laag gelegen delen en corresponderend mozaïek van bosgemeenschappen (incl. elementen van *Quercion* en *Alno-Padion*), 2) relatief intacte waterhuishouding, zeer nat tot in late voorjaar en 3) lange historische continuïteit ('ancient woodland') met corresponderende oudbossoorten.

Categorie 2: Als categorie 1 maar overwegend gerabatteerd en met uniforme bosstructuur (vaak spaartelgenbos), met sterke randinvloeden en deels verdroogd, maar plaatselijk nog met vochtminnende oudbossoorten.

Land/ Provincie	Bosgebied	Cat
NL/OV	Achter de Voort (Ootmarsum); Haverkamp (Glanerbrug)	1
NL/GD	Willinks Weust (Winterswijk); Bijvank (Beek)	1
NL/LM	IJzeren bos (Susteren)	1
D	Die Bröke (Ahaus); Bentheimer Wald (Bentheim); Samerrott (Bentheim)	1
NL/DR	Kleibos (Roden); Gasterse Holt (Gasteren); Geelbroek (Assen)	2
NL/OV	Singraven (Denekamp); Gravenbos (Saasveld); Gravenbos (Saasveld); Smoddebos en Duivelshof (Losser); Grevenmaat (De Lutte); Smalenbroek (Enschede); Weldam/Elsbroek (Markelo)	2
NL/GD	Wildenborch (Vorden); Anholtse broek (Breedebroek); Beestman (Bredevoort); Slangenburg (Doetinchem); Ulenpas, Hekenbroek, Enghuizen (Hoog Keppel); Bosslag (Loil); Bevermeer (Angerlo); Personenbos (Wychen)	2

NL/NB	Geelders (Boxtel); Boschkant (Sint Oedenrode); De Mortelen, Veldersbos, Heerenbeek (Liempde); De Brand (Udenhout)	2
NL/LM	Weerterbos; De Doort (Echt)	2

5.3 Beekdalbossen

Categorie 1: Onderdeel van relatief intacte landschappelijke gradiënt met goed ontwikkeld beekbegeleitend bos en overgangen naar droog inheems bos; GWT overwegend III-IV; met oudbossoorten van het *Alno-Padion*.

Categorie 2: Landschappelijke gradiënt (sterk) aangetast maar GWT in bereik III-VI en met relictten van oudbossoorten; ook jonge bossen in natuurontwikkelingsgebieden zonder relictsoorten maar met gunstig perspectief door nabijheid van oudere boskernen.

Land/ Provincie	Bosgebied	Cat
NL/DR	Burgvollen (Anloo)	1
NL/GD	Bekendelle, Buskersbos (Winterswijk)	1
NL/NB	Urkhovense zeggen (Eindhoven), Ulvenhoutse bos (Ulvenhout), Valkenberg (Ulvenhout-Chaam)	1
NL/OV	Boekelerbeek (Enschede), Dinkelbossen (Beuningen), Kloppersblok (Weerselo-Oldenzaal)	2
NL/GD	De Zelder (Nijkerk), Leusveld (Brummen), Hackfort, zeer fragmentair (Vorden), Kiefskamp (Vorden)	2
NL/NB	De Elshouters (Waalre), Kampina/Smalbroeken (Boxtel), Beersbroek/Grijze Steen (Netersel)	2
NL/LM	Weerterbos (Maarheeze), Leudal (Haalen)	2

5.4 Dekzandbossen

Categorie 1: Relatief oude bossen, strubben e.d. met oudbossoorten (zoals Adelaarsvaren, Dalkruid) in landschappelijke gradiënten (bovenlopen van beekdalen met gagelstruweel, randen van veencomplexen e.d.).

Categorie 2: Ontginningsbossen bestaande uit inheemse loofboomsoorten, met een deels spontane ontwikkeling.

Land/ Provincie	Bosgebied	Cat
NL/DR	Lieverder Noordbos (Roden)	1
NL/OV	Springendal (Denekamp)	1
NL/GD	Staverdense beek (Staverden), 't Rot, Aamink, Meerdink (Woold, Winterswijk), Wooldse Veen (Winterswijk)	1
NL/NB	Het Goor en Goorse Putten (Maarheeze), Grootvenbos (Deumese Peel)	1
NL/DR	Kremboong (Beilen), Tonckensbos (Norg), Geeslo (Hoogeveen)	2
NL/OV	Boerskotten (Oldenzaal), Molenvan (Weerselo), Reutumer Weust (Reutum), bossen Twickel o.a. Ruwe Braak en Bokdammerveld (Delden), Wegereef (Hengevelde)	2
NL/GD	Het Entel (Barchem-Borculo)	2
NL/NB	Veldersbos (Liempde)	2

6. Ecosysteemdiensten vochtige bossen

6.1 Inleiding

In dit preadvies ligt de nadruk op de ecologische waarden van vochtige bossen. Bos- en natuurterreinen vervullen ook andere diensten/functionies aan de samenleving. Deze worden ecosysteemdiensten genoemd. Ecosysteemdiensten maken de andere belangen die de samenleving heeft bij natuur en natuurterreinen inzichtelijk te maken (o.a. PBL, 2010).

Er worden verschillende soorten diensten onderscheiden:

- Productiediensten: Hout- en voedselproductie, drinkwater
- Regulerende diensten: Waterhuishouding en koolstofvastlegging, fijnstoffilter
- Ondersteunende diensten: Bodemontwikkeling, habitat functie
- Culturele diensten: Recreatie, historisch erfgoed

Hieronder worden een aantal ecosysteemdiensten uitgelicht waarin vochtige bossen een belangrijk rol kunnen vervullen. Hoewel ook recreatie een belangrijke functie is van vochtige bossen wordt hier niet nader op ingegaan. Voor recreanten is het over het algemeen niet het type bos van belang maar meer het voorzieningenniveau en de bereikbaarheid.

6.2 Houtproductie

Houtproductie is een van de bekendste en meest tastbare ecosysteemdiensten van bossen. Hout is een hernieuwbare en milieuvriendelijk grondstof die veel toepassingen kent zoals papier, vezelplaat en zaaghout. Sterk in de belangstelling staat momenteel het gebruik van hout als CO₂ neutrale hulpbron in energiecentrales. Houtoogst draagt bij aan de economische ontwikkeling en leefbaarheid van het landelijke gebied. De houtproductiefunctie van bossen is daarom een van de belangrijkste ecosysteemdiensten van bossen. Het vermarkten van hout uit multifunctionele bossen of als bijproduct van omvormingsbeheer in natuurbossen, kan daarnaast een belangrijke bijdrage leveren in de kosten van het natuurbeheer. Voor een duurzaam gebruik van bossen voor houtproductie moet als uitgangspunt gelden dat dit niet ten koste mag gaan van andere ecosysteemdiensten

Over het algemeen behoren de van oorsprong vochtige standplaatsen tot de meest productieve standplaatsen; op de dekzanden geschikt voor meereisend naaldhout (Fijnspar, Douglasspar en Japanse lariks) en op de voedselrijkere bodems (stagnatiebossen en beekdalbossen) kan populier, wilg en het zogenaamde edelloofhout (Inlandse eik, Gewone es, Zoete kers en Gewone esdoon) geteeld worden. De houtteeltmogelijkheden worden echter beperkt door de hoge grondwaterstanden. Hierdoor is de draagkracht van de bodem gering en dit beperkt een kostenefficiënte (machinale) bosexploitatie. In een aantal vochtige bossen wordt machinale houtoogst eveneens belemmerd door aanwezige rabattenstructuren. Behoud of ontwikkeling van soortenrijke vochtige bossen kan op een aantal manieren gecombineerd worden met houtproductie. Door bijvoorbeeld delen van het bos te bestemmen als "bosrefugia" (D: waldrefugien). Bosrefugia zijn delen binnen multifunctionele bossen waar geen hout geoogst wordt en die gereserveerd zijn voor oude bomen en dood hout (o.a. ForstBW, 2010). In vochtige bossen kunnen deze bosrefugia in de laagste delen van een bosgebied gerealiseerd en vervolgens vernat worden. Met een op ecologische waarden en natuurlijke processen gericht bosbeheer (zoals bijvoorbeeld Pro silva of Geïntegreerd Bosbeheer) kan een structuurvariatie, boomsoortensamenstelling en leeftijdenverdeling ontstaan die meer overeenkomt met natuurlijke bossen. Daarnaast kan de overstap gemaakt worden van een intensieve teelt van hout voor laagwaardige toepassingen (papier, vezelhout, industrieel

zaaghout en biomassa) naar extensieve teelt van kwaliteitshout. Hierdoor wordt verstoring bij ingrepen en schade aan bosbodem en boom- en struiklaag veel minder groot.

6.3 Waterregulerende functie van vochtige bossen

De waterhuishouding in Nederland is afgestemd op het snel afvoeren van (neerslag)water. Hierdoor zijn de pieken en dalen in de waterafvoer van stroomgebieden groter geworden. Het Nederlandse watersysteem is onvoldoende op orde om problemen met wateroverlast tegen te gaan, en zeker niet voor de verwachte toename hiervan door klimaatverandering. Tegelijkertijd treden in droge perioden verdrogingsproblemen op in agrarische - en natuurgebieden en vallen bovenlopen van beken droog door verlies aan basisdebiet.

In vochtige bossen liggen mogelijkheden om water vast te houden (conserveren). Voor waterretentie zijn ze vanwege de landschappelijke positie (hoog in het landschap of op beekdalflanken) over het algemeen niet geschikt. Waterconserveringsmaatregelen in vochtige bossen kunnen zowel ecologische doelen als waterbeheer doelen dienen. Neerslagwater wordt langer vastgehouden en vertraagd via de bodem of over het maaiveld afgevoerd. Hierdoor worden de piekafvoeren gedempt en in het winterseizoen een grotere grondwatervoorraad opgebouwd. Met deze grondwatervoorraad kan in de zomermaanden de verdroging van lager gelegen natuurgebieden tegengegaan worden doordat de kwelstromen toenemen. Ook kan de grondwatervoorraad gebruikt worden om droogteschade in agrarisch gebied te voorkomen (van Loon et al., 2013) Waterconservering is een zeer effectieve manier om hoge piekafvoeren tegen te gaan (Acker, 2000), maar wordt slechts beperkt ingezet omdat verspreid over een groot gebied maatregelen genomen moeten worden.

6.4 CO₂ vastlegging in bossen

Het doel van vastleggen van CO₂ is de stijging van de CO₂ concentratie in de atmosfeer te verlagen, een van de belangrijkste veroorzakers van de klimaatopwarming van de aarde. Vastlegging van CO₂ gebeurt vooral in relatief jonge bossen. In oude bossen komt evenveel CO₂ vrij als er vastgelegd wordt. CO₂ wordt (als koolstof) op drie manieren vastgelegd i) in biomassa, ii) in de bodem en iii) in bosproducten. In de bodem van bossen wordt meer koolstof vastgelegd dan in de levende biomassa (ongeveer één à twee keer zoveel) (Schelhaas et al., 2002). Op rijkere en/of nattere bodems is zowel de totale voorraad als de toename van de voorraad aan koolstof hoger is dan op droge, arme bodems. Ook in duurzame bosproducten (constructiehout, meubelhout) wordt een significante hoeveelheid koolstof vastgelegd. In productie bossen wordt echter minder koolstof vastgelegd dan in onbeheerde bossen waardoor het voordeel van vastlegging in houtproducten teniet gedaan wordt. Dit wordt echter anders wanneer rekening gehouden wordt met de emissiereductie door gebruik van biomassa uit bossen ter vervanging van fossiele brandstoffen. Gebruik van biomassa uit bossen kan op termijn een aanzienlijke verlaging van de toename van CO₂ in de atmosfeer opleveren. Winning van biomassa uit veelal sterk bedreigde vochtige bossen is echter geen duurzame oplossing. Samenvattend kan gesteld worden dat de koolstofvoorraad die opslagen ligt in de bodem en de biomassa in Nederlandse bossen nog steeds (langzaam) toeneemt. Door vernatting kan de koolstofvoorraad verder toenemen zij het in geringe mate. Door landbouwgronden om te vormen naar bos kan relatief veel CO₂ vastgelegd worden.

7. Knelpunten voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen

7.1 Inleiding

Oorspronkelijk bos is in Nederland niet meer aanwezig, wat resteert is secundair bos met een wisselende ouderdom en mate van menselijke beïnvloeding. Vochtige dekzandbossen bestaan vrijwel overal uit jong secundair bos dat gevormd is na het instorten van het heidelandschap. Stagnatiebossen bestaan doorgaans uit kleinere oppervlakten bos die in gebruik zijn geweest als hakhoutbos of middenbos, in mozaïek met landbouwpercelen en bebouwing. Hier en daar, met name op landgoederen in Oost-Gelderland en Overijssel, zijn nog enkele grotere stagnatiebossen in goed ontwikkelde vorm aanwezig. Vochtig beekdalbos bestond van oorsprong vaak al uit smalle stroken op de overgang van nat naar droog. Voor zover er nog restanten van over zijn, bestaan deze meestal uit kleine, sterk geïsoleerde snippers. De mogelijke aantastingen zijn talrijk en zeer verscheiden van aard (Tabel 7.1).

Menselijk ingrijpen heeft niet alleen maar negatieve gevolgen. Veel vochtige bossen zijn in beheer geweest als hakhout of middenbos, waardoor lichtere en donkerder fasen elkaar afwisselden. Dergelijke bossen bezaten vaak een kruidenrijke ondergroei. In andere bossen is door allerlei graafwerk (greppels, boswallen, groeven e.d.) reliëf ontstaan, waarvan zowel hogere planten als mossen en paddenstoelen konden profiteren.

Met dit in het achterhoofd moet er gekeken worden naar een aantal bedreigingen die de natuurwaarden in deze zich ontwikkelende, vochtige bossen hebben aangetast. Een groot deel van deze bedreigingen is onderling sterk verbonden: verdroging leidt vaak tot verzuring en vermesting, stikstofdepositie werkt zowel verzurend als vermestend. De gevolgen van deze bedreigingen worden in paragraaf 7.2 behandeld.

Bosgebieden zijn daarnaast sterk versnipperd, waardoor bossoorten zich moeilijk kunnen verspreiden naar andere standplaatsen. Het is niet geheel duidelijk of veel soorten specifiek aan oude bossen gebonden zijn, of dat ze zich moeilijk in jongere bossen kunnen vestigen, omdat de verspreiding traag verloopt vanwege de versnippering (Weeda, Schaminée & Van Duuren, 2005). In paragraaf 7.3 wordt ingegaan op de vraag hoe soorten een zich ontwikkelend vochtig bos kunnen koloniseren in het sterk versnipperde, Nederlandse landschap.

In paragraaf 7.4 zal worden ingegaan op de invloed van het beheer op vochtige bossen en in paragraaf 7.5 zal de huidige toestand van de vochtige bossen in het natte zandlandschap worden beschreven en zal worden ingegaan op mogelijke wijzen van herstel.

Tabel 7.1: Overzicht van de belangrijkste aantastingen van vochtige bossen.

Table 7.1: Overview of the most important forms of degradation in moist forests.

Bosstructuur	
	Weinig dik dood hout en dik levend hout (holtebomen)
	Eenzijdige leeftijdsopbouw in heidebebossingen en voormalige hakhoutbossen
	Structuur te eenzijdig; weinig open plekken, struwelen, zomen
	Eenzijdige samenstelling boomlaag, door grootschalige aanplant in verleden
Hydrologie	
	Grondwaterstanden gedaald
	Waterkerende lagen doorsneden
	Grondwateraanvoer verminderd
	Grondwaterkwaliteit verslechterd
	Afname duur en oppervlak overstromingen door drainage
Versnippering/isolatie	
	Kleine snippers: ongunstig microklimaat
	Oud bos soorten ontbreken vaak
Standplaatscondities	
	Bodemroering en rabattering
	Verstoring bovenste bodemlaag
	Egalisatie (voor bosontwikkeling)
	Verzuring
	Door afname grondwaterinvloed
	Door zuurdepositie
	Vermesting
	Meer mineralisatie door verdroging
	Stikstofdepositie
	Bosbemesting
Overig	
	Exoten
	Aanplant bomen met niet inheems materiaal
	Aanplant exoten: Rhododendron, naaldbomen
	Vestiging exoten: Japanse duizendknoop, Bonte dovenetel
	Onvoldoende rust door hoge recreatiedruk
	Grote grazers & predatoren afwezig

7.2 Verdroging

7.2.1 Oorzaken en effecten van verdroging

Op de zandgronden zijn vrijwel geen vochtige bossen meer te vinden die niet op één of andere manier te lijden hebben van verdroging. In veel vochtige bossen zijn greppels gegraven, waardoor neerslagoverschotten snel worden afgevoerd en het grondwater dus niet meer de kans krijgt om tot in de wortelzone te stijgen. Ook zijn in veel vochtige bossen rabatten gegraven, waarbij de uit de greppels vrijkomende grond gebruikt is om de delen tussen de greppels (panden) op te hogen. Hier heeft dus niet alleen daling van de GHG plaatsgevonden, maar ook een stijging van het maaiveld en een sterke bodemverstoring.

De belangrijkste effecten van verdroging zijn het verlies aan vochtminnende planten en verzuring van de bodem plus de hiermee gepaard gaande vermindering van strooiselafbraak. Het is moeilijk te bepalen wat puur de effecten van verdroging zijn. In vochtige bossen kan de grondwaterstand in de zomer flink wegzakken, waardoor nauwelijks grondwaterafhankelijke vegetatie voorkomt in deze bossen. Ook de mosflora en de mycoflora zijn aangepast aan uitdroging in de zomer. Waarschijnlijk is het effect op de boomlaag groter. Bomen wortelen een stuk dieper en een deel van de wortels bevinden zich in vochtige bossen dus een groot deel van de tijd in natte, zuurstofloze bodem. Het is waarschijnlijk dat het aandeel bomen van nattere bodems zal afnemen als gevolg van verdroging. Denk hierbij aan soorten als Haagbeuk, Zachte berk (*Betula pubescens*), Zwarte els, Boswilg (*Salix caprea*) en Ratelpopulier *Populus tremula*). Dit zijn ook overwegend boomsoorten met goed afbreekbaar strooisel, wat dus ook gevolgen kan hebben voor de strooiselkwaliteit (paragraaf. 4.3.4).

Vochtige dekzandbossen

In het voormalige heidelandschap is op grote schaal bos aangeplant en op vochtige plekken is dit gepaard gegaan met ontwatering. Laagten werden ontwaterd door greppels die vaak door de aangrenzende dekzandruggen heen werden gegraven. Oppervlaktewater werd zo snel afgevoerd uit de laagten die het hoogst in het landschap lagen, waardoor lokale grondwaterstromen sterk verminderden. Ook benedenstreams daalde de grondwaterstanden doordrainage van landbouwgebieden. Bebossing van de omgeving draagt bij aan een verdere verlaging van de grondwaterstanden. De sterke opname van water door de bomen en een relatief hoge capaciteit van organische strooisellagen om vocht vast te houden leiden tot een sterk verminderde aanvulling van het grondwater en daarmee tot een lagere grondwaterstand in bossen. Het is bekend dat de hoeveelheid regenwater in de bodem van beboste heideterreinen met 90% kan afnemen (Allen & Chapman, 2001). Hierdoor kan er ook in toenemende mate verdroging optreden in lager gelegen terreindelen. Een groot deel van de potentieel vochtige dekzandbossen heeft hierdoor het karakter van een droog bos gekregen.

Stagnatiebossen

In stagnatiebossen is een lokaal hydrologisch systeem aanwezig op de min of meer waterkerende leemlaag. Dit systeem is op verschillende manieren aangetast. Allereerst is de zijdelingse lek uit deze schijngrondwatersystemen sterk vergroot door de sterke versnippering van stagnatiebossen en door verlaging van de grondwaterstanden in de aangrenzende, ontgonnen gebieden. Deze zijdelingse waterafvoer is vaak versterkt door de aanleg van greppels. Daar waar zulke greppels door de leemlaag heen gegraven zijn, zijn nieuwe lekken ontstaan in het resterende grondwatersysteem.

In de oorspronkelijke situatie waren stagnatiebossen tot ver in het voorjaar erg nat; pas met het uitlopen van de bladeren werd de verdamping duidelijk hoger dan de hoeveelheid neerslag en kon het bos opdrogen. Nu worden alleen centrale, laagliggende delen nog voldoende nat gedurende korte tijd in natte winterperioden.

Vochtige beekdalbossen

In vochtige beekdalbossen komt de verdroging van twee kanten. In de aangrenzende beekdalen is de grondwaterstand door drainage en beeknormalisatie vaak sterk gedaald. Daar waar de grondwateraanvoer nog intact is, bereikt deze dus in veel mindere mate de wortelzone. Echter, meestal is ook de grondwateraanvoer vanuit de hogere gronden sterk afgenomen. Daar waar oorspronkelijk een broekbos aanwezig was aan de lage kant, heeft dit door verdroging de hydrologie van een vochtig bos gekregen. Echter, door de verdroging is het daarin opgehoopte organisch materiaal versneld gaan afbreken waardoor vooral verruigde varianten van vochtig bos zijn ontstaan, met uitzondering van die delen die nog voldoende kwelwater ontvangen in de winter. Het oorspronkelijke vochtig bos heeft meer het karakter van een droog bos gekregen.

7.2.2 Verdroging leidt tot verzuring

Het grootste verlies aan biodiversiteit als gevolg van verdroging ontstaat via verzuring van de bodem. Verdroging leidt via twee wegen tot verzuring. Bij lagere GLG-standen komen bodemlagen voor het eerst in contact met zuurstof, waardoor verzurende oxidatieprocessen gaan optreden. In de top van het profiel komt geen grondwater meer in het maaiveld, waardoor dit grondwater hier ook niet meer bufferend kan werken tegen verzuring.

In niet verdroogde, vochtige bossen zijn alleen de bovenste decimeters van de bosbodem geoxideerd. Bij dalende grondwaterstanden kan zuurstof dieper in de bodem doordringen, waardoor er tot op grotere diepte oxidatieprocessen onder invloed van zuurstof plaats kunnen vinden. De meest voorkomende verbindingen die geoxideerd worden zijn ammonium, zwavel en ijzer. Bij oxidatie ontstaan respectievelijk nitraat, sulfaat en ijzerhydroxiden. Per stikstof-, ijzer- en zwavelatoom ontstaan twee protonen bij oxidatie. Het ammonium dat in de diepere lagen uit organisch stof vrijkomt, kan bij een hoge waterstand niet worden omgezet tot nitraat (o.a. Brunet et al., 2008). Bij een lagere grondwaterstand vindt deze nitrificatie wel plaats, wat potentieel voor veel verzuring zorgt ongeacht de aanwezigheid van gereduceerde verbindingen in de bodem. Uit een vergelijking tussen vochtige bossen en graslanden in het Natura2000-gebied Achter de Voort, Agelerbroek en Voltherbroek (Loeb & Smolders, 2011) blijkt dat verdroogde elzenbroekbossen een veel lagere basenverzadiging (basenverzadiging 6-17%) hebben dan verdroogde graslanden op vergelijkbare bodem. De gemaaide graslanden en bossen verschillen vooral sterk in input van stikstof met strooisel, waardoor het aannemelijk is dat de oxidatie van ammonium uit strooisel naar nitraat een rol speelt bij de verzuring.

Kader 7.1 Verzuring en buffering in bosbodems

Box 7.1 Acidification and buffering in forest soils

De hogere zandgronden hebben slechts een geringe capaciteit om verzuring door natuurlijke of antropogene oorzaken tegen te gaan; het zuurbufferend vermogen is gering. Op nog niet verzuurde, kalkhoudende afzettingen zullen bij verzuring eerst calcium- en magnesiumcarbonaten (kalk) in oplossing gaan. Hierbij wordt bicarbonaat gevormd en bij verdergaande verzuring kooldioxide. Als alle kalk opgelost is of als de bodem van nature kalkloos is, gaat het kationadsorptiecomplex een rol spelen, dit treedt vooral op wanneer de zuurgraad beneden pH 6,5 daalt. Dit kationadsorptiecomplex wordt gevormd door negatief geladen bodemdeeltjes, zoals lutumdeeltjes, waaraan kationen adsorberen. Hoe groter de lading van het kation en hoe kleiner het ion, hoe sterker deze binding. Protonen (zuur) uit het grondwater of bodemvocht wisselen uit tegen de kationen aan het adsorptiecomplex. Hierbij wisselt één proton uit tegen een eenwaardig kation, twee protonen tegen een tweewaardig kation of drie protonen tegen een driewaardig kation. Behalve tegen protonen, kunnen de basische kationen ook worden uitgewisseld tegen ammonium of opgelost aluminium. De basenverzadiging geeft aan in welke mate de bindingsplekken voor kationen in de bodem (kationadsorptiecapaciteit, CEC) bezet zijn door die basische kationen: Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+ . De kationadsorptiecapaciteit hangt sterk samen met het bodemtype, vooral fijne minerale en organische deeltjes kunnen veel kationen binden. In bossen op (pot)klei- of leem is de adsorptiecapaciteit dus groter dan bij bossen op zand. Bij gelijke basenverzadiging en zuurdepositie zullen de bossen op zand dus sneller verzuren dan bossen op leem. Als het adsorptiecomplex geen basische kationen meer levert, kan de pH bij verzuring zo ver dalen dat aluminium en silicaten in oplossing gaan. Hierdoor kan er aluminiumtoxiciteit ontstaan. Dit gebeurt bij een pH_{water} van 4,2 of lager. De basenverzadiging daalt dan vaak tot beneden 20%.

De tweede oorzaak van de verzuring door verdroging is dat de buffercapaciteit van de bodem niet meer voldoende wordt opgeladen. Met grondwater worden bufferende stoffen als bicarbonaat, calcium en magnesium aangevoerd. Een verhoogde infiltratie zorgt ervoor dat bufferende kationen sneller uitspoelen met het regenwater. In gebieden met een kalkhoudende ondergrond, bijvoorbeeld de Willinks Weust in de Achterhoek, is een haarscherpe grens zichtbaar tussen de bodems die nog tot in de toplaag door kalkhoudend grondwater worden beïnvloed en delen waar het grondwater niet meer tot in de top van het profiel reikt. Rijke groeiplaatsen met Slanke sleutelbloem, Bosanemoon e.d. en een goede strooiselafbraak grenzen hier aan enkele centimeters of decimeters hoger gelegen gronden met een sterk verzuurde toplaag met een sterke accumulatie van strooisel en bijvoorbeeld dominantie van Adelaarsvaren.

Tijdens verzuring kunnen verschillende buffermechanismen optreden in de bodem. Boven pH 6,5 wordt geproduceerd zuur voornamelijk gebufferd door het oplossen van calciumcarbonaat waarbij calciumionen in oplossing gaan. Als de pH daalt beneden 6,5 treedt verwerking van silicaten op en vindt uitwisseling van kationen met het bodem-adsorptiecomplex plaats. Met name calcium, magnesium en kalium lossen hierbij op in het bodemvocht. Als de pH daalt tot 4,2 lossen achtereenvolgens aluminium- en ijzer(hydr)oxiden op waardoor de aluminium en ijzerconcentratie in het bodemvocht toeneemt. Het daadwerkelijk verzuren van bosbodems kan via verschillende mechanismen ingrijpen op de vegetatie. In een zure bodem wordt de microbiële nitrificatie vaak geremd waardoor ammonium gaat ophopen. Voor de meeste zure bosbodems geldt echter dat zuurresistente micro-organismen (o.a. schimmels) toch voor aanzienlijke nitrificatie zorgen en er ondanks de zure condities toch veel nitraat blijft uitspoelen.

7.2.3 Atmosferische depositie versterkt verzuring

Sinds de jaren '60 van de vorige eeuw is er sprake van een sterk verhoogde depositie van verzurende atmosferisch stikstof en zwavel in Nederland. Met name de hoeveelheid droge depositie (niet opgelost in neerslag) wordt sterk beïnvloed door de ruwheid van het depositieoppervlak. Bebossing leidt daarom altijd tot een sterke toename van de invang van droge depositie (Houdijk & Roelofs, 1991; Fangmeier et al., 1994). De hoge boomedichtheid in een productiebos kan nog eens extra bijdragen aan verhoogde stikstofdepositie (Draaijers, 1993). Algemeen wordt verondersteld dat loofbomen minder bijdragen aan dit proces dan naaldbomen. Loofbomen vangen namelijk minder efficiënt stikstof in omdat ze niet wintergroen zijn en een kleiner bladoppervlak hebben en daarmee een kleinere Leaf Area Index (de helft van het totaal aantal vierkante meters bladoppervlakte per vierkante meter

bodemoppervlakte). Daarbij is de maximale boomhoogte van loofhout gemiddeld lager dan bij naaldhout. Behalve dat loofbomen minder stikstof invangen slaan ze ook meer stikstof op in de biomassa en kunnen ze nutriënten efficiënter recyclen. Vergelijkende studies tussen naald- en loofbossen op gelijkwaardige standplaatsen laten zien dat de jaarlijkse depositie van ammonium, nitraat en sulfaat gemiddeld 1.7 maal hoger is in naaldbossen dan in loofbossen (De Schrijver et al., 2007). Een overzicht van de stikstofdepositie in het open veld en onder verschillende kroondekken wordt gegeven in Tabel 7.2. Bosranden hebben een verhoogde weerstand en vangen daardoor meer stikstof in. Kleine versnipperde productiebossen vangen daarom de meeste stikstof in (Grennfelt & Hasselrot, 1987).

Tabel 7.2: Stikstofdepositie (kg N ha⁻¹ jaar⁻¹) in open veld en onder verschillende boomsoorten in het kronendak (Uit: Krupa, 2003).

Table 7.2: Nitrogen deposition (kg N ha⁻¹ yr⁻¹) in open field and under different tree species in the forest canopy (From: Krupa, 2003).

Type	Kroon depositie	Bulk depositie	Referentie
Eik/Berk	42	16,8	Van Breemen & Van Dijk, (1988)
Den	60,2	11,2	Van Breemen & Van Dijk, (1988)
Douglasspar	49	11,2	Konsten et al. (1988)
Douglasspar	95,6	14,1	Ivens et al., (1989)
Den	30,1	11,1	Simon & Westendorff (1991)
Den	35,3	9,2	Schwedt (1985)
Heide	19,6	11,2	Van Dobben & Mulder (1988)
Grasland	28	14	Van Dam et al., (1991)

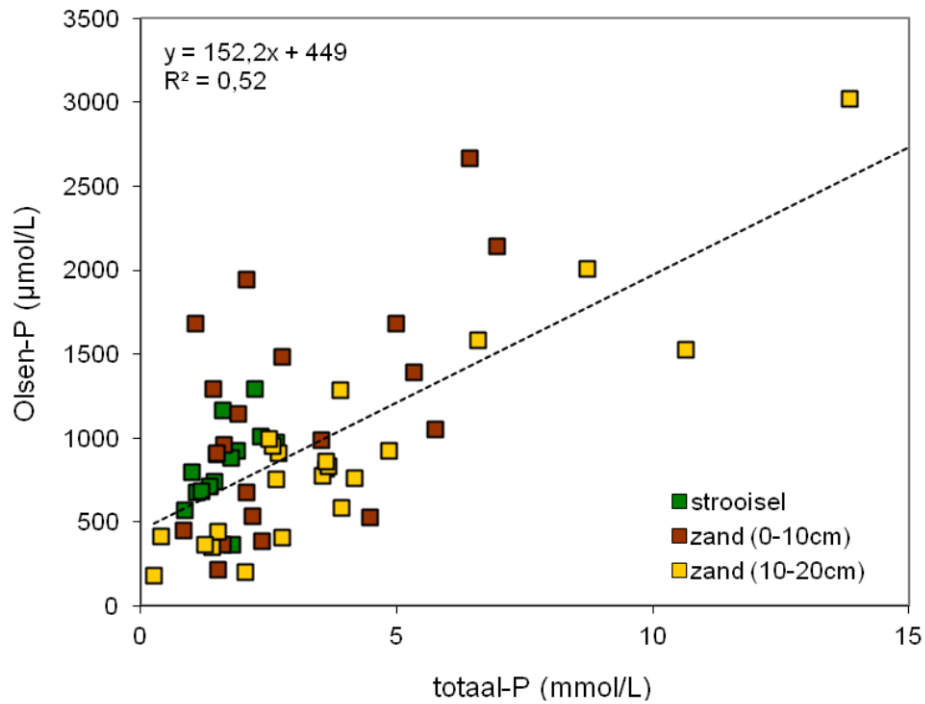
Een deel van de stikstof die in de boomkroon wordt ingevangen wordt direct opgenomen door de bladeren. Adriaenssens et al. (2012) toonden aan dat de mate van stikstofopname door het kroondek afhankelijk is van de positie in het kroondek en van het seizoen. Gedurende het groeiseizoen wordt 69% en 68% van het ammonium en 100% en 87% van het nitraat opgenomen in het bovenste kroondek door respectievelijk Berk en Fijnspar (*Picea abies*). Houdijk & Roelofs, (1993) toonden aan dat in Nederlandse bossen de ammoniumaanvoer via atmosferische depositie de nitrificatie overtreft, waardoor de concentraties ammonium in bosbodems in ieder geval tijdens het hoogtepunt van de zuurdepositie toch hoger waren dan de concentratie nitraat. In tegenstelling tot in een gebufferde bodem zijn hoge ammoniumgehalten in een zure bodem direct toxisch voor verzuringgevoelige soorten uit zwak-gebufferde milieus. Het uitscheiden van protonen via de wortels wordt bemoeilijkt in een zuur milieu waardoor ammonium ophoopt en de plant intern verzuurt. In een zuur milieu is het moeilijk om protonen af te staan. Gereduceerd ammonium kan in combinatie met een lage pH toxisch werken op de vegetatie omdat het leidt tot ammoniumophoping en interne verzuring (Lucassen et al., 2003; Van den Berg et al., 2005). Hiernaast kan de uitwisseling van kationen aan het bodemcomplex, en het achtereenvolgens uitspoelen van deze ionen naar het grondwater, leiden tot een gebrek aan de elementen Ca, Mg en K. In verzuurde Zweedse en Nederlandse bossen vertoonden de naalden van Fijnspar en Grove den (*Pinus sylvestris*) verlaagde kaliumgehalten en verhoogde N:K ratio's (Houdijk, 1993; Van Dijk, 1993; Boxman et al., 1994; Thelin et al., 1998). Een verlaging van het kaliumgehalte leidt tot een relatief hoge stikstofbeschikbaarheid en maakt bomen weer meer gevoelig voor stress door vraat en pathogenen. Zo is er bijvoorbeeld een verband gelegd tussen de hogere N:K ratio en de mate van schildluisbezetting bij Jeneverbes (*Juniperus communis*) (Lucassen et al., 2011). Bij een verdere daling van de pH gaan aluminium(hydr)oxiden in oplossing waarbij toxisch labiel monomere Al³⁺ gevormd wordt dat bij een relatief laag gehalte aan opgelost calcium een toxische werking kan hebben op de wortels en mycorrhiza's (Van Breemen et al., 1982; Van Breemen & Van Dijk, 1988). Dit kan weer gevolgen hebben voor de P opname van planten en bomen. Zo is het bekend dat de naalden van Douglasspar (*Pseudotsuga menziesii*) en Jeneverbes verlaagde P-gehalten kunnen hebben indien ze groeien op bodems met een relatief lage basenverzadiging (Houdijk & Roelofs, 1993; Lucassen et al., 2011). Al deze processen hebben geleid tot een sterke afname van de vitaliteit van bossen (Becquer et al., 1992; Houdijk, 1993; Houdijk et al., 1993; Van Dijk, 1993; Boxman & Roelofs, 2006; Boxman et al., 2008; Thelin et al., 1998; Krupa, 2003; Lombosky et al, 2012).

Door de sterke verzuring van de bodem in bosaanplanten in het heidegebied is naast Ca^{2+} en Mg^{2+} vaak ook K^+ uitgespoeld naar de diepere bodemlagen. Bomen zijn vaak kalium gelimiteerd. Het is bekend dat een hoge N:K ratio invloed heeft op de gevoeligheid van planten voor stress tegen vraat en pathogenen (Krupa, 2003). Tenslotte tast verzuring de mycorrhizaschimmels aan die belangrijk zijn voor de vochtopname (Boxman et al, 1991; Van der Eerden et al, 1991; Fangmeier et al., 1994).

SanClements et al. (2010). toonden dat fosfaat in sterk verzuurde bosbodems met name aanwezig is in de vorm van aluminium-gebonden P en dat dit onder invloed van de lage pH mobiel en beschikbaar is voor de plant. Onderzoek in het gebied van de Hatertse vennen nabij Nijmegen heeft aangetoond dat de bovenste 20 cm van de kalkarme zandbodem onder de strooisellaag (totaal-Ca < 8 mmol/L en basenverzadiging < 60%) van Grove den aanplanten sterk verrijkt is met fosfaat (figuur 7.1). Sterke bodemverzuring kan dus bijdragen aan de mobilisatie van fosfaat.

Daar waar de buffering van de bosbodem minder goed is, zorgen de zuren die vrijkomen bij de nitrificatie van ammonium ook voor verzuring van de toplaag. De effecten van de verhoogde stikstofdepositie op de afbraaksnelheid van strooisel is tweeledig. Enerzijds remt de depositie de afbraak van lignine, doordat er minder fenoloxidase wordt geproduceerd. Anderzijds worden eenvoudig afbreekbare organische stoffen, zoals cellulose, juist sneller afgebroken.

In productiebossen die verzuurd zijn, is vaak een dik pakket strooisel geaccumuleerd. Het zure strooisel is rijk aan fosfaat en ammonium en arm aan nitraat. Er zijn studies die laten zien dat de beoogde loofbomen, in tegenstelling tot naaldbomen, een voorkeur voor nitraat- boven ammoniumopname hebben. Er zijn echter ook studies die dit weer tegenspreken (Gielis et al., 2002). Het is de verwachting dat de chemische samenstelling van het strooisel de ontwikkeling van beoogde verzuringgevoelige ondergroei in de weg staat (Wittig, 2008). Juist deze combinatie van veel ammonium en zure omstandigheden is zeer ongunstig voor de overleving planten uit zwak gebufferde milieus (Lucassen et al., 2003 Van den Berg et al., 2005).



Figuur 7.2: Totaal fosfor gehalte en concentratie plantenbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in en onder de strooisellaag van grove den (Pinus sylvestris) aanplantingen in het gebied van de Hatertse vennen (data: onderzoekcentrum B-ware).

Figure 7.2: Total phosphorus concentration and plant available phosphorus (Olsen-P), in and below the litter layer of Scots pine (Pinus sylvestris) plantations in the area of The Hatertse vennen (data: Research center B-ware).

7.2.4 Stikstofdepositie werkt vermestend

Stikstofbeschikbaarheid

Waarschijnlijk waren de meeste Europese bossen vroeger door stikstof gelimiteerd. De verhoogde stikstofdepositie heeft er daardoor op veel plaatsen in eerste instantie voor gezorgd dat bomen sneller gaan groeien. De beschikbaarheid van stikstof in bossen is nu echter zo hoog dat bomen door andere elementen, zoals fosfor, magnesium of kalium gelimiteerd worden. De verhoogde stikstofbeschikbaarheid heeft er voor gezorgd dat in de vegetatie de verhouding tussen stikstof en deze andere elementen is toegenomen. Dit komt niet alleen door de verhoogde opname van N. De opname van ammonium en andere kationen, met name kalium en magnesium, gebeurt niet selectief waardoor bij hoge N concentraties ook in absolute hoeveelheden minder kalium en magnesium wordt opgenomen. Verder heeft een hoge stikstofbeschikbaarheid negatieve effecten op mycorrhiza's, waardoor de opname van P bemoeilijkt wordt. Bijkomende effecten zijn uitspoeling van basen door verzuring, een slechtere opname door aantasting van de wortels door aluminiumtoxiciteit, en uitputting van de bosbodem door de versterkte groei (Bobbink & Hettelingh, 2011). Met name bij naaldbomen is vastgesteld dat zij door bemesting met N minder fijne wortels produceren en daardoor vatbaarder zijn voor windworp.

Verder is het bekend dat een hogere stikstofbeschikbaarheid ook effect kan hebben op de weerstand tegen een aantal stressfactoren. Een verhoogde stikstofbeschikbaarheid kan leiden tot een verhoogde vorstgevoeligheid. Verhoogde sterfte van Grove den blijkt op te treden in de winter in gebieden met intensieve veeteelt (Pietilä et al., 1991; De Temmerman et al., 1987). Deze relatie is ook door experimenten bevestigd voor Grove den en Rode spar (*Picea rubens*) (Cape et al., 1991; Van der Eerden et al., 1990). Uit Nederland zijn observaties bekend van een verminderde vitaliteit van Jeneverbes in het vroege voorjaar wanneer in gebieden met intensieve veeteelt mest wordt uitgereden. Lagere C:N ratio's in het plantmateriaal, ten gevolge van een verhoogde stikstofbeschikbaarheid, kunnen verder leiden tot een toenemende gevoeligheid voor vraat (Krupa et al., 1998). Dit is onder andere (mede experimenteel) aangetoond voor Struikhei (*Calluna vulgaris*) en het Heidehaantje (*Lochmaea suturalis*) (Van der Eerden et al., 1990; 1991). Tenslotte kan een relatief hoge stikstofbeschikbaarheid van het bladmateriaal (lage C:N en/of hoge N:K ratio) de gevoeligheid van planten voor pathogenen verhogen. In Nederland en België zijn ten gevolge van een hoge stikstofbeschikbaarheid in Grove den in toenemende mate infecties met schimmels (*Sphaeropsis sapinea*) opgetreden (De Temmerman et al., 1987; Van Dijk et al., 1992; Krupa, 2003). Naast een toenemende competitie tussen ruigtekruiden en een verlaagde weerstand tegen stressfactoren kan een verhoogde stikstofbeschikbaarheid (ten gevolge van atmosferische N depositie) de groei van mycorrhiza's remmen (Nihlgård, 1985; Menge & Grand, 1978). Veldobservaties in sparrenbossen hebben aangetoond dat het voorkomen van mycorrhiza schimmels alsmede de vitaliteit van deze schimmels in de bodemtoplaag lager is in gebieden met intensieve veehouderijen (Hofmann & Heinsdorf, 1990). Het verband is ook experimenteel aangetoond voor Douglasspar en Struikhei (Van der Eerden et al., 1992; Mickel et al., 1991). Dit kan leiden tot een verminderde opname van bepaalde nutriënten waardoor nutriëntenonbalans kan ontstaan.

In vochtige bossen met een bodem die tot in de toplaag goed gebufferd is, heeft stikstofdepositie louter een vermestend effect. Stikstof wordt aangevoerd in de vorm van nitraat, of als ammonium dat in de gebufferde bodem snel wordt genitrificeerd tot nitraat omgezet. Een verhoogde stikstofbeschikbaarheid is in combinatie met een hoge pH niet direct toxisch voor de vegetatie (Lucassen et al., 2003; Van den Berg et al., 2005).

Indien de basenverzadiging van een bodem nog aanzienlijk is, zal de verhoogde stikstofbeschikbaarheid in eerste instantie leiden tot een sterkere groei van ruigtekruiden (Bobbink, Hirnung & Roelofs, 1998; Hofmann & Heinsdorf, 1990). Karakteristiek voor bossen op matig voedselrijke grond zijn de voorjaarsbloeiers. Deze bloeien al voordat de boomlaag in blad komt en de bosplanten overschaduwet. Het Verbond van Els en Vogelkers en het Haagbeukenverbond vormen een belangrijk habitat voor voorjaarsbloeiers als Bosanemoon, Bos- en Schedegeelster (*Gagea lutea* en *G. spathacea*), Slanke sleutelbloem, Muskuskruid (*Adoxa moschatellina*), Vingerhelmbloem (*Corydalis solida*) en Eenbes (*Paris quadrifolia*). De verhoogde nitraatbeschikbaarheid leidt ertoe dat de rijke floristische ondergroei steeds verder wordt verdrongen door concurrentiekrachtige soorten zoals Bramen, Bochtige smele, Adelaarsvaren en Niervarensoorten (Bobbink & Hettelingh, 2011).

Epifyten

Epifytische korstmossen komen door de stikstofdepositie minder voor. Deze korstmossen bestaan uit een symbiose tussen een schimmel en een blauwalg. Veel blauwalgen zijn in staat om stikstof (N₂) uit de lucht te binden, waardoor zij niet meer in het voordeel zijn bij een hoge stikstofdepositie. Vrijlevende groenalgen zijn op bomen door de stikstofdepositie juist toegenomen (Bobbink & Hettelingh, 2011).

Nitraatuitspoeling

Onbemeste bossen die gelimiteerd zijn door stikstof, werken als een sink voor stikstof: alle stikstof die het systeem binnenkomt, wordt opgenomen en bevindt zich vooral in de levende biomassa en in nog niet afgebroken strooisel. Bij een langdurige hoge bemesting met stikstof raakt het systeem 'verzadigd'. De N-depositie leidt tot een verhoogde stikstofconcentratie in het bladafval, tot versnelde afbraak van dit strooisel en daarna tot mineraal stikstof dat niet geheel wordt opgenomen. Er bevindt zich dan veel ammonium in de bodem, dat als het wordt omgezet in nitraat, uit kan spoelen naar het grondwater.

Stikstof is doorgaans limiterend en een eventueel overschot aan stikstof wordt in eerste instantie gebonden aan het bodemadsorptiecomplex en/of opgenomen door de vegetatie. Pas als er over een aanzienlijke periode sprake is van een stikstofoverschot zal er oververzadiging optreden (Tietema et al., 1995). Dit gaat gepaard met het uitspoelen van stikstof (meestal nitraat) naar het grondwater, omdat niet meer alle stikstof kan worden opgenomen door de planten of kan worden gebonden aan de bodem. De meeste bosbodems waar nu een stikstofdepositie van meer dan 9 kg/ hectare/jaar wordt gemeten blijken stikstofverzadigd te zijn, waarbij significante uitspoeling van nitraat optreedt naar het grondwater (Dise & Wright, 1995; Gundersen et al., 2006).

Door de verhoogde invang van stikstof en sulfaat kan bebossing gepaard gaan met een lagere pH alsmede verhoogde concentraties aan nitraat, sulfaat en metalen van het infiltrerende lokale grondwater (Allen & Chapman, 2001). Dit kan leiden tot verzuring en stikstofverrijking in lager gelegen terreindelen. Daarnaast kan het nitraat in grondwater leiden tot sulfaatmobilisatie in de ondergrond en problemen veroorzaken in grondwater gevoede natuur.

7.2.5 Overige manieren van vermessing

Ook via de waterhuishouding van de omgeving kan vermessing optreden, zelfs na herstel van het grondwaterregime, vanwege een slechte kwaliteit van het regionale en/of lokale grondwater. In bosrijke gebieden en/of gebieden met een landbouwfunctie is het grondwater vaak verontreinigd met nitraat door het efficiënt invangen van atmosferisch stikstof in productiebossen (o.a. naaldbossen) (Gundersen et al., 2006) of door het uitspoelen van nitraat uit bemeste landbouwgronden (Smolders et al., 2008). Dit grondwater kan, na herstel van de hydrologie, in het natte voorjaar tijdelijk uittreden in de lager gelegen terreindelen.

7.3 Versnippering

Grootschalige heidebebossingen die zijn aangelegd tussen 1900 en 1960 (zie § 2.2.2) hebben aaneengesloten oppervlakken nieuw vochtig (dekzand)bos opgeleverd. De keerzijde is dat het areaal vochtige heide sterk is versnipperd en verdroogd en de resterende heide vatbaar is geworden voor verdergaande spontane verbossing met Grove den. Hierdoor zijn tal van karakteristieke soorten van het heidelandschap geïsoleerd geraakt of zelfs verdwenen.

Tegelijkertijd is het landgebruik in het cultuurlandschap sterk geïntensiveerd en is het landschap biologisch verarmd door ruilverkavelingen en intensieve teeltsystemen. Door versnippering zijn populaties van bos-, mantel- en zoomplanten in bermen, heggen, wallen en schrale graslanden veelal verdwenen en zijn oude boskernen geïsoleerd geraakt (Hermy & Bijlsma, 2010). Versnippering, verdroging en vermessing gaan hier hand-in-hand. Dit leidt tot verarming van de ondergroei in bijvoorbeeld de stagnatiebossen op basenrijke leem en oude rivierklei met veel oudbosplanten met een geringe kolonisatiecapaciteit waaronder tal van voorjaarsbloeiërs. Een bijkomend knelpunt is dat deze bossen door rabattering en hakhoutcultuur (zie § 2.2.2) een zeer uniforme structuur kunnen hebben waardoor bijvoorbeeld verbraming als gevolg van verdroging snel en perceelsgewijs kan optreden (Bijlsma 2004). Kwetsbare soorten voor verdroging, verzuring en strooiselaccumulatie zoals de rozetplanten Slanke sleutelbloem en Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*). Deze zijn als eerste

verdwenen of weten zich op zijn best nog te handhaven in een enkele greppel. Ook bospaden kunnen als refugium fungeren, bijv. voor zeggesoorten (Boszegge (*Carex sylvatica*), Bleke zegge (*Carex pallescens*) en bosviooltjes. Mindereisende soorten met oppervlakkige wortelstokken of lange uitlopers en met bladeren (ruim) boven de stroosellaag, zoals Gele dovenetel, Bosanemoon en Witte klaverzuring, kunnen ontsnappen aan lokaal ongunstige condities en kunnen zich in verdrogend bos nog lang handhaven. Hoewel de soortenlijst van dergelijke stagnatiebossen nog diverse zeldzaamheden kan bevatten, is in feite sprake van een aanzienlijke uitsterfschuld (*extinction debt*): nieuwe vestigingen blijven uit en bestaande populaties van oudbossoorten worden alsnog kleiner waardoor de ene na de andere soort wegvalt. Uiteindelijk resteert nog wat Ruwe smele (*Deschampsia cespitosa*), een soort die eerder al door intensivering uit de graslanden is verdwenen. Het perspectief voor stagnatiebossen is slecht omdat de oorzaken van isolatie nauwelijks zijn weg te nemen en ook de waterhuishouding bijzonder lastig is te herstellen.

Voor beekdalbossen geldt net als voor stagnatiebossen dat sprake is van een fysieke versnippering van het areaal. Daarnaast zijn ze verdroogd door 'normalisatie', versnelde waterafvoer en insnijding van beeklopen waardoor grootschalige inundaties in het winterhalfjaar niet meer optreden en de uitwisseling van diasporen (wortelstokfragmenten, bollen, knollen, zaden en vruchten) door verspoeling is gestopt. Daar waar inundaties nog spaarzaam optreden, kan een slechte waterkwaliteit meer kwaad doen dan goed. Ook intensivering van beekdalgraslanden en afwateringen heeft bijgedragen aan isolatie, bijv. voor soorten als Dotterbloem (*Caltha palustris*) en Elzenzegge (*Carex elongata*). Sterker dan voor stagnatiebossen is verdroging en vermesting als een knelpunt voor beekdalbossen. Anderzijds is er een gunstig perspectief voor het herstel van beekdalsystemen als verbetering van de waterkwaliteit wordt gecombineerd met natuurontwikkeling en verondieping van de beekloop in projecten waarin waterschap, provincie en terreinbeheerder samenwerken.

Voor alle hoofdtypen bos geldt in relatie tot versnippering nog het knelpunt van te kleine oppervlakten bos met een natuurlijke bosdynamiek (zie § 4.5). Dik dood hout, wortelkuilen en -kluiten, open en meer gesloten bosfasen dragen alle bij aan kleinschalige abiotische heterogeniteit wat uitwijkmogelijkheden (risicospreiding) en kansen voor nieuwvestiging biedt. Dit type veerkracht draagt juist in nat-drooggradiënten sterk bij aan de duurzaamheid van populaties van karakteristieke soorten (Kramer & Geijzendorffer, 2010).

7.4 Inrichting, herstel en beheer

7.4.1 Bodembewerking, rabattering en egalisatie

Veel natte bossen zijn in het verleden geschikt gemaakt voor houtteelt, met name hakhoutcultuur, door rabattering (zie § 2.2.2). Deze rabattenbossen vormen nu in meerdere opzichten een knelpunt bij het herstel van natte en vochtige bossen en van nat-drooggradiënten. Het oorspronkelijke reliëf van geulen en ruggen met natuurlijke uitwijkmogelijkheden voor soorten van natte, vochtige en droge standplaatsen is door rabattering vervangen door uniform droge (verdroogde) en sterk omgewerkte (gehomogeniseerde) bodems, doorsneden door greppels.

In gerabatteerde stagnatiebossen doen knelpunten voor die hebben geleid tot isolatie en een uitsterfschuld voor oudbossoorten (zie § 6.3). In dit type bossen is het technisch gezien lastig herstelmaatregelen te nemen vanwege het risico dat refugia van karakteristieke soorten verdwijnen. Ook de vele zware, oude bomen (vaak eiken) die een belangrijke rol kunnen gaan spelen in de zo gewenste natuurlijke bosdynamiek, laten grootschalige ingrepen niet toe. Wanneer het kronendak sterk wordt geopend, ligt ook structurele verruiging op de loer.

In beekdalbossen zijn deze risico's kleiner doordat er vaker sprake is van herstel van een nat-drooggradiënt waardoor bij vernatting uitwijkmogelijkheden ontstaan voor soorten van vochtige standplaatsen. Ook is het aandeel oude bomen in beekdalbossen meestal kleiner. In gerabatteerde dekzandbossen is geen sprake van een knelpunt bij herstel en beheer doordat oudbossoorten in heideontginningsbossen ontbreken. Grootschalige ingrepen zoals vernatting leiden tot versnelde sterfte van naaldboomsoorten en daarmee tot dood hout en open ruimtes, beschikbaar voor vestiging van loofhoutsoorten zoals berk.

Naast het technische knelpunt is er voor de Natura 2000-gebieden ook een beleidsmatig knelpunt bij de interpretatie van vegetatiekarteringen ten behoeve van habitatkaarten. Door rabattering zijn de oorspronkelijk vegetaties van natte of (wissel)vochtige standplaatsen vervangen door begroeiingen van drogere groeiplaatsen, zoals Berken-Eikenbos of zelfs Smele-Beukenbos. Deze bostypen van het Eiken-verbond uit De Vegetatie van Nederland hebben geen kensoorten en worden daarom vooral gekarteerd in situaties waarin de kruidlaag niet of nauwelijks ontwikkeld is. Bij een iets rijkere kruidlaag, bijvoorbeeld met bramen, wordt het Beuken-Eikenbos gekarteerd. Als sprake is van een oude bosgroeiplaats (van voor 1850) en voldaan wordt aan bodemkundige criteria, leidt de kartering van al deze *Quercion*-bostypen strikt genomen tot kwalificerend Natura 2000 habitatype Beuken-eikenbossen (H9120) of Oude eikenbossen (H9190). Hierdoor dreigen bostypen die zijn ontstaan als gevolg van cultuurtechnische ingrepen een Natura 2000 behoudsstatus te krijgen wat herstel van de oorspronkelijk natte vegetatietypen in de weg staat. In feite wordt het criterium 'oude bosgroeiplaats' in dit geval niet naar de intentie toegepast: er is geen sprake van historische continuïteit van een groeiplaats, maar juist van extreme discontinuïteit.

7.4.2 Bosstructuur en samenstelling van de boomlaag

De bosstructuur en de samenstelling van het kronendak weerspiegelen voor beekdalbossen en stagnatiebossen het historisch bosgebruik en voor dekzandbossen veelal de wijze van aanleg. In hoeverre dit knelpunt zijn voor herstel of beheer zal afhangen van de visie van de terreinbeheerder en van de landschappelijke context. Eikenspaartelgenbossen met een uniforme bosstructuur kunnen na verloop van tijd ook nieuwe natuurkwaliteiten ontwikkelen. Door omvormingsbeheer zou sneller naar een heterogenere bosstructuur kunnen worden toegewerkt; anderzijds kunnen cultuurhistorische overwegingen juist aanleiding zijn de karakteristiek bosstructuur te behouden.

Veelal wordt Eik beschouwd als soort met matig verteerbaar strooisel (De Schrijver et al., 2010; Tabel 11-3) dat bij verdroging van basenrijke groeiplaatsen aanleiding geeft tot versnelde verzuring en strooiselaccumulatie (zie § 4.6). In hoeverre dit een knelpunt is in het beheer, zal afhangen van de kwetsbaarheid van de kruidlaag en de bosstructuur en leeftijd van de boomlaag. Verspreide zware Eiken met een onderlaag van Hazelaar geeft niet alleen een fraai bosbeeld maar is ook aanzienlijk minder verzurend dan een gesloten spaartelgenbos zonder struiklaag. Ook het perspectief voor herstel zal meespelen.

Beuk en naaldhoutsoorten zoals Fijnspar, Sitkaspar (*Picea sitchensis*) en Japanse lariks (*Larix kaempferi*) komen nog vrij vaak opstandsgewijs voor in vochtige boscomplexen maar zouden, als gekozen wordt voor een primaire natuurfunctie, vanwege hun sterk negatieve effect op de humusvorm en het lichtklimaat moeten worden verwijderd. Ook de strooisellaag zou dan moeten worden afgevoerd om herstel van een mull-humusvorm mogelijk te maken. In stagnatiebossen op oude bosgroeiplaatsen zou Beuk bestreden kunnen worden met als overweging dat de oppervlakte redelijk tot goed ontwikkeld Eiken-Haagbeukenbos op de hogere zandgronden zeer gering is (Bijlsma et al., 2014) en dat vrijwel alle karakteristieke vaatplanten waaronder veel oudbossoorten sterk onder druk staan (zie § 6.4.1) wat wordt verergerd door de aanwezigheid van Beuk. In hoeverre de aldus ontstane open ruimtes zouden moeten worden ingeplant, en zo ja met welke boomsoorten, is niet in het algemeen te beantwoorden. Grazige open ruimtes binnen boscomplexen zijn bijzonder waardevol voor zowel de flora als fauna (o.a. Veling et al., 2004). Als er een risico is op structurele verbraming, ligt inplanten meer voor de hand. Dit risico is groter naarmate het terrein meer verdroogd is en de grasdruk laag is.

Canadapopulier is vooral in beekoverstromingsvlaktes vaak aangeplant op oude bosgroeiplaatsen met stagnatiebossen, zoals in De Geelders bij Boxtel en het IJzeren bos bij Susteren. Populier vormt op deze groeiplaatsen meestal een scherm waaronder Hazelaar, Haagbeuk en meidoorns voorkomen en verjonging optreedt van boomsoorten met goed verteerbaar strooisel. Voor oudbossoorten in de kruidlaag is dit een ideale situatie. Het vellen van populier is hier zeer af te raden omdat de kruidlaag dan sterk wordt beschadigd en structurele verrijking met brandnetel (op kleiige bodems) of bramen (op zandiger bodems) optreedt. Bovendien leidt windworp of op termijn aftakeling van populier tot een hogere natuurlijkheid van het bos (zie § 4.5).

Als besloten wordt tot geleidelijke omvorming van de boomlaag naar een groter aandeel soorten met goed verteerbaar strooisel, is het ook hier belangrijk de struiklaag intact te houden of, bijv. in uniform spaartelgenbos, aan te brengen. De struiklaag voorkomt perceelsgewijze verrijking van de kruidlaag, wat al optreedt bij een toename van het

lichtpercentage op de bosbodem van 5-10% (Bijlsma, 2004). De keuze van de in te brengen boomsoorten zou een relatie moeten hebben met de regionale aanwezigheid van inheemse boomsoorten. Zo zijn er veel Eiken-Haagbeukenbossen waar Haagbeuk zich nooit op eigen kracht heeft weten te vestigen. In dit geval ligt aanplant van Haagbeuk niet voor de hand. Ook Winterlinde is in veel regio's een gebiedsvreemde soort en bovendien zeer gevoelig voor vraat. In de meeste situaties geeft de combinatie van Gewone es en Hazelaar een perfect 'linde-effect' (Hommel et al., 2007).

DEEL 2: EVALUATIE VERNATTINGSMAATREGELEN IN VOCHTIGE BOSSEN

8. Vernattingsmaatregelen in vochtige bossen

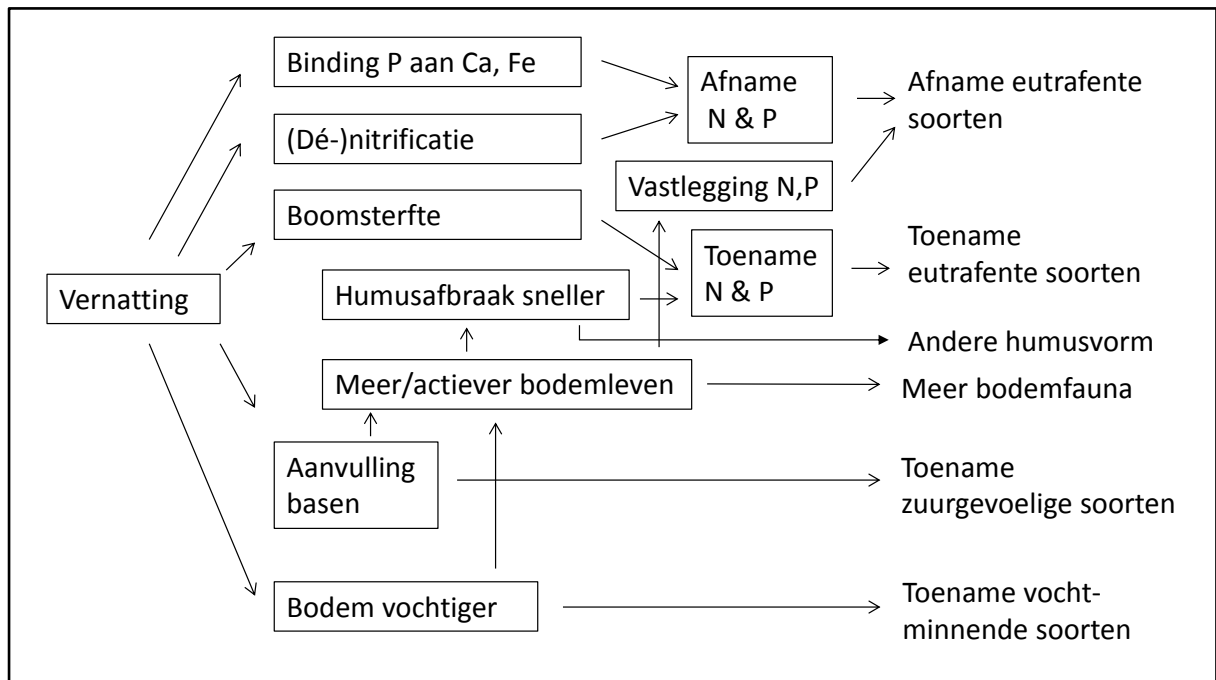
8.1 Inleiding

Een belangrijk onderdeel van dit preadvies is een evaluatie van uitgevoerde herstelmaatregelen in vochtige bossen. Het doel hiervan is om te leren van uitgevoerde maatregelen en het toetsen van bevindingen uit deel I van het preadvies met voorbeelden in het veld. Veel vochtige bossen zijn ernstig verdroogd, verzuurd en vermest. Verdroging wordt gezien als de belangrijkste onderliggende oorzaak (zie § 7.2). Herstelmaatregelen hebben zich tot nu toe dan ook vooral beperkt tot maatregelen tegen verdroging. Specifieke maatregelen tegen verzuring (andere boomsoorten aanplanten, bekalken e.d.) zijn nog maar weinig uitgevoerd, evenals specifieke maatregelen tegen vermesting (plaggen, verwijderen strooisellaag e.d.) (zie ook bijlage 1). De evaluatie van uitgevoerde herstelmaatregelen heeft zich daarom toegelegd op de effecten van vernatting. Dit betekent uiteraard niet dat dit als enige potentiële herstelmaatregel wordt gezien.

8.1.1 Te onderzoeken effecten van vernatting

Vochtige bossen hebben we gedefinieerd als bossen die in de winter tot in de wortelzone onder invloed staan van grond- of oppervlaktewater, maar waar de waterstand in de zomer diep kan wegzakken (zie § 2.1) oppervlakkig uitdrogen. Herstel van de waterhuishouding in vochtige bossen houdt in dat in de winter weer grond- of oppervlaktewater in de wortelzone aanwezig is of op maaiveld staat. Ook in de zomer worden de grondwaterstanden vaak weer hoger, maar dat is niet noodzakelijk.

Omdat de bosbodem langer vochtig blijft, zullen vochtminnende soorten zich uitbreiden. Een belangrijk indirect effect is dat er met het grond- of oppervlaktewater ook weer basen worden aangevoerd, waardoor de vaak zeer lage basenverzadiging weer kan herstellen. Basenminnende, of in ieder geval minder zuurtolerante soorten kunnen zich dan ook weer vestigen. De herstelde vochthuishouding en basenverzadiging begunstigen ook de afbraak van organisch materiaal. Bacteriën, schimmels en bodemfauna kunnen een groter deel van het warme seizoen actief zijn. Er ontstaan andere humusvormen en de door verzuring opgelopen achterstand in de afbraak van organisch materiaal kan worden ingelopen. De versterkte decompositie leidt tot het versneld vrijkomen van voedingsstoffen. Hierdoor kan worden verwacht dat eutrafente soorten zullen toenemen. Aan de andere kant kan door de hogere waterstanden denitrificatie op gang komen, waardoor stikstof naar de lucht verdwijnt. Ook kunnen met het grondwater ijzer en/of calcium worden aangevoerd waarmee fosfaat gebonden kan worden. Het kan dus ook zijn dat eutrafente soorten juist afnemen, afhankelijk van bodem- en waterkwaliteit. Dit spectrum aan verwachte gevolgen van vernatting is weergegeven in Figuur 8.1.



Figuur 8.1: Mogelijke gevolgen van vernatting voor flora, bodemfauna en fungi.

Figure 8.1: Possible effects of waterlogging on flora, soil fauna and fungi.

Van de vernattingsmaatregelen worden de volgende effecten verwacht:

1. Een toename van planten, dieren en paddenstoelen die afhankelijk zijn van vochtige condities;
2. Een stijging van de basenverzadiging en pH in de toplaag van de bodem, doordat via het grondwater in meer of mindere mate basische kationen (calcium en magnesium) worden aangevoerd en uitgeruild tegen protonen, aluminium en ammonium die aan het kation uitwisselings complex (CEC) gebonden zijn;
3. Een toename van bodem-macrofauna, in ieder geval in aantallen individuen en mogelijk ook in soortenrijkdom;
4. Een verandering van humusvormen die wijzen op een goede strooiselvertering: een verschuiving van mor-humus naar moder-humus;
5. Een toename van eutrafente (myco-)flora op plekken waar door boomsterfte of een snelle toename van de basenrijkdom de humusafbraak plotseling wordt versneld.

8.2 Werkwijze

8.2.1 Selectie van terreinen

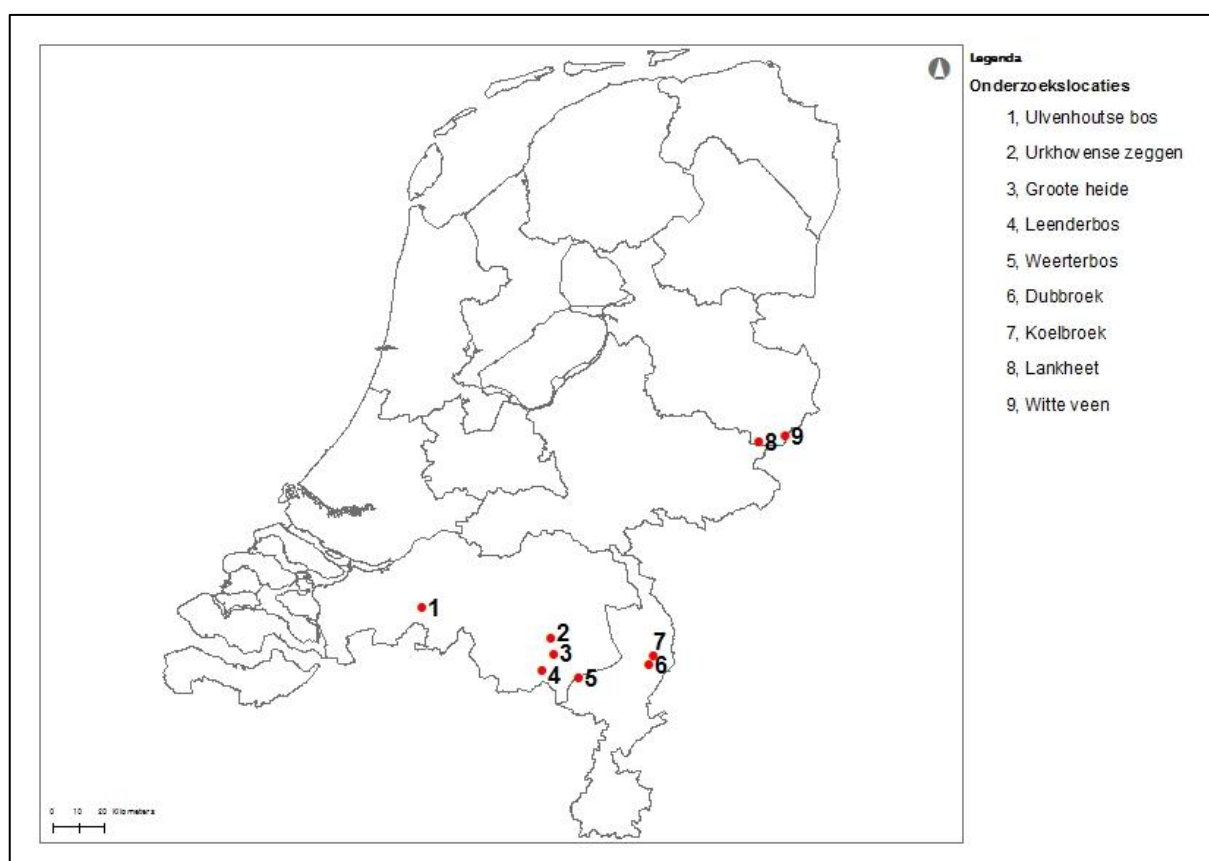
Eind 2012 zijn alle grote terreinbeherende organisaties benaderd met een vragenlijst over vernattingsmaatregelen in vochtige bossen. De vragenlijst was bedoeld om inzicht te krijgen in bossen waar in het verleden vernattingsmaatregelen zijn uitgevoerd en in hoeverre deze bossen een geschikte onderzoekslocatie vormen voor dit project. Uit de respons op vragenlijst (Bijlage 1) is een aantal terreinen geselecteerd voor nader veldonderzoek. Hoewel een groot aantal beheerders gereageerd hebben was het aantal voor nader onderzoek geschikte terreinen te gering. Een groot deel van de terreinen betrof natte bossen of bossen van jonge zeekeleigebieden. Daarom is nog een aantal terreinen geselecteerd door aanvullend beheerders direct te benaderen.

Aanvankelijk is een uitgebreide lijst van criteria opgesteld voor de selectie van terreinen (zie Bijlage 1). Deze selectiecriteria bleken erg ambitieus. In veel gevallen zijn maatregelen te voorzichtig uitgevoerd en hebben daardoor vooralsnog te weinig effect. En voor veel terreinen zijn weliswaar plannen opgesteld maar moeten de maatregelen nog worden uitgevoerd (veel TOP-gebieden en Natura 2000 terreinen). Het aantal daadwerkelijk geschikte vernatte gebieden dat in aanmerking komt voor veldonderzoek is daardoor beperkt gebleven. Door het

beperkte aantal locaties was er ook geen mogelijkheid om te selecteren op basis van voldoende beschikbare gegevens of een breed spectrum aan uitgevoerde maatregelen. Uiteindelijk zijn er drie criteria bepalend geweest voor de selectie van terreinen:

1. Zijn er vernattingsmaatregelen uitgevoerd?
2. Hebben deze maatregelen tot vernatting geleid die zichtbaar is in een verhoging van grondwaterstanden, toename van soorten van natte en vochtige omstandigheden en/of een verminderde vitaliteit van de boomlaag?
3. Is er een evenredige verdeling tussen het aantal locaties in beekdalen en op dekzanden?

In augustus-september 2013 zijn in negen geselecteerde vochtige bossen (zie Figuur 8.2) proefvlakken geselecteerd. Voor zover mogelijk zijn zowel proefvlakken geselecteerd waar in het verleden hydrologische maatregelen zijn getroffen, als proefvlakken waar geen hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd. Een overzicht van de gebieden en proefvlakken is gegeven in Tabel 8.1. Per locatie waar hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd is zoveel mogelijk gezocht naar een relatief natte locatie als een relatief droge locatie. Met een relatief natte locatie wordt bedoeld de zone net boven een broekbos (indien aanwezig) waar de bodem jaarrond goed vochtig is door een hoog grondwaterpeil. Met een relatief droge locatie wordt een locatie bedoeld die enkele decimeters hoger gelegen is en waar enkel in de winter grondwater tot in de wortelzone reikt. Alle locaties zijn gemarkeerd met paaltjes en de gps coördinaten zijn genoteerd. Binnen een straal van 5 meter (of een duidelijk afgegrensd vlak wat ongeveer even groot is) is het humusprofiel beschreven, is een vegetatieopname gemaakt, zijn monsters van bodemfauna, strooisellaag en minerale bodem verzameld voor bodemchemische analyse. Ook is middels aanvullende veldbezoeken de samenstelling van de mycoflora (mycorrhizavormers en strooiselsaprophyten) in beeld gebracht.



Figuur 8.2: Ligging van de onderzoekslocaties.

Figure 8.2: Locations of the study sites.

Tabel 8.1: De in het onderzoek betrokken gebieden met het aantal bemonsterde locaties waar in het verleden wel of geen hydrologische maatregelen genomen zijn.

Table 8.1: The sites involved in the study with the number of sampled plots on waterlogged and not waterlogged locations.

	Beekdalbossen				Dekzandbossen				
	Dubbroek	Koelbroek	Ulvenhoutse bos	Urkhovense Zeggen	Lankheet	Groote Heide	Leenderbos	Weeterbos	Witte veen
Wel hydrologische maatregelen	2	2	2	3	2	3	2	1	2
Geen hydrologische maatregelen	0	0	2	2	0	4	1	1	0

8.2.2 Bepalen van veranderingen in de grondwaterstanden

De veranderingen in grondwaterstanden die zijn opgetreden als gevolg van de herstelmaatregelen zijn bepaald aan de hand van bestaande grondwatermeetpunten in de omgeving van de onderzoeksplots. Meetgegevens van peilbuizen die het freatisch grondwater meten zijn opgevraagd bij beheerders en/of bij Dinoloket. Slechts in een beperkt aantal gevallen (Lankheet, Weeterbos en Witte Veen) waren peilbuizen dicht bij de onderzoeksplots aanwezig. Veelal waren de afstanden tussen de onderzoekslocatie en de peilbuizen vrij groot en de periode waarover meetgegevens verzameld zijn (te) kort.

Om toch iets te kunnen zeggen over veranderingen in grondwaterstanden zijn verschillende peilbuizen rondom de onderzoekslocatie geanalyseerd en geïnterpoleerd naar de onderzoekslocatie. De gegevens geven daarom niet meer dan een indicatie over eventuele veranderingen in grondwaterregime van de onderzoeksplots. De meetgegevens van de grondwaterstanden zijn uitgezet in grafieken (zie bijlage 3).

8.2.3 Humus en bodem

Van elk proefvlak is een representatief bodem- en humusprofiel beschreven (respectievelijk tot een diepte van 120 cm -mv en 40 cm -mv). Naast de opbouw van de bodem is ook het pH-verloop in het bodemprofiel beschreven en is de ten tijde van de opname de actuele grondwaterstand genoteerd (Van Delft, Stoffelsen & Brouwer, 2007). De humusvormen zijn volgens Van Delft et al. (2006) beschreven. Voor de bodem zijn de termen ontleend aan het classificatiesysteem van De Bakker en Schelling (1989) en de bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (STIBOKA, Staring centrum). Het pH-verloop is op tien diepten bepaald met behulp van pH-strookjes. Deze pH-waarden zijn uiteraard onnauwkeuriger dan de in het laboratorium bepaalde pH-waarden maar geven een goed beeld van het verloop van de pH met diepte. De met strookjes bepaalde pH valt in het algemeen wat hoger uit dan geanalyseerde pH-waarden (pH-KCl, pH-CaCl₂, pH-NaCl).

8.2.4 Bodemchemie

Veldbemonstering

Bij het verzamelen van bodemmonsters voor bodemchemische analyses is gebruik gemaakt van een brede guts of een edelmanboor. Per proefvlak zijn vijf deel locaties bemonsterd waar een mengmonster van gemaakt is. Na verwijderen van de ruwe humus zijn telkens de onderliggende humeuze laag en 20 cm mineraal materiaal verzameld (de wortelzone).

Bodemanalyses

Massa-Volumebepaling

Dit werd vastgesteld door van 50 ml bodemmateriaal het versgewicht en drooggewicht (na 24 uur drogen bij 105 °C) te bepalen. Dichtheden tussen verschillende bodemtypen (bijvoorbeeld zand versus veen) kunnen onderling sterk verschillen. Om verschillende bodemtypen te kunnen vergelijken is het van belang concentraties uit te kunnen drukken per liter verse bodem in plaats van kilogram droge bodem.

Vocht- en organisch stofgehalte

Het vochtgehalte van de bodem werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 24 uur bij 105 °C. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het gedroogde bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem

NaCl-extractie

De concentratie aan de bodem gebonden kationen (o.a. protonen en ammonium) werd met behulp van een zoutextractie bepaald. Hierbij kan tevens een indicatieve basenverzadiging worden vastgesteld. Hiertoe werd aan 17,5 gram vers bodemmateriaal 50 ml 0,2 M natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 2 uur werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon rhizons. Het extract werd bij 4 °C bewaard tot verdere analyse.

Chemische analyse

Van het bodemextract werd direct de pH (NaCl) gemeten. Het extract werd achtereenvolgens verzameld met behulp van rhizons die gekoppeld werden aan 30 ml vacuüm infuusflesjes. Hiervan werd 10 ml gefixeerd met 100 µL salpeterzuur en geanalyseerd op een ICP-OES ter bepaling van de concentratie Al, Ca, Fe, Mg, Mn, P, S, Si, Na, K en Zn. Tevens werd 20 ml monster gefixeerd met citroenzuur waarna colorimetrisch de gehalten aan PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- , Na^+ , K^+ en Cl^- werden bepaald gebruikmakend van autoanalyser technieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>).

Data-analyse

De data zijn op twee manieren verwerkt. Allereerst is gekeken naar onderlinge verbanden tussen relevante parameters en zijn vergelijkingen gemaakt tussen beide bodemlagen en tussen al of niet verruigde plots (dominantie van braam, stekelvarens en brandnetel).

Bij deze dataverwerking is gezocht naar:

- Verschillen tussen de humuslaag en de onderliggende zandlaag;
- Verschillen tussen verruigde en niet verruigde locaties;
- Verschillen tussen locaties waar wel en geen hydrologische maatregelen genomen zijn.

Deze data-analyse is terug te vinden in bijlage 5.

8.2.5 Bodemfauna

In het preadvies wordt de fauna zoveel mogelijk behandeld met een functionele ecologische benadering. Om relaties te kunnen leggen tussen de bodem-, humus- en vegetatiesamenstelling enerzijds en de fauna anderzijds wordt de samenstelling van de fauna en de voor fauna relevante terreincondities vastgelegd op een selectie van de locaties waar de bodemmonsters worden genomen en de bodem, vegetatie en mycoflora zijn beschreven.

Analyse van fauna uit strooiselmonsters

Op 20 locaties (10 vernatte en 10 controle locaties zie tabel 8.10) werden in september 2013 monsters van het strooisel genomen, waarbij strooisel van meerdere plekken binnen de onderzoekslocatie werd gemengd. Het monster werd in het laboratorium in een Berlesetrichter gedurende tenminste één week onder een warme lamp geplaatst. De fauna die uit het strooisel door de trechter viel, werd verzameld, geconserveerd en op hoofdgroep (vaak ordeniveau) gedetermineerd. Het drooggewicht van de monsters werd bepaald en de aantallen dieren per monster werden gecorrigeerd voor het drooggewicht.

Quick-scan slakkenfauna

Door het verhogen van de grondwaterstand, kunnen ook bufferende kationen aangevoerd worden. Een indicatorgroep voor dergelijke veranderingen in het ecosysteem zijn landslakken. Veel soorten zijn in verschillende gradaties vochtbehoefstig. Hierdoor is er een gradiënt in het voorkomen van verschillende slakkensoorten binnen een vochtgradiënt. Een verhoging van de pH en calciumbeschikbaarheid in het bosesysteem kan onder meer vastgesteld worden aan de hand van het voorkomen van huisjesslakken, die vaak sterk reageren op herstelmaatregelen (Pabian et al., 2012). Onder te zure omstandigheden kunnen huisjesslakken geen huisje opbouwen, omdat de kalkbeschikbaarheid te laag is of het huisje onder invloed van het zuur zou oplossen. De huisjesslakken spelen een belangrijke rol in het ecosysteem als kalkleveranciers voor vogels gedurende de eilegperiode (Graveland et al.,

1994; Pabian et al., 2012). Ook worden slakken door vogels (en andere dieren) gegeten als eiwit- en energiebron.

Met behulp van een quick-scan van de slakkenfauna op 26 onderzoekslocaties (zie tabel 8.9) zijn de gebieden gekarakteriseerd wat betreft de vocht- en bufferstatus.

Tweeëntwintig locaties zijn onderzocht in het kader van dit project en vier door studenten van de cursus Biodiversiteit van de Radboud Universiteit Nijmegen. Per locatie is gedurende 10 minuten gezocht naar alle landslakken, zowel naaktslakken als huisjesslakken. Hierbij is gezocht op (en onder) liggend dood hout, de kruidachtige vegetatie en boomstammen. Er is geprobeerd zoveel mogelijk verschillende slakkensoorten te verzamelen en dus niet alle gevonden exemplaren van een zelfde slakkensoort te verzamelen. De analyse van de gegevens is dus gebaseerd op aan- of afwezigheid en niet op de aantallen verzamelde dieren. De slakken zijn in het veld geconserveerd in alcohol.

Het materiaal is gedetermineerd met behulp van Warmoes & Devriese (1987). Ecologische gegevens over de slakken werden betrokken van de website www.animalbase.uni-goettingen.de (Tabel 8.2). Naaktslakken werden niet tot op soort gedetermineerd (dit moet aan levende dieren gebeuren omdat veel kenmerken aan geconserveerde dieren niet meer te zien zijn; huisjesslakken zijn te determineren aan de hand van hun huisje). Voor de ecologische karakterisering van de gebieden is gebruik gemaakt van indicatorsoorten, met name Vale regenslak (*Clausilia bidentata*) en Gewone barnsteenslak (*Succinea putris*), die alleen voorkomen onder specifieke milieuomstandigheden (zie Tabel 8.2). Deze aanpak heeft de voorkeur boven een levensgemeenschap analyse, omdat er in het bos heel veel verschillende leefmilieus zijn, die onderling ook al sterk verschillen in vochtuithouding en blootstelling aan zuren (denk bijvoorbeeld aan een slakje in de strooisellaag of een slakje dat leeft op boomstammen).

Tabel 8.2: Aangetroffen slakkensoorten en beknopte ecologische kenschets.

Table 8.2: found snail species and a brief ecological characterisation.

Soort		Ecologische kenschets
<i>Aegopinella nitidula</i>	Bruine glansslak	Carnivoor en aaseter
<i>Arianta arbustorum</i>	Heesterslak	Groene planten, dode dieren, poep, vocht nodig
<i>Cepea hortensis</i>	Witgerande tuinslak	Vochtiger dan <i>C.nemoralis</i>
<i>Cepea nemoralis</i>	Gewone tuinslak	Afstervende planten
<i>Clausilia bidentata</i>	Vale regenslak	Löss, fluviatile afzettingen
<i>Cochlicopa lubrica</i>	Glanzende agaathoren	Dode en levende planten, vochtige bodem
<i>Discus rotundatus</i>	Boerenknoopje	Vochtige locaties, dood hout.
<i>Perforatella incamata</i>	Bosloofslak	Vochtige bossen, vaak dood blad bij open water
<i>Succinea putris</i>	Gewone barnsteenslak	Natte bossen, amfibisch
<i>Trochulus hispida</i>	Behaarde slak	Vochtige bossen, vaak op planten bij open water

8.2.6 Vegetatie en flora

Voor de vegetatiebeschrijving is een proefvlak van 10 bij 10 m in beschouwing genomen. Binnen dit proefvlak is de soortensamenstelling geïnventariseerd van vaatplanten en mossen. Voor het aangeven van de abundantie is de indeling van Tansley (1946) (Schaminée et al., 1995) gehanteerd (zie Tabel 8.3).

8.2.7 Mycoflora

Een volledige inventarisatie van de mycoflora is vrijwel onmogelijk; ook na 5 jaar inventariseren worden in proefvlakken nog altijd nieuwe soorten waargenomen. Wel kan aan de hand van de waargenomen soorten een goede indruk worden verkregen van de bodemtoestand (zuurgraad, vochttoestand, trofie) en eventuele veranderingen daarin. In onze bossen op zandgronden komen nu enkele honderden soorten voor die op sterk verzuurde en met stikstof verrijkte standplaatsen kunnen voorkomen. Het aantal soorten van zure bosbodems met een goede basenverzadiging en lage stikstofgehalten is nog veel groter. Meest interessant voor een paddenstoeleninventarisatie is een tussengroep van soorten die wel gevoelig zijn voor verzuring en/of vermesting, maar niet in die mate dat ze vrijwel uit Nederland verdwenen zijn. Het gaat hier om enkele tot vele tientallen soorten.

Voor het verkrijgen van een indruk van de mycoflora wordt uitgegaan van de proefvlakken die zijn opgenomen voor de vegetatie. Deze zijn twee maal tijdens een voor paddenstoelen gunstige periode (natte periode in aug-okt) geïnventariseerd volgens een methode die voor alle proefvlakken gelijk is. Per locatie wordt aanwezigheid vastgesteld, plus een aantalsindicatie in categorieën (1-10 / 11-100 / 101-1000 / >1000) voor de vruchtlichamen. Van de meest indicatieve soorten wordt ook het type standplaats genoteerd (b.v. kale bosbodem, tussen mos, langs greppelkanten e.d.), en de mate waarin de waterhuishouding hier is gewijzigd. Alleen soorten die mycorrhiza vormen met de aanwezige bomen en soorten die leven in de strooisellaag zijn geïnventariseerd. De grote categorie van houtbewonende soorten is (dus) niet in de inventarisatie betrokken.

Tabel 8.3: Abundantieklassen volgens Tansley

Table 8.3: Abundancy categories according to Tansley

De abudantieklassen volgens Tansley		
d	<i>dominant</i>	de soort is overheersend
c	<i>codominant</i> ,	de soort is overheersend samen met andere soorten.
a	<i>abundant</i>	de soort is talrijk, veel aanwezig maar nooit (co-)dominant.
f	<i>frequent</i>	de soort wordt frequent aangetroffen en is vrij talrijk.
o	<i>occasional</i>	de soort wordt zo nu en dan aangetroffen en is verspreid aanwezig.
r	<i>rare</i>	de soort is zeldzaam.
s	<i>sporadic, sparse</i>	de soort is zeer zeldzaam, slechts enkele exemplaren aanwezig.
la	<i>local abundant</i>	plaatselijk talrijk
ld	<i>local dominant</i>	plaatselijk overheersend
lf	<i>local frequent</i>	plaatselijk frequent

8.3 Beknopte beschrijving van de onderzoekslocaties

Het Lankheet

Kenschets

De onderzoekslocatie op het Lankheet ligt aan het eind van een slenk op de overgang van een dekzandrug naar het dal van de Buurserbeek. De slenk is een zijdal van de Buurserbeek. Op basis van de ligging en het belangrijkste bodemtype; een veldpodzol, behoort het bos tot de *dekzandbossen*. Ook het huidige vegetatietype Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje wijst hierop. Het laagste deel ligt op de overgang naar *beekdalbossen* gezien het bodemtype (beekerdgrond) en de dominante boomsoort (Zwarte els). De onderzoekslocaties maakt onderdeel uit van een experiment om verdroogd beekbegeleidend bos door middel van bevloeiing te herstellen. Hiervoor is in 2005 een meetnet opgezet waarin onder meer de uitgangssituatie is vastgelegd van de bodem, grondwaterregime en de vegetatie. (Hommel et al., 2008; 2013; Aggenbach et al., 2007; 2011)

Maatregelen

Op aangrenzende landbouwgronden zijn alle sloten gedempt en rietvelden aangelegd als helofytenfilter waar basenrijk beekwater doorheen geleid wordt. Het voorgezuiverde water wordt deels gebruikt voor bevloeiing en in de winterperiode via enkele greppels door het bos geleid. Vernatting van het bosperceel wordt niet alleen veroorzaakt door het inlaten van oppervlaktewater maar ook omdat door de aanleg van het helofytenfilter de grondwaterstanden gestegen zijn.

Grondwaterstandwijzigingen

De grondwaterstanden ter hoogte van de onderzoekslocaties zijn tussen de start (2006) en het einde van de metingen (2009) gestegen: de laagste grondwaterstand in het lage deel van het perceel met 30-40cm en in het hogere deel met 50 cm. In de winter komt het grondwater aan maaiveld.

Proefvlakken

Er zijn twee proefvlakken geselecteerd: LH-1 en LH-2. LH-1 ligt in het lage deel van het onderzoeksobject en grenst aan een Elzenbroekbos waar eveneens vernattings- en bevoeiingsexperimenten lopen. LH-2 ligt iets hoger op de gradiënt.

Dubbroek

Kenschets

Dubbroek is gelegen in een oude Maasmeander. Het wordt gevoed door calcium- en ijzerrijke kwel. Het laagste deel van de meander bestaat uit open water en Elzenbroekbos met overgangen naar Vogelkers-Essenbos. Door het Dubbroek stroomt de Springenbeek.

Maatregelen

In de Springenbeek zijn in 1995 nieuwe stuwen geplaatst en stuwpeilen verhoogd met 30 cm.

Grondwaterstandwijzigingen

Volgens de provincie Limburg (provincie Limburg, 2004) is het grondwaterpeil als gevolg van de maatregelen met circa 20 cm gestegen. De fluctuatie van de grondwaterstanden bedraagt circa 50 centimeter van 20 centimeter boven tot 30 centimeter onder maaiveld bij het grondwatermeetpunt. De proefvlakken liggen echter hoger dan de maaiveldhoogte bij dit meetpunt.

Proefvlakken: Er zijn twee proefvlakken bemonsterd; DB-A en DB-B. Deze liggen op een lage rug in de meander. Proefvlak B op het hoogste deel. De boomlaag bestaat uit eik en es. In het lager gelegen proefvlak A is Zwarte els dominant.

Koelbroek

Kenschets

Koelbroek is een oude uitgeveende maasmeander en bestaat grotendeels uit Elzenbroekbos. Op de hogere gronden rondom de meander zijn droge, met Grove den en Amerikaanse eik aangeplante bossen te vinden. Een zeer smalle overgangszone is tot de vochtige bossen te rekenen. Door Koelbroek stroomt de Everlose Beek. Koelbroek is bekend geworden door vernattingsmaatregelen langs de beek die tot een permanente inundatie van de broekbossen en als gevolg daarvan een zeer sterke eutrofiering hebben geleid. Koelbroek wordt gevoed door matig voedselrijk, goed gebufferd circumneutraal, calcium- en ijzerrijk grondwater vanuit het middenterras.

Maatregelen

In 1997 zijn kades aangelegd langs en stuwen vervangen in de Everlose beek waardoor het peil in de beek en het Koelbroek verhoogd is. In het noordelijk deel van het Koelbroek ontstond daardoor een stagnante waterlaag, in het zuidelijk deel kon nog enige doorstroming plaats vinden.

In 2001 zijn aanpassing gemaakt in de kades waardoor lagere zomerwaterstanden kunnen worden gerealiseerd en een meer natuurlijk peil kan worden nagestreefd.

Grondwaterstandwijzigingen

In het lage deel van Koelbroek, in het elzenbroek, zijn de waterstanden met circa 40 cm gestegen. Dit betreft zowel de zomer- als wintersituatie. Hoger op de gradiënt, waar zich de onderzoekslocaties voor de vochtige bossen bevinden, is een vergelijkbare verhoging van het grondwaterpeil te zien. Als gevolg van het forse hoogteverschil met het lage deel van de meander reiken de grondwaterstanden nog niet tot in de wortelzone. De fluctuatie bedraagt na de vernatting circa 50 centimeter.

Proefvlakken

Beide proefvlakken liggen op de overgang van natte elzenbroeken naar drogere dennen- en (Amerikaanse) eiken bossen. De overgangszone is erg smal waardoor de proefvlakken kenmerken hebben van zowel droge- als natte bossen. Proefvlak KB-1 ligt iets lager op de gradiënt dan KB-2.

Ulvenhoutse bos

Kenschets

Het Ulvenhoutse bos is een relatief klein beekbegeleidend bos langs de Bavelse Leij. In de ondergrond bevinden zich slechtdoorlatende kalkrijke leemlagen die voor hoge waterstanden zorgen. Het bosgebied wordt doorkruist door verschillende gegraven bovenloopjes. Het bos bestaat uit een mozaïek van droog voedselarm Beuken-Eikenbos en (verdroogd) Eiken-Haagbeukenbos, Vogelkers-Essenbos en Elzenbroekbos. Als gevolg van verdroging zijn soorten als Witte rapunzel, Gulden boterbloem en Knikkend nagelkruid sterk achteruit gegaan.

Maatregelen

Vernatting van het bosgebied is geleidelijk in gang gezet door verhoging van het oppervlaktewaterpeil in de Bavelse Leij en afdammen van sloten. Hierdoor is een vernatting op gang gebracht die in de laagst delen geleid heeft tot sterfte van hele opstanden en als gevolg daarvan een sterke verruiging van de ondergroei.

Grondwaterstandwijzigingen

Uit de peilbuisgegevens blijkt dat vanaf 2007 een peilverhoging heeft plaatsgevonden van 10 tot 30 cm zowel van de hoogste als laagste grondwaterstand. De grondwaterstanden variëren van vlak onder maaiveld tot net iets meer dan één meter.

Proefvlakken

Er zijn twee proefvlakken uitgezet; één vernatte locatie (UB-A) en een controle locatie (UB-0). Het vernatte bos bestaat uit oude inlandse eiken en jonge essen en de op de controle locatie uit beuk en eik.

Urkhovense Zeggen

Kenschets

De Urkhovense Zeggen is een beekbegeleidend bos in het beekdal van de Kleine Dommel. Het onderzoeksterrein bestaat uit (verdroogde) Elzenbroeken op rabatten afgewisseld met Vogelkers-Essenbos op de wat hogere delen. Op de beekdalflank ligt een voormalige populierenaanplant. De beek wordt van oudsher hoog opgestuwd ten behoeve van de Collse watermolen. In het verleden is een parallelsloot gegraven, de Zeggenloop, om het beekdal te kunnen ontwateren.

Maatregelen

De Zeggenloop is in 2006 circa 40 cm verondiept (huidige bodemhoogte circa 50 cm – mv). Aanvullend zijn in 2010 alle sloten in en langs de bospercelen gedempt.

Grondwaterstandwijzigingen

Geen van de peilbuizen geven bruikbare informatie voor de proefvlakken. Veldwaarnemingen lijken erop te wijzen dat na 2006 de kwel toegenomen is (toename van roestverkleuring in het oppervlakte water en uitbreiding van Holpijp, Dotterbloem en Bosbies). Na 2010 zijn de grondwaterstanden verder gestegen. Gedurende een langere periode in het voorjaar en begin van de zomer staat er water op maaiveld.

Proefvlakken

Er zijn 5 proefvlakken onderzocht; 3 vernatte locaties en 2 controleplots. UZ-A ligt in de voormalige populieren opstand op de beekdalflank. UZ-B en UZB1 liggen in de beekdallaagte in een rabattenbos.

Groote Heide



Foto8.1: Proefvlak GH-B in het vroege voorjaar enkele jaren na vernatting.

Photo 8.1: Study site GH-B in early spring, a few years after water logging has taken place.

Kenschets

Groote Heide ligt op een dekzandrug tussen de beekdalen van de Tongelreep en de Kleine Dommel. Het is een jonge heideontginning. De bodem bestaat uit sterk gelaagde afzettingen van dekzand en slecht doorlatende leem-, veen- en gyttja-lagen. De bossen zijn vegetatiekundig te rekenen tot de Berken-Eikenbossen, Beuken-Eikenbossen en (rompgemeenschappen van) naaldbossen. Het grondwater is zuur en basenarm. De bossen behoren tot het type van de *dekzandbossen*.

Maatregelen

In de loop van 10 jaar zijn geleidelijk alle sloten die geen functie hebben voor de landbouw gedempt. Alleen de hoofdwaterloop, de Kleine Beekloop, is (nog) niet gedempt of verondiept. De sloten die invloed hebben op de waterhuishouding van de onderzoekslocaties zijn in 2006 gedempt.

Grondwaterstandwijzigingen

Er zijn geen peilbuisgegevens beschikbaar die voldoende representatief zijn voor de onderzoekslocaties. Op basis van veldwaarnemingen blijkt dat de grondwaterstanden in de winter tot boven maaiveld stijgen (zie Foto 8.1). In de zomer zakken de grondwaterstanden circa 1,5 meter diep weg.

Proefvlakken

Er zijn drie proefvlakken (GH-A, GH-B en GH-C) bemonstert en 3 niet vernatte controlelocaties (GH-01, GH-02 en GH-03).

Leenderbos-Laagveld

Kenschets

Het Leenderbos is een heidebebossing uit begin van de 20ste eeuw en gelegen op een dekzandrug met overgangen naar het beekdal van de Tongelreep. Het onderzoeksgebied maakt onderdeel uit van het Laagveld; soortenrijke vochtige heide-enclaves in een groot boscomplex. Heide en bosgebied worden gedraineerd door een stelsel van diepe sloten die samenkomen in de Laagveldloop en afwateren op de Tongelreep. Het bos bestaat grotendeels uit naaldhoutaanplanten die door verjonging van eik en berk vegetatiekundig tot de Berken-Eikenbossen te rekenen zijn.

Maatregelen

In 1996 zijn een groot aantal sloten gedempt, maar door een onverwachte, extreme vernatting zijn deze maatregelen grotendeels ongedaan gemaakt. Vanaf 2009 zijn opnieuw vernattingsmaatregelen uitgevoerd. Er zijn stuwen geplaatst in de grote waterlopen en gedurende een tweetal jaren zijn de stuwpeilen verhoogd tot de maximale hoogte (20 a 30 cm onder maaiveld). Daarnaast zijn de detailontwateringsloten afgedamd.

Grondwaterstandwijzigingen

Ten opzichte van de periode van halverwege de jaren negentig zijn zowel de hoge als de lage grondwaterstanden met circa 20 centimeter gestegen. De seizoensfluctuatie is groot en varieert van rond maaiveld tot 1,30 meter onder maaiveld.

Proefvlakken

Er zijn drie proefvlakken bemonsterd. Dit zijn de vernatte locaties LB-A en LB-B en een controleplot LB-0. LB-A is het sterkst vernat en hier komt het grondwater in de winter tot in maaiveld. Bij B is duidelijk niet het geval, omdat de opstuwende werking van de stuw hier minder sterk is.

Weerterbos

Kenschets

Het Weerterbos is een bosgebied in een moerassige laagte. Op geringe diepte liggen slecht doorlatende kalkarme Maaskleiafzettingen. De laagste delen worden tevens gevoed door regionale kwel. Ondanks het sterk stagnerend karakter van de bodem behoort wordt het Weerterbos gerekend tot de dekzandbossen. De vegetatie behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje en het grondwater is voornamelijk zuur en basenarm.

Maatregelen

Een groot deel van de detailontwatering wordt sinds circa 1990 niet meer onderhouden. Hierdoor is het gebied lokaal geleidelijk natter geworden. Recent (2012) zijn een aantal sloten gedempt of afgedamd. Dit is onder meer gebeurd In Den Vloed waar de proefvlakken liggen.

Grondwaterstandwijzigingen

Er is een verhoging van de laagste grondwaterstand opgetreden van circa 50 centimeter die omstreeks 1998 begint. De GHG verandert nauwelijks omdat die wordt afgetopt doordat de stijghoogte van het ondiepe grondwater in de winter boven maaiveld ligt. De grondwaterstand in de zomer is gestegen van ruim één meter naar circa 60 centimeter diepte.

Proefvlakken

Er zijn twee proefvlakken bemonsterd WB-A is een vernatte locatie in een rabattenbos in het deelgebied In Den Vloed. WB-0 ligt in het zelfde bosperceel als WB-A maar hoger op de gradiënt.

Witte Veen

Kenschets

Witte Veen is een hoogveenrestant wat gedeeltelijk ontgonnen en bebost is. Het onderzoeksterrein is een 30 ha groot boscomplex in het zuidelijk deel van het natuurreservaat. De bodem bestaat uit een dunne laag dekzand op keileem en tertiaire kleien. De bossen worden ondanks het sterk stagnerende karakter van de bodem tot de dekzandbossen gerekend. Het grondwater is basenarm en vegetatiekundig is het een vochtig Berken-Eikenbos.

Maatregelen

In 1990 is de door het bosgebied lopende hoofdwaterloop gedempt. Afvoer van oppervlaktewater vindt sindsdien over maaiveld plaats. In de laagste delen stagneert water op maaiveld.

Grondwaterstandwijzigingen

De waterstand is na 1990 met 20 a 30 centimeter gestegen. Dit correspondeert met de tijd dat de maatregelen uitgevoerd zijn. De grondwaterstand stijgt in de winter gedurende enkele maanden tot aan maaiveld en daalt eind zomer tot 80 centimeter onder maaiveld.

Proefvlakken

Twee proefvlakken zijn onderzocht, WV-A en WV-B, die beide op een vernatte locatie liggen. A in het laagste deel van de vernatte slenk en B iets hoger op de gradiënt.



Foto8.2: In de laagste delen van onderzoekslocatie Witte Veen stagneert water op maaiveld als gevolg van de vernattingsmaatregelen.

Photo 8.2: In the lowest parts of the study site Witte Veen the groundwater stagnates on field level as a consequence of hydrological measures.

8.4 Karakterisering van de (clusters van) onderzoekslocaties

8.4.1 Typering van de onderzochte bossen

De onderzochte vochtige bossen vertegenwoordigen een breed scala aan bostypen. Aan de arme kant zijn dat de zure vochtige bossen van het dekzandlandschap (Grote Heide en Leenderbos) en aan de rijke kant de met basenrijke kwel gevoede bossen van de beekdalen (Urkhoven en Dubbroek). Daartussen bevinden zich bostypen waarvan de basen- en nutriëntenvoorziening meer of minder sterk beïnvloed wordt door basenrijke kwel of kalkrijke afzettingen in de bodem. In Tabel 8.4 wordt een overzicht gegeven van de verschillende onderzoekslocaties. Deze zijn grofweg in volgorde geplaatst van de mate waarin de bodem gebufferd wordt.

Tabel 8.4: Overzicht van de onderzoekslocaties en bemonsterde proefvlakken. Per proefvlak zijn een aantal opgenomen standplaatskarakteristieken en het vegetatietype weergegeven.

Table 8.4: Overview of study sites with site characteristics and vegetation types.

Locatie	Proefvlak	Vernat?	tot aan (-20) cm mv?	Bodemtype	Hoofd- boomsoort	Humusvorm	Vegetatietype	pH-papier		diepte pH toename	pH-NaCl		Basenverzadiging	
								pH Top	pH120		humus	mineraal	humus	
1 Grote Heide	GH-A	ja	ja	Veldpodzol	Lariks	Humusmormoder/ Humusmoder	Kussentjesmos-Dennenbos; subassociatie van Bochtige smele	3.2	4.6	30	2,79	3,09	82	34
1 Grote Heide	GH-01	nee		Veldpodzol	Lariks	Humusmormoder	Kussentjesmos-Dennenbos; subassociatie van Bochtige smele	3.6	4.0	30	2,64	2,94	66	20
1 Grote Heide	GH-B	ja	ja	Veldpodzol	Zomereik	Humusmormoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.0	4.0	20	2,68	2,96	73	22
1 Grote Heide	GH-02	nee		Veldpodzol	Zomereik	Bosmormoder	DG Amerikaanse eik- [Zomereik-verbond]	3.2	4.5	20	2,57	3	65	9
1 Grote Heide	GH-C	ja	ja	Veldpodzol	Beuk	Humusmormoder/ Humusmoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.2	4.0	30	2,82	3,44	67	12
1 Grote Heide	GH-03	nee		Veldpodzol	Grove den	Bosmormoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.2	3.9	20	2,69	3,13	81	13
1 Grote Heide	GH-04	nee		Veldpodzol	Fijnspar	Bosmormoder	?				2,57	2,9	76	14
2 Leenderbos	LB-A	ja	ja	Vlakvaag	Zomereik	Humusmormoder/ Bosmoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.6	4.0	0	2,87	3,13	84	39
2 Leenderbos	LB-B	ja	nee	Vlakvaag	Zachte berk	Humusmormoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.0	4.0	10	3,09	3,11	85	23
2 Leenderbos	LB-0	nee		Vlakvaag	Zachte berk	Humusmormoder	RG Zomereik-Groot laddermos/Fijn snavelmos- [Zomereik-verbond]	3.0	4.4	20	2,86	3,2	82	24
3 Weerterbos	WB-A	ja	ja	Beekeerd	Zomereik	Humusmormoder/ Humusmoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.2	5.0	20	2,98	3,14	82	34
3 Weerterbos	WB-B	ja	nee	Beekeerd	Grove den	Bosmormoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Bosbes	3.0	5.0	60	2,58	3,09	74	46
4 Witte Veen	WV-A	ja	ja	Vlakvaag	Zomereik	Boshydromoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.3	4.5	10	2,81	2,99	74	38
4 Witte Veen	WV-B	ja	ja	Veldpodzol	Zomereik	Ruwmoder	Beuken-Eikenbos; subassociatie van Adelaarsvaren	3.6	5.0	10	2,68	2,66	78	44
5 Koelbroek	KB-1	ja	nee	Vlakvaag	Zwarte els	Humusmoder	RG Gewone braam-[Klasse der elzenbroekbossen]	3.5	6.4	40	3,05	3,42	84	42
5 Koelbroek	KB-2	ja	nee	Beekeerd	Zwarte els	Humusmormoder	RG Gewone braam-[Klasse der elzenbroekbossen]	3.3	6.0	50	3,01	3,36	80	46
6 Lankheet	LH-1	ja	ja	Beekeerd	Zwarte els	Boshydromoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	4.2	5.0	30	3,04	3,05	79	38
6 Lankheet	LH-2	ja	ja	Veldpodzol	Zomereik	Humusmormoder/ Boshydromoder	Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje	3.3	5.0	40	3,31	3,4	87	81
7 Ulvenhoutse Bos	UB-1	ja	ja	Leekeerd	Zomereik	Schrale moereerdmoder	Vogelkers-Essenbos	4.0	6.6	30	3,72	3,92	92	93
7 Ulvenhoutse Bos	UB-2										3,07	3,05	87	81
7 Ulvenhoutse Bos	UB-0	nee		Gooreerd	Zomereik	Humusmormoder	Eiken-Beukenbos; typische subassociatie	3.0	6.6	50	2,9	3,13	83	18
7 Ulvenhoutse Bos	UB-02	nee									2,84	2,99	78	22
8 Dubbroek	DB-A	ja	ja	Leekeerd	Zwarte els	Vage moereerdmoder	Elzenzegge-Elzenbroek; typische subassociatie	5.2	7.2	40	5,2	5,57	99	99
8 Dubbroek	DB-B	ja	nee	Woudeerd	Gewone es	Ecto-beekhydromull	RG Gewone braam-[Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond]	4.0	7.2	50	3,45	3,63	81	65
9 Urkhovense Zeggen	UZ-A	ja	ja	Moerige eerd	Populier	Vage moereerdmoder	RG Grote brandnetel-[Onderverbond van Els en Es]	4.9	6.2	0	3,72	4,65	97	97
9 Urkhovense Zeggen	UZ-B1	ja	ja	Moerige eerd	Zwarte els	Moereerdmoder	Vogelkers-Essenbos	4.5	6.4	10	5,16	5,12	99	98
9 Urkhovense Zeggen	UZ-B2	ja	ja	Beekeerd	Gewone es	Ecto-akkerhydromull	Vogelkers-Essenbos	4.0	6.2	20				
9 Urkhovense Zeggen	UZ-01	nee		Beekeerd	Zwarte els	Boshydromoder	Vogelkers-Essenbos	3.3	6.5	30	3,04	3,13	92	58
9 Urkhovense Zeggen	UZ-02	nee		Lage enkeerd	Zwarte els	Humusmoder/Ecto-akkermoder	RG Gewone braam-[Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond]	3.6	6.9	20	3,15	4,52	89	98

Tabel 8.5: Indeling van de onderzoekslocaties naar de drie hoofdtypen vochtige bossen. Donkergrijs is het hoofdtype en met lichtgrijs is aangegeven waar de onderzoekslocaties eveneens kenmerken van vertoont.

Table 8.5: Classification of study sites in 3 classes of wet forests.

	Beekdalbossen	Stagnatiebossen	Dekzandbossen
Groote Heide			
Leenderbos			
Weerterbos			
Witte Veen			
Koelbroek			
Lankheet			
Ulvenhoutse Bos			
Dubbroek			
Urkhovense Zeggen			

In Tabel 8.5 is een onderverdeling gemaakt van de onderzoekslocatie naar de drie typen vochtige bossen. Er zijn vijf terreinen die tot de dekzandbossen gerekend kunnen worden en vier tot de beekdalbossen. Er zijn geen bossen die één op één tot de stagnatiebossen gerekend kunnen worden. Enkele bossen vertonen kenmerken van stagnatiebossen (in de vorm van stagnerende bodems), maar moeten op grond van grondwaterregime of basenrijkdom toch tot een ander type gerekend worden. Ook is er een terrein (Lankheet) wat grotendeels tot de dekzandbossen gerekend moet worden maar kenmerken van een beekdalbos vertoont. Hieruit blijkt dat het onderscheid in drie typen vochtige bossen een gradueel onderscheid is.

Beekdalbossen

Vochtige bossen in beekdalen met aanvoer van (matig) basenrijk grondwater zijn te vinden in de Urkhovense zeggen, Ulvenhoutse bos, Koelbroek en Dubbroek. Er is over het algemeen een gradiënt aanwezig met beekbegeleidende elzenbroeken in de beekdalbodem en vochtige bossen op de beekdalflank. Op de hogere gelegen delen liggen meestal landbouwgronden. In het Ulvenhoutse bos is er geen duidelijk gradiënt van nat naar droog aanwezig maar is meer sprake van een mozaïek waarin droge, vochtige en natte bosgemeenschappen elkaar afwisselen. De zone waarin vochtige bossen voorkomen in de gradiënt is smal (vaak niet meer dan honderd meter). In Koelbroek zelfs zeer smal doordat de beekdalflank steil oploopt. In de Urkhovense Zeggen, Ulvenhoutse bos en Dubbroek liggen de onderzoeksplots deels op de beekdalbodem. Deze plots ontwikkelen zich als gevolg van de vernatting meer richting Elzenbroekbos.

De seizoensfluctuatie in grondwaterstanden is gering: 50 tot 60 centimeter. In de winter stijgt het grondwater tot dicht aan maaiveld en in de zomer dalen de grondwaterstanden weinig door een constante aanvoer van grondwater (daling tot maximaal 80 cm -mv). De bodems zijn allemaal tot de eerdgronden te rekenen (beek-, woud- en leekeerdgronden). De humusvormen zijn vooral modertypen en enkel mulltypen wat duidt op een snelle strooiselomzetting door een actief bodemleven.

Boven in het bodemprofiel varieert de pH_{NaCl} van (2,99) 3,05 tot 5,57 en de basenverzadiging: (18) 42-99%. De laagste waarden zijn te vinden op locaties die (nog) verdroogd zijn (Koelbroek) of eigenlijk tot de droge bossen gerekend moeten worden (UB 01). De invloed van het basenrijke grondwater is tot hoog in het bodemprofiel merkbaar; de zuurgraad neemt naar beneden snel toe met (2 a 3,5 pH eenheid) tot waarden van 6 a 7 op circa één meter diepte.

Dekzandbossen

De onderzoekslocaties Groote Heide, Leenderbos, Weerterbos, Witte Veen en Lankheet liggen op (vochtige) dekzanden. Infiltratie is hier het dominante hydrologische proces.

Hier kunnen vochtige bossen ontstaan door aanwezigheid van slecht doorlatende lagen en hoge grondwaterstanden in slenken of op overgangen naar de beekdalen. Groote Heide en Leenderbos zijn het meest karakteristiek voor de dekzandbossen. Hier bevinden de onderzoeksplots zich in laagten, van voormalige vennen bovenop een dekzandrug (GH-B en GH-A) of in een dal van een bovenloopje aan de rand van een dekzandrug (GH-A, LB-A en LB-B). De grondwaterstanden komen in de winter tot aan maaiveld en zakken in de zomer tot bijna 150 cm-mv weg. Lankheet ligt eveneens op een dekzandrug aan het begin van een zijdal. De grondwaterstanden zakken hier minder diep weg (op de hoge delen 100 cm -mv) als gevolg van aanvoer van oppervlaktewater wat bovenstrooms van de proefvlakken vastgehouden wordt. Witte Veen en Weerterbos zijn gelegen op dunne dekzandpakketten boven stagnerende lagen. In Witte Veen betreft dit keileem

en in het Weerterbos kalkloze maasklei. Hier ontstaan schijngrondwaterspiegels die in de winterperiode tot aan of zelfs boven maaiveld kunnen stijgen. Dit is vooral in Witte Veen duidelijk te zien. In het Weerterbos komen de grondwaterstanden minder hoog door de sterke rabattering. In de zomer zakken de grondwaterstanden ongeveer 100 cm diep weg. De bodems zijn zuur; de pH-NaCl varieert van 2,66-3,44 en neemt naar beneden slechts weinig toe (zie pH-profielen Bijlage 4). Op 1,20 m is de bodem één tot anderhalve pH-eenheid minder zuur. Alleen in het Weerterbos lijkt de diepere bodem iets beter gebufferd (toename van twee pH eenheden). De basenverzadiging van de minerale bodem is zeer laag en varieert van 9 tot 46% met een uitschieter van 81% voor de hoge locatie in het Lankheet (LH-B). De bodems van de onderzocht proeflocatie bestaan voornamelijk uit veldpodzolen of vlakvaaggronden (die door vergraving uit veldpodzolen zijn ontstaan). Een paar locaties kennen een wat rijkere bodem: LH-1, WB-A en WB-B liggen op een Beekeerdgrond wat een aanwijzing is voor een natter en basenrijker verleden. De aangetroffen vegetatietypen zijn vochtige Berken-Eikenbossen en Beuken-Eikenbossen en een enkele keer Kussentjesmos-Dennenbos of Berkenbroekbos. In alle onderzochte bossen groeien soorten als Zwarte els, Hazelaar, Winterlinde en Echte guldenroede, wat aangeeft dat deze bossen beter gebufferd zijn dan vergelijkbare bossen zonder grondwaterinvloed en/of leem in de ondergrond.

Stagnatiebossen

Er zijn geen onderzoekslocaties die geheel tot de stagnatiebossen gerekend kunnen worden. Een drietal onderzoekslocaties vertonen wel duidelijke kenmerken hiervan. Zowel het Ulvenhoutse bos als het Weerterbos en Witte Veen zijn gelegen op sterk stagnerende bodems. Het Ulvenhoutse bos ligt in een bosgebied met bovenloopjes op kalkrijke lössafzettingen (Brabantse leem). Het gebied wordt mede gevoed door zijdelings toestromend grondwater en kent daardoor niet de sterke uitdroging die de stagnatiebossen kenmerken. De bodem en het grondwater van Witte Veen en Weerterbos zijn overwegend zuur en basenarm. Op basis daarvan moeten ze tot de dekzandbossen gerekend worden.

8.4.2 Typering van de onderzoekplots

Ten behoeve van de evaluatie is gezocht naar vochtige bossen die zijn verdroogd en waar vervolgens vernattingsmaatregelen zijn genomen. Per locatie is zo veel mogelijk gezocht naar een vernatte locatie en een referentielocatie waar geen vernatting heeft plaatsgevonden. De praktijk bleek echter weerbarstiger; een aantal variabelen vertroebelen een zuivere vergelijking. De belangrijkste zijn:

- De mate van vernatting varieerde sterk in de vernatte plots; in sommige plots bereikte het grondwater de wortelzone niet of nauwelijks, in andere plots vond langdurige inundatie plaats en was de standplaats te nat geworden voor vochtig bos;
- Op sommige locaties konden geen referentieplots worden uitgezet, bijvoorbeeld omdat er geen vergelijkbaar bos in de buurt was dat niet vernat was;
- Op andere locaties verschilde de bodem van de vernatte plot al in de uitgangssituatie van het referentieplot; vaak had de vernatte plot dan een bodem die rijker was aan basen, leem of klei.

Een directe vergelijking van een groep vernatte plots met een groep referentieplots was daardoor weinig zinvol. Er is daarom eerst meer in detail naar de eigenschappen van de onderzochte locaties gekeken.

Vernatting kan pas duidelijk effect hebben wanneer dit ertoe leidt dat grond- of oppervlaktewater tenminste gedurende enige tijd jaarlijks tot in de wortelzone reikt. Onafhankelijk van het feit of op een plek vernatting heeft plaatsgevonden kan dus een eerste tweedeling worden gemaakt tussen plots waarin de wortelzone jaarlijks bereikt wordt en plots waar dit niet het geval is. De "droge" plots kunnen vervolgens worden verdeeld in plots met een sterk verzuurde bodem en plots met een basenrijkere bodem. Dit onderscheid is ook bij het selecteren van de plots al gemaakt; dit is het verschil tussen vochtige beekdalbossen (met een klei- of leemfractie) en vochtige heide-ontginningen op leemarme zandgrond. De grens tussen beide typen blijkt te liggen bij een pH van 3,5 in de humeuze toplaag (in een zoutextract) en een basenverzadiging van 70% in de minerale laag daar direct onder. Voor "natte" plots zijn de verzuurde zandbodems in twee typen gesplitst. Namelijk de verzuurde bodems die weer vernat zijn met basenrijk water en verzuurde bodems die vernat worden met basenarm water. De basenrijkdom is op de meeste plekken niet direct gemeten, maar afgeleid uit omgevingsfactoren en uit het pH-profiel. Op deze wijze zijn 5 typen plots onderscheiden (Tabel 8.6).

Tabel 8.6: Indeling van de onderzochte locaties in vijf groepen, op basis van het bodemtype en mate en aard van vernatting in de wortelzone.

Table 8.6: Classification of the study sites in five groups, based on the soil type and extent and nature of waterlogging in the root zone.

Grondwater in de wortelzone			Grondwater niet in de wortelzone	
Basenrijke bodem pH-NaCl mineraal > 3,4	Zure bodem Basenrijk grondwater	Zure bodem Zuur grondwater	(matig) Basenrijke bodem pH-NaCl mineraal > 3,4	Zure bodem
UB-A UZ-B2 DB-A UZ-A	LH-1 LH-2 UB-A1 UZ-01	GH-A GH-B GH-C WV-A WB-A LB-A	DB-B UZ-02	GH-01 GH-02 GH-03 GH-04 LB-B LB-0 UB-01 UB-02 WB-0 WV-B

De plots met een basenrijke bodem zijn te vinden in het Ulvenhoutse bos (UB), de Urkhovense Zegge (UZ) en het Dubbroek (DB). In deze gebieden zijn 5 plots waar door vernatting de wortelzone weer wordt bereikt, en twee plots waar dit niet het geval is. De plots waar de toplaag zuur was, liggen in de heide-ontginningen: Leenderbos (LB), Grootte heide (GH) en Witte Veen (WV). Maar er zijn ook verzuurde bodems aan de hoge rand van de Urkhovense zegge en het Ulvenhoutse bos. Ook de plots op Lankheet (LH) waren voor de vernatting verzuurd in de toplaag. De plots van het Koelbroek zijn niet opgenomen in de indeling. Deze wijken sterk af doordat hier een veenbodem mineraliseert als gevolg van sterke drooglegging. De waterstand is hier weliswaar weer gestegen, maar niet voldoende om voortgaande veenafbraak in de toplaag tegen te gaan. Het gaat hier in feite om een voormalig broekbos, waar de drooglegging ten dele ongedaan gemaakt is. Door de veenafbraak is de beschikbaarheid van stikstof hier extreem hoog, wat zich onder andere vertaalt in ontwikkeling van bramenstruwelen en afwezigheid van voor vochtige bossen kenmerkende plantensoorten en mycorrhiza-paddenstoelen.

8.5 Maatregelen en hun effecten

8.5.1 Uitgevoerde maatregelen en effecten op de grondwaterstanden

In de onderzochte locaties zijn verschillende maatregelen aan bod gekomen. Deze variëren in intensiteit van rigoureuus dempen van de hoofdontwatering tot een geleidelijke vernatting door staken van het onderhoud van het ont- en afwateringsstelsel. Omdat uitsluitend locaties onderzocht zijn waar de maatregelen tot een duidelijke vernatting geleid hebben zijn over de effectiviteit van de afzonderlijke maatregelen geen eenduidige conclusies te trekken. Locaties waar vergelijkbare maatregelen genomen zijn maar die niet tot zichtbare vernatting geleid hebben zijn niet in dit onderzoek betrokken. Ook is niet gekeken naar de effecten op de waterkwaliteit. Een verhoging van de grondwaterstand hoeft niet gelijk op te gaan met een stijging van het basenrijk grondwater.

Tabel 8.7: Overzicht van de uitgevoerde maatregelen per onderzoekslocaties en het effect van de maatregelen op de grondwaterstand. Betekenis van de symbolen: GLG effect op de laagste grondwaterstanden, GHG idem hoogste grondwaterstanden, +20 stijging van 20 cm, + stijging van grondwaterstand maar onbekend hoeveel, ? effecten onduidelijk.

Table 8.7: Summary of actions in the study sites and the impact of the actions on groundwaterlevel.

Dekzandbossen		
Onderzoekslocatie	Maatregel	Effect groundwater
Groote Heide	Dempen detailontwatering	GLG ?, GHG +
LeenderHeide	Stuwen hoofdontwatering (sloot)	GLG/GHG +20 cm
	Afdammen detailontwatering	?
	Verwijderen bos (inzijgebied)	?
Witte Veen	Dempen hoofdontwatering (sloot)	GLG +20 a 30 cm
Weerterbos	Afdammen detailontwatering	GLG +50 cm
	Afdammen hoofdontwatering (sloot)	?
Lankheet	Aanvoer oppervlaktewater	GLG +30 a 50 cm
	Verondiepen hoofdontwatering (afvoer)	
	Dempen detailontwatering (bovenstrooms)	
	Plaggen	nvt
	Inbrengen bossoorten (bosanemoon)	nvt
Beekdalbossen		
Koelbroek	Opstuwen hoofdontwatering (beek)	GLG/GHG +40 cm
Dubbroek	Opstuwen hoofdontwatering (beek)	GLG/GHG +20 cm
	Omvormen populierenbos	nvt
Ulvenhoutse bos	Opstuwen hoofdontwatering (beek)	GLG/GHG +20 a 30 cm
	Afdammen hoofdontwatering (sloot)	
Urkhovense Zeggen	Verondiepen hoofdontwatering (sloot)	GLG +, GHG ?
	Dempen detailontwatering	GLG ?, GHG +

Een overzicht van de uitgevoerde maatregelen in de onderzochte locaties is weergegeven in Tabel 8.7. Hier kunnen de volgende opmerking bij geplaatst worden.

Dekzandbossen

Opvallend is de sterke stijging (+ 50 cm, omstreeks 1997) van de grondwaterstanden in het Weerterbos. De maatregelen die hieraan ten grondslag liggen zijn echter niet gedocumenteerd. Sinds 1990 wordt geprobeerd het gebied te vernatten door detailontwatering niet meer te onderhouden, maar dit kan niet de plotselinge verhoging verklaren. Er zijn op verschillende plaatsen ook dammen aangetroffen die wijzen op een actievere aanpak. Mogelijk heeft de stagnerende bodem bijgedragen aan de effectiviteit van de maatregelen. Eveneens effectief is de aanpak op Lankheet gebleken. Hier wordt door de ingrepen niet alleen het water vertraagd afgevoerd maar wordt ook water aangevoerd die in het inzijgebied wordt vastgehouden. De grondwaterstanden zijn sterk gestegen, in de hogere delen is de GLG zelfs sterker gestegen dan in de lagere delen. In Witte Veen is een (gegraven) hoofdwaterloop gedempt. Zowel de GLG als de GHG is hier met ongeveer 30 centimeter gestegen. Ondanks de nogal rigoureuze ingreep zijn er geen negatieve effecten. Grondwater stijgt tot aan maaiveld en kan vervolgens over maaiveld wegstromen. Er treedt geen langdurige stagnatie op. Ook in het Leenderbos zijn de grondwaterstanden met 20 à 30 centimeter gestegen maar dit is vooral een lokaal effect. Er is vernat door het plaatsen van een stuw in een hoofdwaterloop. In de nabijheid van de stuw is het effect het grootst en ebt stroomopwaarts weg. Opgemerkt moet worden dat de maatregel hier een eerste stap is in het vernattingsproces. Met het aanbrengen van meerdere dammen en geleidelijke bodemverhogingen zal dit proces voortgezet worden en krijgen bosopstanden maar ook in het gebied aanwezig kwetsbare populaties van bijvoorbeeld Gentiaanblauwtje (*Phengaris alcon*) de kans om zich aan de vernatting aan te passen. Het dempen van detailontwateringen op de Groote Heide hebben een duidelijk, maar lokaal, effect op de GHG die tot aan maaiveld stijgt. Van de GLG ter plaatse zijn geen meetgegevens. Eerder onderzoek op de Groote Heide (Hanhart e.a., 2007) heeft aangetoond dat de zomergrondwaterstanden ondanks lokale maatregelen dalen tot het niveau van de bodemhoogte van de hoofdwaterloop. Deze moet nog verondiept en op termijn gedempt worden. De hoofdwaterloop heeft nog een functie voor afwatering van landbouwgronden. Om het proces van vernatting geleidelijk te laten verlopen zijn eerst de detailontwateringen gedempt om vervolgens de hoofdontwatering aan te pakken (van boven naar beneden werken).

Beekdalbossen

In Koelbroek en Dubbroek heeft opstuwen van de hoofdwatgangen (resp. de Everlose- en de Springenbeek) tot een verhoging van de waterstanden in het beekdal geleid. Door de diepe ontwatering van de beide maasmeanders heeft de vernatting nog onvoldoende effect op de grondwaterstanden van de vochtige bossen die hoger op de flank liggen, terwijl in de laagst gelegen delen broekbossen "verzuipen". Door de diepe ontwatering en daling van de veenbodem zijn de broekbossen lager in het beekdal komen te liggen. Bij vernatting beginnen de laagstgelegen delen dood te gaan terwijl voor de hoger gelegen vochtige bossen nog onvoldoende grondwaterstandverhoging bereikt wordt. Er zou eveneens bekeken moeten worden of het mogelijk is om op en boven de beekdalflank sloten te dempen om lateraal toestromend grondwater hoger op de gradiënt uit te laten treden. In de Urkhoven Zeggen hebben de maatregelen, verondiepen van een hoofdsloot en dempen van de detailontwatering tot een herstel van het voor beekdalen kenmerkende grondwaterregime geleid. Voor de deels op de beekdalbodem ontwikkelde vochtige bossen (door verdroging) is het echter te nat geworden. Hier moet bij vernatting rekening gehouden worden dat soorten van vochtige bossen de tijd krijgen om zich te verplaatsen (of verplaatst worden). Ook in het Ulvenhoutse bos hebben voorzichtig uitgevoerde maatregelen (afdammen van sloten) een geringe verhoging van grondwaterstanden tot gevolg met een groot effect op de vegetatie. In de laagste delen zijn opstanden geheel afgestorven en het bos van de onderzoekszoeksplot ontwikkeld zich van een vochtig bos naar een nat bos. Een iets ander aanpak, bijvoorbeeld verondiepen van sloten in combinatie met dempen of afdammen van bovenloopjes zou beter zijn.

Conclusie

De effectiviteit van hydrologische maatregelen is afhankelijk van de bodemopbouw en de landschappelijke positie. In vlakke gebieden kunnen maatregelen een groter effect hebben dan in (licht) hellende terreinen. Hetzelfde geldt voor kwelgebieden en gebieden met stagnerende bodems. In dit soort gebieden dient voorzichtig met vernatting omgegaan te worden, vooral als er bijzondere natuurwaarden aanwezig zijn. In inzig- en reliëfrijke gebieden kunnen grotere stappen worden genomen. Hier heeft het afdammen of plaatsen van stuwtejes en dempen van detailontwateringen vooral een lokaal effect. Naast maatregelen om ont- en afwatering tegen te gaan is het ook belangrijk om in het inziggebied/hoger op de gradiënt maatregelen nemen. Hierdoor wordt de toestroming van grondwater bevorderd.



Figuur 8.3: Humusvormen met links een Beekhydromull (Dubbroek) met snelle humusvertering door een actieve bodemfauna (o.a. wormen). Het humusprofiel is mineraal en heeft bovenin een karakteristieke kruimige structuur. Rechts een Mormoder met stapeling van slecht omzetbaar strooisel (Weerterbos). De scherpe overgang naar de minerale bovengrond is karakteristiek voor deze zure humusvormen. De vertering verloopt voor een groot deel via schimmels. Het middenprofiel is een intermediair profiel; een humusmoder (Koelbroek) waarin de organische stof door o.a. potwormen en springstaarten wordt verteerd. Deze humusvorm bestaat uit een korrelige ectorganische laag die geleidelijk overgaat naar de minerale bovengrond.

Figure 8.3: Humus forms, left Beekhydromull (Dubbroek) with rapid decomposition by an active humus soil fauna (e.g. worms). The humus has a largely mineral composition with a top layer with a crumbly texture. On the right a Mormoder with accumulation of poorly decomposed litter (Weerterbos). The sharp transition to the mineral topsoil is characteristic of this acidic humus forms. Decomposition proceeds largely by fungi. The middle profile is an intermediate humus form; a moder humus (Koelbroek) in which the organic matter is consumed by potworms, mites and springtails. This humus form contains a granular ectorganic layer in gradual transition to the mineral topsoil.

De beschouwde maatregelen betreffen hoofdzakelijk interne maatregelen. Over het algemeen worden aan externe maatregelen een grotere waarde gehecht omdat deze leiden tot verhoging van de regionale grondwaterstanden. Uit het bovenstaande mag blijken dat ook interne maatregelen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan herstel van vochtige bossen. Waar externe maatregelen (nog) niet mogelijk zijn kunnen interne maatregelen vaak al wel uitgevoerd worden waarmee invulling gegeven wordt aan een gefaseerde uitvoering.

8.5.2 Effecten op standplaatscondities (bodem, humus) en vegetatie

Alleen van Lankheet is vergelijkingsmateriaal van de bodem en vegetatie voorhanden van de periode voor en na de vernatting. De humusvorm (*boshydromoder*) kenmerkt zich door de aanwezigheid van een goed omgezette, sterk moderachtige ectorganische laag. Een vergelijking van het humusprofiel met de situatie in 2005 en 2006 wijst op een toename van de activiteit van de kleine bodemfauna (springstaarten, potwormen e.d.) door een verbetering van de basentoestand en vochttoestand in de bovengrond (Hommel et al., 2008; 2013). In het hogere deel lijkt dit proces zich recenter ingezet te hebben dan in het lagere deel. Dit komt mogelijk doordat de uitgangssituatie minder gunstig geweest is omdat door de hogere ligging de bodem

sterker verzuurd was. De vegetatie van beide plots is tot de vochtige Berken-Eikenbossen te rekenen. De verandering in soortensamenstelling (toename van Dalkruid, Gewone salomonszegel (*Polygonatum multiflorum*), Bitterzoet (*Solanum dulcamara*) en Echte valeriaan (*Valeriana officinalis*) wijst op een ontwikkeling naar Beuken-Eikenbos en lokaal Elzenbroekbos door een verbeterde vocht- en basenvoorziening.

Humusvormen en vegetatie van zure bodems

De humusvormen van de onderzoeksplots van de zure, droge bodems behoren allemaal tot de mormoders (zie Tabel 8.8). Vertering verloopt hier uiterst traag en er vindt een sterke stapeling plaats van ruwe humus. Op de zure bodems waarbij grondwater tot in de wortelzone komt zijn de humusvormen eveneens tot mormoders te rekenen, maar in tegenstelling tot de droge plots treedt er vermodering op (ontwikkeling naar een humusmoder respectievelijk bosmoder). Dit wijst op een toegenomen bodemactiviteit van kleine bodemfauna als gevolg van een verbeterde vochttoestand en basenvoorziening (zie Figuur 8.3). Op locaties die al langer vernat zijn (Witte Veen A) of vernat zijn met (matig) basenrijk grondwater (Lankheet en Urkhovense Zeggen 01) zijn echte moder-humusvormen ontstaan.

De verschillen in samenstelling van de vegetatie tussen de bossen met en zonder grondwater in de wortelzone wijzen vooral op een betere vochtvoorziening, maar niet in een betere basenvoorziening. Bossen met grondwaterinvloed behoren bijna allemaal tot de vochtige Berken-Eikenbossen (subass. van Pijpenstrootje), terwijl de drogere bossen tot verschillende drogere typen behoren (subass. van Bochtige smele, - Bosbes en - Adelaarsvaren). Dit verschil blijkt vooral veroorzaakt te worden door het hoger aandeel Zachte berk en Pijpenstrootje in bossen met grondwaterinvloed. Dit zijn zuurtolerante soorten die alom aanwezig zijn en zich snel kunnen vestigen of uitbreiden als de vochttoestand verbeterd. Sporadisch zijn soorten aangetroffen die wijzen op een betere basenvoorziening (Dubbelloof (*Blechnum spicant*), Thujamos (*Thuidium tamariscinum*), Zwarte els, Hazelaar, Echte guldenroede (*Solidago virgaurea*) en Vingerhoedskruid (*Digitalis purpurea*)).

Tabel 8.8: Humusvorm en vegetatietype van de onderzoeksplots.

Table 8.8: Humus form and vegetation type of the study plots.

Zure bodem, geen grondwater in de wortelzone		
GH-01	Mormoder	Kussentjesmos-dennenbos subass van Bochtige smele
GH-02	Mormoder	DG van Amerikaanse eik [<i>Quercion</i>]
GH-03	Mormoder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
LB-B	Mormoder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
LB-0	Mormoder	RG Zomereik Groot laddermos/Fijn snavelmos
UB-01	Mormoder	Beuken-Eikenbos typische subass
WB-B	Mormoder	Berken-Eikenbos subass van Bosbes
WV-A	Mormoder	Berken-Eikenbos subass van Adelaarsvaren
Zure bodem, zuur grondwater in de wortelzone		
GH-A	Mormoder/moder	Kussentjesmos-dennenbos subass van Bochtige smele
GH-B	Mormoder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
GH-C	Mormoder/moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
WV-A	Moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
WB-A	Mormoder/moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
LB-A	Mormoder/moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
Zure bodem, (matig) basenrijk grondwater in de wortelzone		
LH-1	Moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
LH-2	Mormoder/moder	Berken-Eikenbos subass van Pijpenstrootje
UZ-01	Moder	Elzenzegge-Elzenbroek subass van Framboos
(Matig) basenrijke bodem, geen grondwater in de wortelzone		
DB-B	Mull	RG Gewone braam [<i>Quercio-Fagetae</i>]
UZ-02	Moder/mull	RG Gewone braam [<i>Quercio-Fagetae</i>]
KB-1	Moder	RG Gewone braam [<i>Quercio-Fagetae</i>]
KB-2	Mormoder/moder	RG Gewone braam [<i>Quercio-Fagetae</i>]
(Matig) basenrijke bodem, grondwater in de wortelzone		
UB-A	Moder	Vogelkers-Essenbos
UZ-B1	Moder	Vogelkers-Essenbos
UZ-B2	Mull	Vogelkers-Essenbos
DB-A	Moder	Elzenzegge-Elzenbroek
UZ-A	Moder	RG Grote brandnetel [<i>Alnion</i>]

Humusvormen en vegetatie op (matig) basenrijke bodems

Er is weinig verschil in humusvormen tussen droge en vochtige standplaatsen. Op alle onderzochte locaties wijst de humusvorm op een snelle strooiselomzetting. Op de droge standplaatsen lijkt deze zelfs nog beter (meer mull-humusvormen) dan op de nattere standplaatsen (voornamelijk moders). Dit heeft mogelijk te maken met de gunstiger zuurstofhuishouding van de drogere standplaatsen. De bossen waarbij na vernatting grondwater weer in de wortelzone komt zijn nu grotendeels tot de Vogelkers-Essenbossen te rekenen. Uitzondering hierop vormen DB-A waar zich Elzenbroekbos ontwikkelt en UZ-A waar Grote brandnetel domineert als gevolg van de vermistende invloed van populieren die hier gestaan hebben.

De vochtige bossen van de basenrijke standplaatsen Dubbroek, Koelbroek, Urkhovense Zeggen en Ulvenhoutse bos bevinden zich deels op locaties van voormalige broekbossen. De humusprofielen met veraarde veenresten en gemineraliseerde moerige profielen duiden daarop. Onder invloed van een in een ver verleden ingezette verdroging heeft een deel van de bossen zich ontwikkeld tot goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen. Van andere bossen is de ontwikkeling meer richting een door Gewone braam en Grote brandnetel gedomineerde Ruigt-Elzenbroekbos gegaan. Dit verschil lijkt bepaald te worden door de mate waarin een bos verdroogd is. Bij een geringe verdroging kan na een relatief korte periode uit een verruigde situatie Vogelkers-Essenbos ontwikkelen.

Conclusies

Op zure bodems treedt een verbetering op van de strooiselomzetting van mormoders naar moders) door een verbeterde vochtvoorziening en basenvoorziening. Plantensoorten van vochtige zure bossen weten hier vrij snel op te reageren. Plantensoorten die minder zuurtolerant zijn profiteren minder snel. Waarschijnlijk omdat de bronpopulaties hiervan ontbreken.

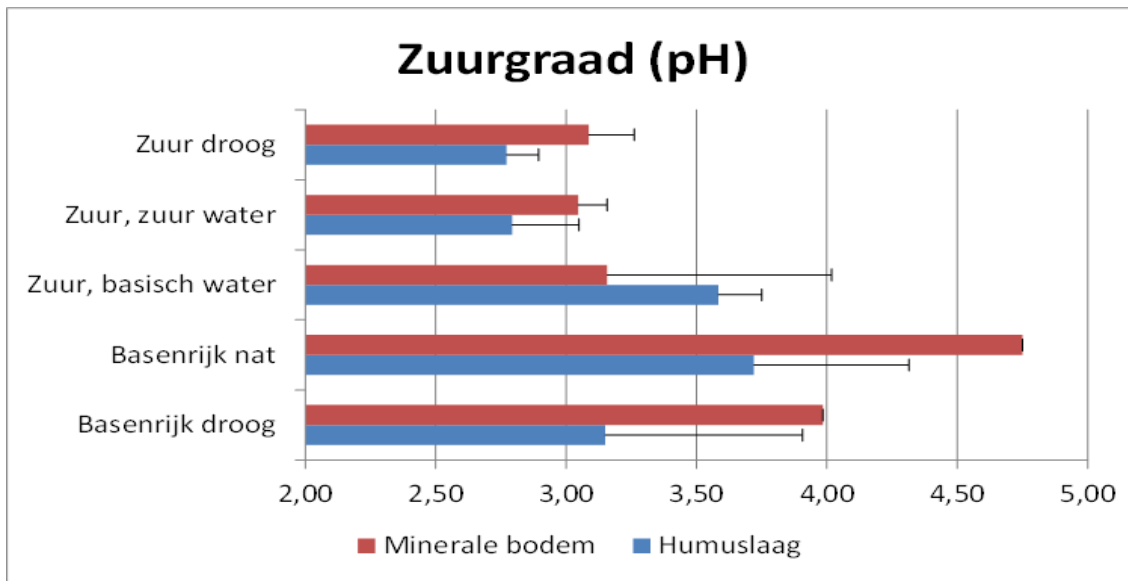
In bossen op basenrijkere locaties zijn de ontwikkelingen minder duidelijk. Er zijn vrij weinig onderzoeksplots en een deel van de plots ligt op van oorsprong natte groeiplaatsen. Daar vindt herstel naar Elzenbroekbos plaats. Het lijkt erop dat de vegetatie goed reageert: bossen waar grondwater (weer) tot in de wortelzone komt worden gekenmerkt door goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen en Elzenzegge-Elzenbroeken. De droge of verdroogde situaties bestaan uit Rompgemeenschappen van Gewone braam.

In de Urkhovense Zeggen en Ulvenhoutse bos zijn de bossamenstelling en humusprofielen karakteristiek voor Vogelkers-Essenbossen. De actuele grondwaterstand is echter die van een Elzenbroekbos. Vernatting leidt hier tot ontwikkeling naar een nat bostype waardoor soorten van het Vogelkers-Essenbos dreigen te verdwijnen.

Effecten op bodemchemie

In verreweg de meeste plots was een sterk humeuze toplaag van enkele centimeters tot ruim een decimeter aanwezig op een duidelijk meer minerale ondergrond. Opvallend is het verschil in pH en basenverzadiging tussen beide lagen. De humeuze toplaag in plots waar het waterpeil niet in de toplaag reikt kende altijd een basenverzadiging van 65% of meer, terwijl in de minerale onderlaag de basenverzadiging van de bodems in de pure zandbodems tussen 10 en 40% lag. Met het strooisel worden dus in alle bostypen veel kationen aangevoerd. De zuurgraad laat een omgekeerd beeld zien (Figuur 8.4).

Op de pure zandbodems ligt de pH van de zoutextracten van de toplaag tussen pH 2,6 en pH 3,1. De minerale bodem hier direct onder heeft een zuurgraad van pH 2,9 tot pH 3,3. Waarschijnlijk worden in de humuslaag de meeste zuren geproduceerd, bijvoorbeeld door de omzetting van ammonium naar nitraat.



Figuur 8.4: Zuurgraad van de humeuze toplaag en de minerale bodem hier direct onder in de vijf typen plots die zijn onderscheiden (zie Tabel 8.9). Weergegeven is gemiddelde en standaarddeviatie per type plot.

Figure 8.4: Acidity of humic top layer and the mineral soil directly below in the five groups of plots that have been identified (see Table 8.9). Shown is mean and standard deviation for each type plot.

Een vergelijking tussen de plots

De 12 zure, sterk zandige bosbodems waar geen invloed van grond- of oppervlaktewater tot in de toplaag reikt kennen gemiddeld een pH van 2,8 in de humeuze toplaag en 3,1 in de minerale laag (figuur 4.2, aantallen plots zie tabel 8.9). In de 16 plots waar zuur grondwater wel de toplaag bereikt, is er geen verschil waarneembaar in pH. In de 4 plots waar kalkhoudend water tot in de toplaag reikt, is wel een pH verschil aanwezig. De humeuze toplaag heeft een pH van gemiddeld 3,6. Basenrijkere (beekdal-)bodems kennen zowel in de humeuze als in de minerale laag een duidelijk hogere pH dan de zure zandbodems.

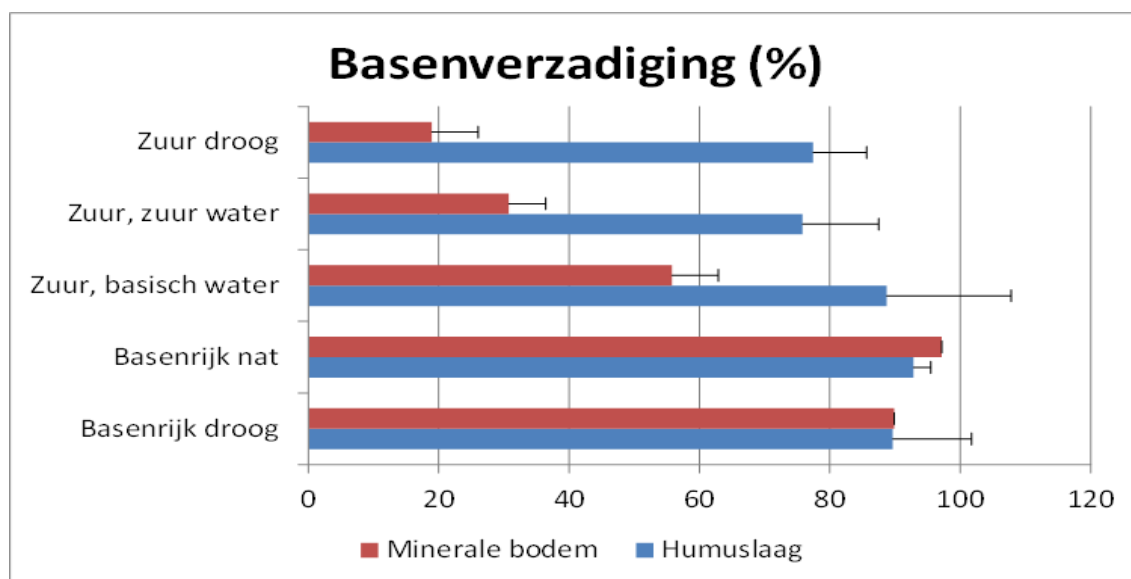
De basenverzadiging in de humeuze toplaag van plots op zure zandbodem is gemiddeld 77%, terwijl dat in de onderlaag slechts 19% is (Figuur 8.5). De extreem lage pH in de humeuze toplaag (2,8) en de extreem lage basenverzadiging en hiermee gepaard gaande ongunstige aluminium-calcium ratio maken dat alleen sterk zuurtolerante soorten op dergelijke bodems kunnen overleven. In de plots met invloed van zuur grondwater is de basenverzadiging van de minerale laag 31%, dus gemiddeld duidelijk hoger. Er is geen verschil in basenverzadiging in de humeuze toplaag. Daar waar sprake is van invloed van kalkhoudend water, is de basenverzadiging zowel in de humeuze als in de minerale laag heel duidelijk hoger. Dat geldt ook voor de plots op basenrijkere bodem. De data suggereren dat invloed van grond- of oppervlaktewater allereerst leidt tot basenaanvulling in de extreem uitgeoogde toplaag van de minerale bodem.

Tabel 8.9: Enkele belangrijke bodemparameters in de humeuze en minerale toplaag van de bodem in de 5 plottypen. Org stof = gehalte organisch materiaal. Min-N = mineraal stikstof ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$).

Table 8.9: Some important soil parameters in the humus and mineral toplayer of the soil in the five plot groupes. Org stof = content of organic material. Min-N = mineral nitrogen ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$).

Plottype	Laag	Aantal plots	Org stof (%)	pH NaCl	NO_3	NH_4	Min.-N	K	PO_4	Basenverzadiging (%)
Basenrijk droog	Humus	1	73	3,15	6	1314	1320	807	20	90
Basenrijk nat	Humus	1	30	3,72	97	716	813	336	2	93
Zuur, basisch water	Humus	4	57	3,58	344	958	1302	1036	110	89
Zuur, zuur water	Humus	16	68	2,79	81	987	1069	693	51	76
Zuur droog	Humus	11	68	2,77	158	912	1069	869	67	77
Basenrijk droog	Mineraal	2	15	3,99	645	124	768	424	2	90
Basenrijk nat	Mineraal	4	11	4,75	237	104	341	300	1	97
Zuur, basisch water	Mineraal	4	14	3,16	133	210	343	482	3	56
Zuur, zuur water	Mineraal	16	10	3,05	69	188	258	374	7	31
Zuur	Mineraal	12	6	3,09	104	198	302	333	4	19

Het grootste deel van de stikstofvoorraad in de bosbodem is aanwezig in de sterk organische toplaag (Tabel 8.9). Per liter bodem is hier ongeveer 5x meer mineraal stikstof extraheerbaar. Wel is in de minerale bodems naar verhouding meer nitraat aanwezig ten opzichte van ammonium. In de humeuze toplaag is ammonium altijd de dominante vorm van mineraal stikstof. Er is geen duidelijk verschil aanwezig tussen de natte en de droge plots. Dit geldt zowel voor de ammonium/nitraat verhouding als voor de totale hoeveelheid mineraal stikstof.



Figuur 8.5: Basenverzadiging van de humeuze toplaag en de minerale bodem hier direct onder in de vijf typen plots die zijn onderscheiden (zie tabel 8.9). Weergegeven is gemiddelde en standaarddeviatie per type plot.

Figure 8.5: Base saturation of the top humus layer and mineral soil directly below in the five groups of plots that have been identified (see Table 8.9). Shown is mean and standard deviation for each plotgroup.

Met deze beperkte evaluatie zijn dus geen duidelijke aanwijzingen gevonden voor nitraatmobilisatie als gevolg van vochtiger en/of basenrijkere condities, maar ook geen aanwijzingen voor versterkte afvoer van stikstof als gevolg van de nattere condities. Toch zijn er wel enkele aanwijzingen voor een versnelde omzetting van ammonium in nitraat en vervolgens nitraatverliezen naar lucht of grondwater. Het plot WV-A en het natste deel van LH-2 zijn de locaties waar verzuurde bodem het sterkst vernat is. In vergelijking met de minder natte plots WV-B respectievelijk LH-1 en de drogere delen van LH-2, is de beschikbaarheid van mineraal stikstof hier met zo'n 50% gedaald, maar is naar verhouding meer nitraat aanwezig. Hier kan dus mogelijk nitrificatie en vervolgens nitraatuitspoeling of omzetting in gasvormig stikstof plaats te vinden.

De beschikbaarheid van kalium vertoont geen duidelijke verschillen tussen de verschillende plottypen. Ook voor kalium geldt dat een groot deel van het beschikbare kalium in de humeuze toplaag aanwezig is. Dit geldt ook voor het beschikbare fosfaat (tabel 8.9). Wel opvallend is dat de beschikbaarheid van fosfaat op basische bodems gemiddeld lager is. Dit effect is extra sterk op natte, basische bodem. Dit is een aanwijzing dat fosfaat dus wordt vastgelegd aan calcium en/of ijzer. Op zure bodems lijkt er geen verband te zijn tussen de vochttoestand van de humeuze toplaag en de beschikbaarheid van fosfaat. De beschikbaarheid is altijd hoog en vermoedelijk niet limiterend voor de plantengroei. Ter vergelijking; in soortenrijkere graslanden is de beschikbaarheid van orthofosfaat in zoutextracten meest tussen 0 en 10 micromol per liter. Beschikbaar fosfaat is met name aanwezig in de humuslaag; het verschil tussen de minerale en humeuze bodem is groot. In de humuslaag komt veel fosfaat vrij door mineralisatie en zijn er weinig mogelijkheden tot binding aan calcium of ijzer. In de minerale bodem komt juist weinig fosfaat vrij uit organisch materiaal en wordt fosfaat met name aan kalk- en/of ijzerhoudende bodems goed gebonden. Aanwezigheid van humuslagen en aanvoer van basen en ijzer met grondwater hebben dus grote invloed op de fosfaatbeschikbaarheid.

8.5.3 Bodemfauna

In het preadvies wordt de fauna zoveel mogelijk behandeld met een functionele ecologische benadering. Om relaties te kunnen leggen tussen de bodem-, humus- en vegetatiesamenstelling enerzijds en de fauna anderzijds wordt de samenstelling van de fauna en de voor fauna relevante terreincondities vastgelegd op een selectie van de locaties waar de bodemmonsters worden genomen en de bodem, vegetatie en mycoflora zijn beschreven.

Analyse van fauna uit strooiselmonsters

In september 2013 zijn monsters van het strooisel genomen op totaal 20 locaties in Dubbroek, Koelbroek, Weerterbos, Witteveen, Ulvenhoutse bos, Lankheet en Groote Heide. De locaties komen overeen met de locaties waar ook de gegevens voor de andere onderdelen van deze evaluatie zijn verzameld zijn. De monsterlocaties zijn zo geselecteerd dat er binnen elk gebied tenminste 1 vernatte locatie en 1 niet vernatte controle locatie was en totaal 10 vernatte en 10 controle locaties zijn onderzocht.

Strooisel van meerdere plekken binnen de onderzoekslocatie werd gemengd. Het monster werd in het laboratorium in een Berlesetrichter gedurende tenminste één week onder een warme lamp geplaatst. De fauna die uit het strooisel door de trechter viel, werd verzameld, geconserveerd en op hoofdgroep (vaak ordeniveau) gedetermineerd. Het drooggewicht van de monsters werd bepaald en de aantallen dieren per monster werden gecorrigeerd voor het drooggewicht.

Quick-scan slakkenfauna

Door het verhogen van de grondwaterstand, kunnen ook bufferende kationen aangevoerd worden. Een indicatorgroep voor dergelijke veranderingen in het ecosysteem zijn landslakken. Veel soorten zijn in verschillende gradaties vochtbehoefstig. Hierdoor is er een gradiënt in het voorkomen van verschillende slakkensoorten binnen een vochtgradiënt.

Een verhoging van de pH en calciumbeschikbaarheid in het bosecosysteem kan onder meer vastgesteld worden aan de hand van het voorkomen van huisjesslakken, die vaak sterk reageren op herstelmaatregelen (Pabian et al., 2012). Onder te zure omstandigheden kunnen huisjesslakken geen huisje opbouwen, omdat de kalkbeschikbaarheid te laag is of het huisje onder invloed van het zuur zou oplossen. De huisjesslakken spelen een belangrijke rol in het ecosysteem als kalkleveranciers voor vogels gedurende de eilegperiode (Graveland et al., 1994; Pabian et al., 2012). Ook worden slakken door vogels (en andere dieren) gegeten als eiwit- en energiebron. Met behulp van een quick-scan van de slakkenfauna op 26 onderzoekslocaties zijn de gebieden gekarakteriseerd wat betreft de vocht- en bufferstatus. Tweeëntwintig locaties zijn onderzocht in het kader van dit project. Dit zijn de 20 locaties waar ook strooiselmonsters zijn genomen en twee locaties in het Smalenbroek. Daarnaast zijn vier locaties door studenten van de cursus Biodiversiteit van de Radboud Universiteit Nijmegen onderzocht. Per locatie is gedurende 10 minuten gezocht naar alle landslakken, zowel naaktslakken als huisjesslakken. Hierbij is gezocht op

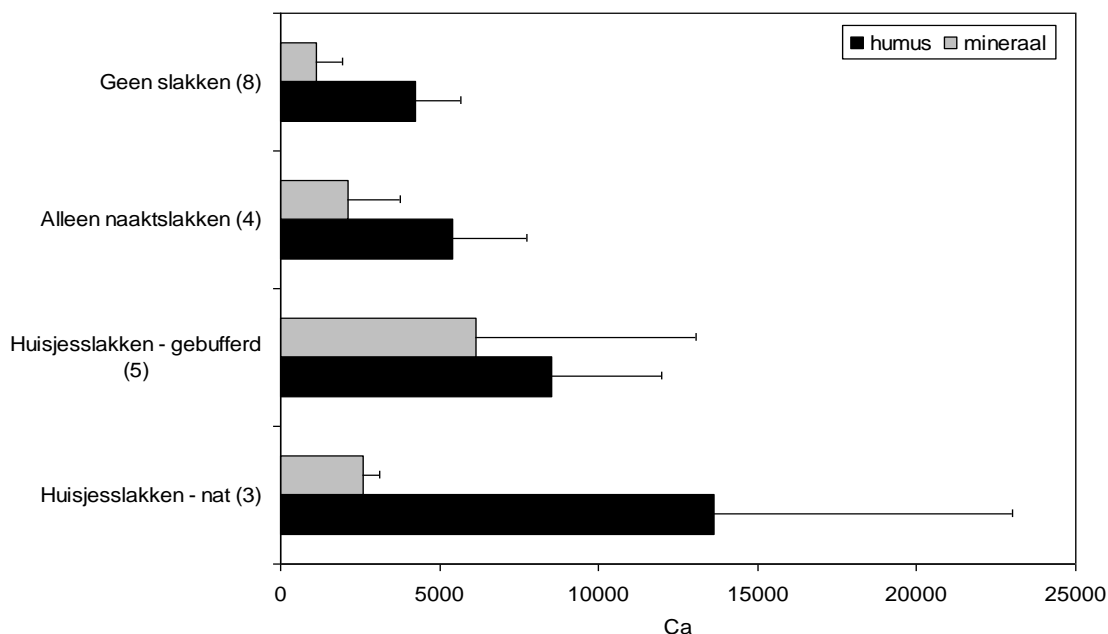
en onder liggend dood hout, op de kruidachtige vegetatie en op boomstammen. Enkele slakkensoorten zijn op voor hen geschikte locaties zo talrijk, dat als er op het moment van monsternamen binnen 10 minuten geen enkele slak wordt gevonden, het aannemelijk is dat ze ook niet aanwezig zijn, of met een zeer geringe dichtheid. Er is geprobeerd zoveel mogelijk verschillende slakkensoorten te verzamelen en dus niet alle gevonden exemplaren van een zelfde slakkensoort te verzamelen. De analyse van de gegevens is dus gebaseerd op aan- of afwezigheid en niet op de aantallen verzamelde dieren. De slakken zijn in het veld geconserveerd in alcohol. Het materiaal is gedetermineerd met behulp van Warmoes & Devriese (1987). Ecologische gegevens over de slakken werden betrokken van de website www.animalbase.uni-goettingen.de (Tabel 8.2). Naaktslakken werden niet tot op soort gedetermineerd. Dit moet aan levende dieren gebeuren, omdat veel kenmerken aan geconserveerde naaktslakken niet meer te zien zijn. Huisjesslakken zijn te determineren aan de hand van hun huisje. Voor de ecologische karakterisering van de gebieden is gebruik gemaakt van indicatorsoorten, met name Vale regenslak, die alleen voorkomt in situaties met een relatief sterke zuurbuffering, en Gewone barnsteenslak, die alleen voorkomt in jaarrond zeer vochtige tot natte omstandigheden. Deze aanpak heeft de voorkeur boven een levensgemeenschap analyse, omdat er in het bos heel veel verschillende leefmilieus zijn, die onderling ook al sterk verschillen in vochthuishouding en blootstelling aan zuren (denk bijvoorbeeld aan een slakje in de strooisellaag of een slakje dat leeft op boomstammen).

8.5.4 Effecten op (bodem)fauna

Landslakken

Locaties waar geen slakken werden gevonden of waar alleen naaktslakken werden aangetroffen (Tabel 8.10), zijn te zuur voor huisjesslakken of kennen een heel lage mineralenbeschikbaarheid. Deze gebieden (met 'z' in Tabel 8.10) zijn te karakteriseren als bossen met een zure bodem, die ofwel droog zijn ofwel vochtig met zuur water in de wortelzone. Gebieden zonder slakken of met uitsluitend naaktslakken kunnen ook in het verleden sterk verzuurd geweest zijn, waardoor de huisjesslakken zijn verdwenen. Als slakken volledig uit een gebied zijn verdwenen en als er geen bronpopulatie in de nabije omgeving is, kan de responstijd na herstelmaatregelen lang zijn. Bekalkingsexperimenten laten ook snelle numerieke responsen van huisjesslakken zien, als er nog een kleine populatie bestaat (Pabian et al., 2012).

Locaties met de Gewone barnsteenslak zijn te karakteriseren als natte bossen ('n' in Tabel 8.10), met (matig) basenrijk water. Deze soort is amfibisch en leeft ook van waterplanten. Andere plekken worden gekenmerkt door het voorkomen van de Vale regenslak. Deze soort komt voor in gebieden met een relatief hoge calciumvoorraad in de ondergrond, zoals lössafzettingen (bijv. stuwwal van Nijmegen) en kalkrijke fluviaatiele afzettingen ('b' in Tabel 8.10). De soort komt ook onder droge condities voor, dus op (matig) basenrijke bodems met of zonder grondwater in de wortelzone.



Figuur 8.6: Gemiddelde (+standaarddeviatie) Ca-concentratie (micromol/L FW) in de bovenste minerale bodemlaag en humus op locaties met en zonder huisjesslakken en/of naaktslakken. De gebufferde locaties waar wel huisjesslakken zijn gevonden zijn verdeeld in natte plekken (met amfibische Gewone barnsteenslak) en andere gebufferde plekken.

Figure 8.6: Mean (+ standard deviation) Ca concentration (micromoles/L FW) in the upper mineral soil and humus layer in locations with and without snails and/or slugs. The buffered locations where snails have been found are divided into wet spots (with amphibious Amber Snail) and other buffered areas.

De overige locaties hebben allen een meer diverse huisjesslakkenfauna. Hier zijn dus voldoende mineralen aanwezig en is het niet te zuur. In alle overige gebieden komt het Boerenknoopje voor, welke een vochtige bodem nodig heeft. De locaties waar huisjesslakken zijn aangetroffen hebben een hogere Ca-concentratie in de humuslaag en de bovenste minerale bodemlaag (Tabel 8.10).

Niet op alle plekken waar maatregelen zijn genomen en waar het bos zichtbaar vernat is, komen nu huisjesslakken voor (bijv. het hoogveengebied Witte Veen, waar vernatting met zuur hoogveenwater plaatsvindt). In dit bos wordt wel het verdrogingsprobleem aangepakt, maar het water dat hierbij wordt gebruikt is blijkbaar zuur en draagt te weinig bij aan het opkrikken van de mineralenstatus van de bovenlaag van de bosbodem. Bronpopulaties van slakken zijn in dit gebied wel voorhanden, zoals langs de fietspaden.

8.5.5 Analyse van fauna uit strooiselmonsters vochtige bossen

De totale aantallen individuen in de strooiselmonsters en de verdeling over diergroepen verschieden zeer sterk tussen de diverse locaties (Figuur 8.7). Ook tussen de plots binnen elk van de 5 onderscheiden bostypen verschilde de samenstelling van de diergroepen (Figuur 8.7 boven). Mijten, springstaarten en pissebedden waren de drie meest talrijke diergroepen. In vier vernatte situaties waren de aantallen mijten (Witte Veen, Grootte Heide B), springstaarten (Dubbroek, Witte Veen) of pissebedden (Grootte Heide A) en daarmee ook de totale aantallen dieren per gram drooggewicht strooisel aanzienlijk hoger dan in de overige 16 onderzoekslocaties, maar niet systematisch tussen de drogere controleplots en de vernatte situaties, zoals bleek uit de principale componentenanalyse (PCA) van de soortensamenstelling (Figuur 8.8).

Dit is niet vreemd, omdat de terreincondities ook sterk verschieden tussen de verschillende plots, zowel in de drogere uitgangssituaties, als in de resultaten van de vernattingsmaatregelen. De faunasamenstelling vertoont geen duidelijke overeenkomsten binnen de 5 bostypen die in deze evaluatie zijn onderscheiden (bovenste grafiek van Figuur 8.7).

Wel is duidelijk dat de hogere abundanties van diergroepen zijn aangetroffen in de bossen met grondwater in de wortelzone (de tweede, vierde en vijfde groep vanaf links in de bovenste grafiek van Figuur 8.7). Afgezien van de drie meest talrijke diergroepen, zijn de hoogste abundanties gevonden in de meer gebufferde bosbodems. De onderlinge vergelijking binnen de paren van drogere controleplots en de bijbehorende nattere plots binnen de bosgebieden laat zien dat de totale aantallen individuen consequent hoger zijn in de nattere situaties (onderste grafiek in Figuur 8.7). Alleen de monsters van het Witte Veen wijken van dit patroon af, maar de aantallen waren ook hier hoger, wanneer alleen naar de overige diergroepen wordt gekeken.

Niet alle diergroepen reageren even sterk en op een zelfde manier op veranderingen door vernattingsmaatregelen. Uit Figuur 8.7 kan afgeleid worden dat de aantallen springstaarten, mijten en pissebedden niet consequent hoger zijn in de nattere situaties. Andere factoren spelen zeker ook een rol. Kijken we naar de overige diergroepen dan blijken de totale aantallen individuen wel duidelijk toe te nemen met een toename van de pH en basenverzadiging (Figuur 8.9). Welke diergroep toe- of afneemt verschilt mede afhankelijk van de bodem- en strooiselkwaliteit en de vochthuishouding.

De faunagegevens wijzen over het geheel genomen dus op een verhoogde productiviteit van de detritivore takken binnen het voedselweb in samenhang met vochtigere bodemcondities en een hogere pH en basenverzadiging.

8.5.6 Effecten op de Mycoflora

Resultaten paddenstoelen

In totaal zijn in de plots een kleine 150 soorten bodembewonende paddenstoelen gevonden en op naam gebracht, waaronder 64 mycorrhiza vormende soorten. Vrijwel alle plots zijn 2x bezocht. Hiermee is vermoedelijk nog niet de helft van het aantal aanwezige soorten in beeld gebracht. Niettemin zijn in totaal 26 soorten aangetroffen die op de rode lijst uit 1996 en/of 2008 staan genoemd, een bevestiging van de grote waarde die vochtige bossen voor paddenstoelen kunnen hebben.

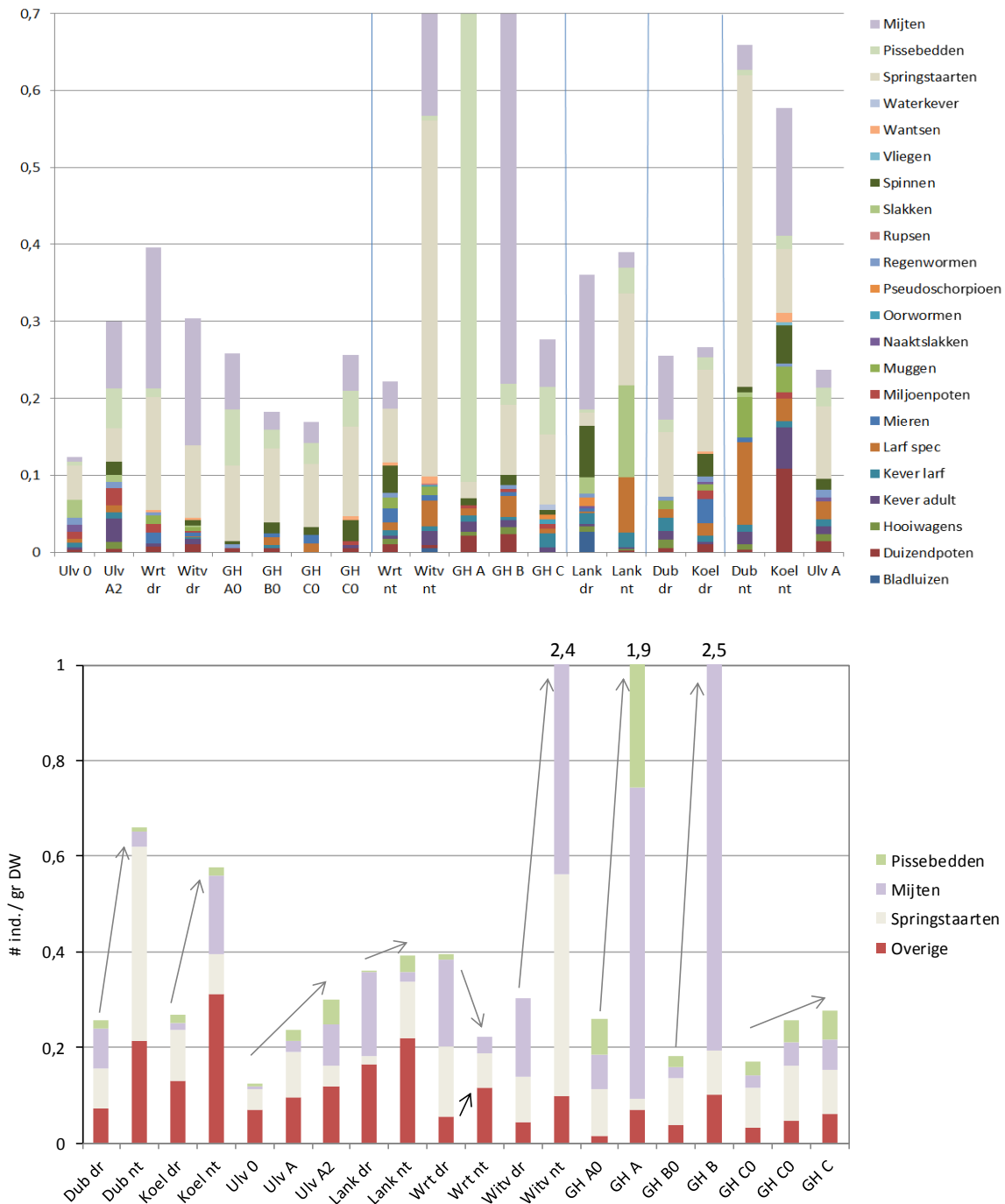
Onder de aangetroffen soorten is een groot aantal soorten aanwezig die een zekere gevoeligheid voor sterk zure bodems laten zien. In Tabel 2.14 zijn die soorten weergegeven, waarvan de metingen een dergelijke gevoeligheid suggereren en waarvan uit de literatuur ook een dergelijke gevoeligheid bekend is (o.a. Jansen, 1981; Arnolds & van den Berg, 2013). Het aantal soorten op sterk zure bodems verschilt niet van dat op minder zure bodems, maar de soortensamenstelling laat wel duidelijke verschillen zien. Op bodems die een basenverzadiging van minder dan (20-)30% in de minerale onderlaag en een pH van minder dan 3,0 in de toplaag laten zien, worden vooral veel soorten aangetroffen die algemeen zijn in onze droge bossen op zandgronden. Daar waar de basenverzadiging en pH hoger worden, komen er soorten bij die momenteel vooral bekend zijn van bijvoorbeeld wegbermen, (stuif-)duinen, oude begraafplaatsen en natte of lemige plekken in bossen. Dit zijn vooral mycorrhiza-vormers, en dan vooral Gordijnzwammen (*Cortinarius* spp.) en Russula's (*Russula* spp.). Ook de zeer algemene Gewone fopzwam (*Laccaria laccata*) lijkt tot deze groep te behoren, want deze is op sterk zure bodems alleen in de waarschijnlijk minder zure greppels aangetroffen. Maar er zijn ook enkele strooiselafbrekers in deze groep, met name Elfenschermpje (*Mycena pura*) en Halmruitertje (*Marasmiellus vaillantii*).

Op bodems met een hoge basenverzadiging en pH ontbreken een aantal soorten uit onze bossen op droge zandgronden, zoals de Roodbruine slanke amaniet (*Amanita fulva*) en de Aardappelbovist (*Scleroderma citrinum*). Daarvoor in de plaats komen vooral Vezelkoppen (*Inocybe* spp.) en zakjeszwammen (geslachten *Helvella*, *Otidea*, *Peziza*).

Tabel 8.10: Overzicht van de gevonden slakken per locatie en de interpretatie van gebiedseigenschappen op basis van de slakkenfauna. Interpretatie locaties: r = referentie = vochtig bos, met voldoende bufferstoffen voor huisjesslakken, b = gebufferd = droog (stuwwal Nijmegen) of beekbegeleitend (Smalenbroek) bos met voldoende bufferstoffen voor huisjesslakken, n = nat = bossen waarvan de bodem ook in de zomer nog tot op het maaiveld met water is doordrenkt en stukken onder water staan (geschikt voor amfibische huisjesslakken), z = zuur = bossen waar geen huisjesslakken werden waargenomen en waarvan de bodem voor deze soortgroep te zuur is of waar door eerdere verzuring huisjesslakken zijn uitgestorven en geen rekolonisatie heeft plaatsgevonden.

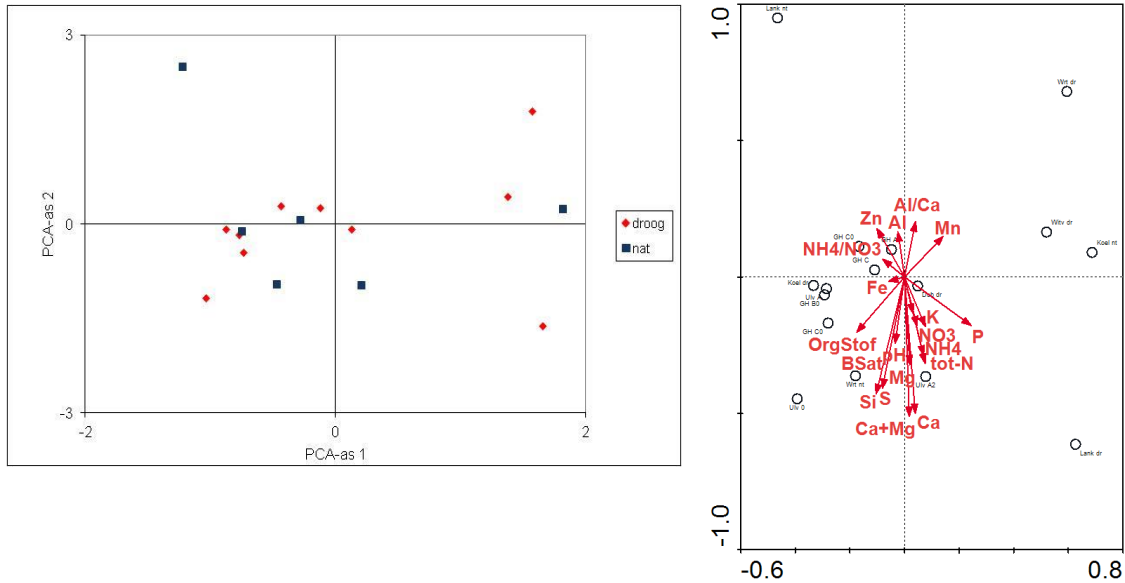
Table 8.10: Summary of snails found by location and interpretation of field properties based on the slug fauna. Interpretation locations: r = reference = moist forest, with sufficient buffering agents for snails, b = buffered = dry (moraine Nijmegen) or stream accompanying (Smalenbroek) forest with sufficient buffering agents for snails, n = nat = forests, the bottom even in the summer! to ground level with water soaked and pieces under water (for amphibious snails), z = acid = woods where no snails were observed and that the soil is too acidic for this species group or where by prior acidification snails are extinct and no re-colonization has taken place.

		Naaktslak	Bruine glanslak	Boerenkroopje	Glanzende aggaathoren	Gewone tuinslak	Vale regenislak	Bosloofslak	Gewone barnsteenslak	Witgerande tuinslak	heesterslak	Behaarde slak	Bruine glanslak
Lankheet-nat	r	1	1										
Lankheet-droog	r	1		1									
Ulvenhoutse bos 0	r	1		1									
Ulvenhoutse bos (nat) A	r	1		1	1	1							
Smalenbroek-vernat	r	1		1	1								
Dubbroek-droog	b					1							
Stuwwal Nijmegen	b	1				1	1						
Smalenbroek-beek	b	1	1		1	1	1						
Koelbroek nat en droog	n							1					
Dubbroek-nat	n							1					
Stuwwal Nijmegen-beek	n							1	1	1			
Ooijpolder	n				1			1			1	1	
Hatertse vennen	z	1											
Witte Veen nat	z	1											
Ulvenhoutse bos A2	z	1											
Groote heide C	z	1											
Groote Heide A	z	1											
Groote Heide A0	z												
Groote Heide B	z												
Groote Heide B0	z												
Groote Heide C0	z												
Weerterbos droog	z												
Weerterbos nat	z												
Witte Veen droog	z												
Smalenbroek droog	z												



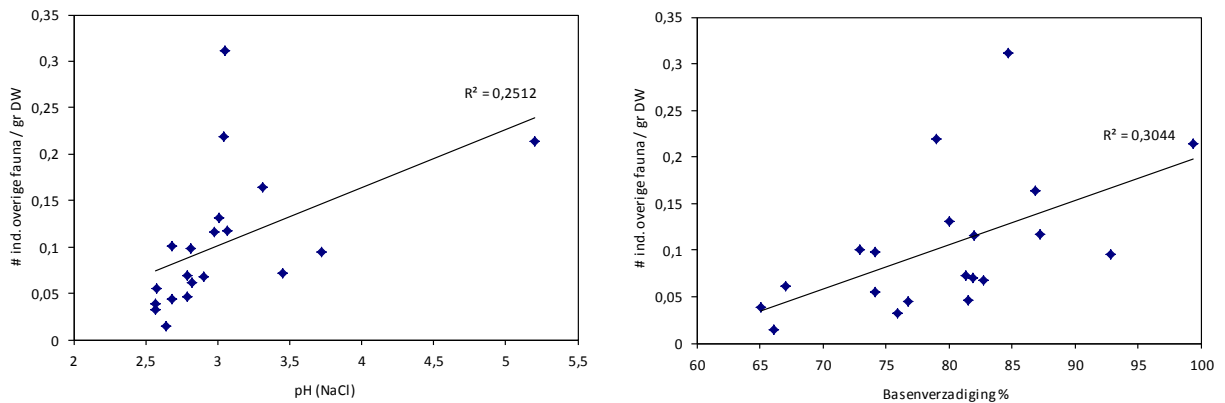
Figuur 8.7Aantallen individuen van bodemfauna in de strooiselmonsters van de 20 onderzoekslocaties. De aantallen zijn gecorrigeerd voor de omvang (drooggewicht DW) van het strooiselmonster. De bovenste grafiek toont de abundantie van de verschillende diergroepen. De plots zijn gegroepeerd in de 5 bostypen die in deze evaluatie zijn onderscheiden. In de onderste grafiek zijn de 3 meest abundante diergroepen en het totaal van de overige fauna weergegeven. De plots zijn geordend per gebied en met pijlen is aangegeven hoe de aantallen individuen verschillen tussen de drogere controleplot (dr) en de vernatte plot (nt).

Figure 8.7: Numbers of specimens of soil fauna in the litter samples of the 20 study sites. The numbers are corrected for the size (dry weight DW) of the litter sample. The upper graph shows the abundance of the different invertebrate groups. The plots are sorted by the 5 forest types identified in this evaluation. In the lower graph the 3 most abundant invertebrate groups and the total for other groups are presented. The plots are sorted per site and the arrows show how the numbers of fauna specimens differ between the dryer control plot (dr) and the rewetted plot (nt).



Figuur 8.8: Plots van de principale componentenanalyse (PCA) van de faunasamenstelling in het strooisel van 16 van de 20 onderzoekslocaties. Links de locaties verdeeld naar droge controleplots en vernatte plots. Rechts plot van de vectoren voor bodemkwaliteitsvariabelen. De 4 monsters met bijzonder hoge aantallen individuen zijn in deze PCA niet meegenomen, omdat deze zicht op eventuele patronen binnen de overige 16 monsters wegnemen.

Figure 8.8: Plots of the principal components analysis (PCA) of the invertebrate composition in the litter of 16 of the 20 study plots. The graph on the left shows the dry control plots (red dots) and the rewetted (blue dots) plots. The graph on the right hand shows the vectors for soil quality variables. The 4 samples with exceptionally high numbers of specimens are not included in this PCA, because these samples prevent identification of possible patterns within the other 16 samples.



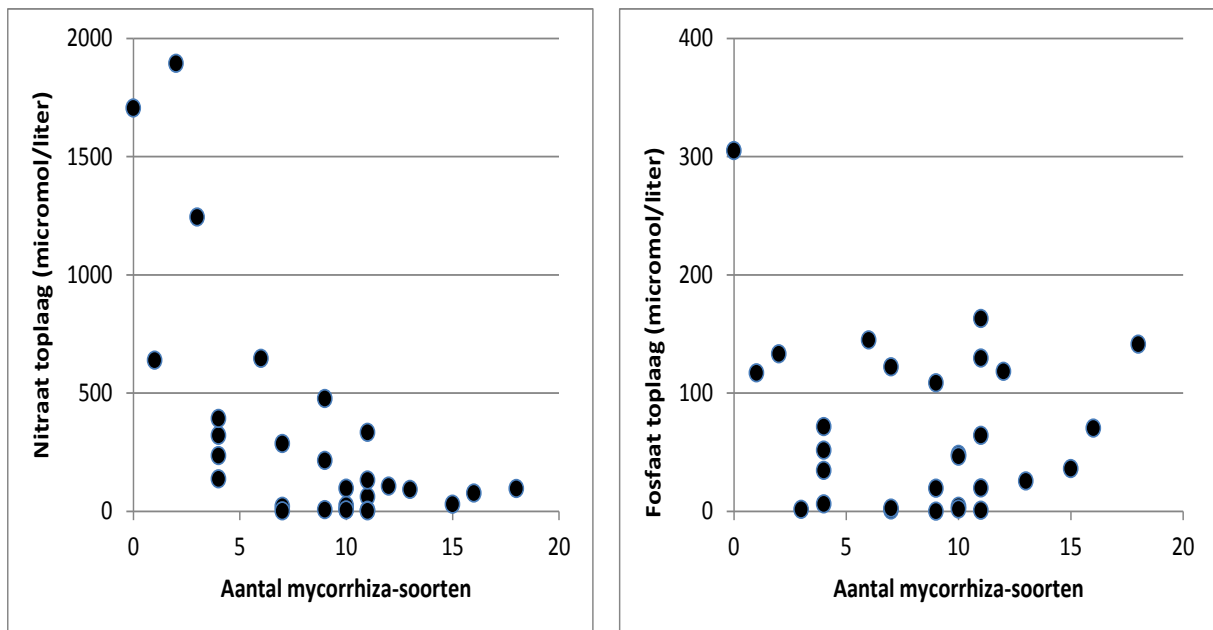
Figuur 8.9: De aantallen individuen van de overige diergroepen (zonder de drie meest talrijke groepen: mijten, springstaarten en pissebedden) uitgezet tegen de pH en basenverzadiging van de top laag.

Figure 8.9. The numbers of specimens of the other invertebrate groups (excluding the three most abundant groups: mites, springtails and woodlice) plotted against the pH and base saturation of the top soil.

Tabel 8.11: Relatie tussen de zuurgraad en de samenstelling van de mycoflora in de bestudeerde plots. Weergegeven zijn soorten die alleen op (zwak) zure bodems zijn waargenomen en de soorten die juist ontbreken op de zuurdere standplaatsen. Soorten van natte bodems zijn weggelaten. De soorten zijn gerangschikt naar een gradiënt in de basenverzadiging van de minerale onderlaag. Er is een indeling gemaakt in drie klassen: 1) zuur = basenverzadiging < 30%, pHzout < 3, 2) zwak zuur = basenverzadiging 30-95%, pH zout 3-4, 3) Neutraal tot basisch = basenverzadiging 95-100%, pHzout >4. Legenda: 1 = 1-9 vruchtlichamen, 2 = 10-99 vruchtlichamen, 0 = alleen rand plot, * = alleen in greppel.

Table 8.11: Relationship between acidity and composition of the mycoflora in the studied plots. Only observed species of (weak) acidic soils have been displayed and species that are lacking in the more acidic sites. Types of wet soils are omitted. The species are ranked according to a gradient in the base saturation of the mineral layer. There is a classification into three classes: 1) acid = base saturation <30%, pH NaCl <3, 2) weak acid = base saturation 30-95%, salt pH NaCl 3-4, 3) = neutral to alkaline base saturation 95-100% , pHzout > 4. Legend: 1 = 1-9 fruiting, 2= 10-99 fruiting, 0 = only edge of plot, * = in ditch.

	GH-01	GH-C	GH-03	GH-04	WB-0	UB-01	GH-01	GH-B	UB-02	LB-B	LB-0	WB-A	GH-A	LH-1	WW-1	WW-2	UB-A2	UZ-01	DB-B	LH-2	UB-A	UZ-A	LH-2a	UZ-02	UZ-B	DB-A
Basenverzadiging (%)	9,3	12,2	13,3	13,6	14,6	18,5	19,7	21,5	22	23,4	24,3	34,2	34,4	37,7	38,4	43,7	46	48,2	81,3	81,5	93,5	96,9	98,2	98,4	98,8	99,4
pH NaCl toplaag	2,57	2,82	2,79	2,57	2,58	2,9	2,64	2,68	2,84	3,09	2,86	2,98	2,79	3,04	2,81	2,68	3,07	3,4	3,45	3,31	3,72	4,72	5,1	3,15	5,16	5,2
Laccaria laccata	1*			1*			2*	1	1	1	1	1	2	2	1*	1	2		2	3	1	1	1	2	1	
Scleroderma citrinum	1	1			0	1	1			1	1	1		2	2	1	1		2							
Russula betularum	1									1	1	1			1	1		1	1					0		
Mycena smithiana	2	1																				1				
Amanita fulva				1*		0		1	1	1	1	2	2						1							
Russula undulata						1									0					1						
Psathyrella artemisiae						1				1					1				1							
Russula fragilis										1					0			1								
Boletinus cavipes													1													
Russula paludosa													1													
Lactarius rufus													2													
Lactarius helvus															0											
Russula vesca															0											
Auriscalpium vulgare							1																			
Entoloma conferendum	1											1							1						1	
Cordyceps ophioglossoides										2	1															
Elaphomyces granulatus										1	1															
Russula densifolia						1																		1	1	
Leotia lubrica												2			1*				2*							
Cortinarius anomalus				1								1	1					1	2		1			0		
Cortinarius paleaceus												1	1									1				
Cortinarius "groep32"												1														
Mycena pura												2	1						2				2			
Cortinarius casimiri																	1	1		2			1			
Marasmiellus vaillantii													1						1	2						
Typhula phacorrhiza													1									1			1	
Geoglossum spec.													1													
Asterophora spp.																		1						1		
Russula velenovski																			1				1			
Cortinarius cf erythrinus																			1							
Typhula erythropus																		1				2			2	
Russula nigricans																			1							
Inocybe rimosa																					1					
Cortinarius saniosus																						1				
Inocybe squarrosa																						1			1	
Peziza michelii																							1			
Helvella lacunosa																							1			
Helvella macropus																							1			
Inocybe geophylla																							1			
Inocybe sindonia																									1	
Marasmiellus tricolor																									1	
Otidea onotica																										1



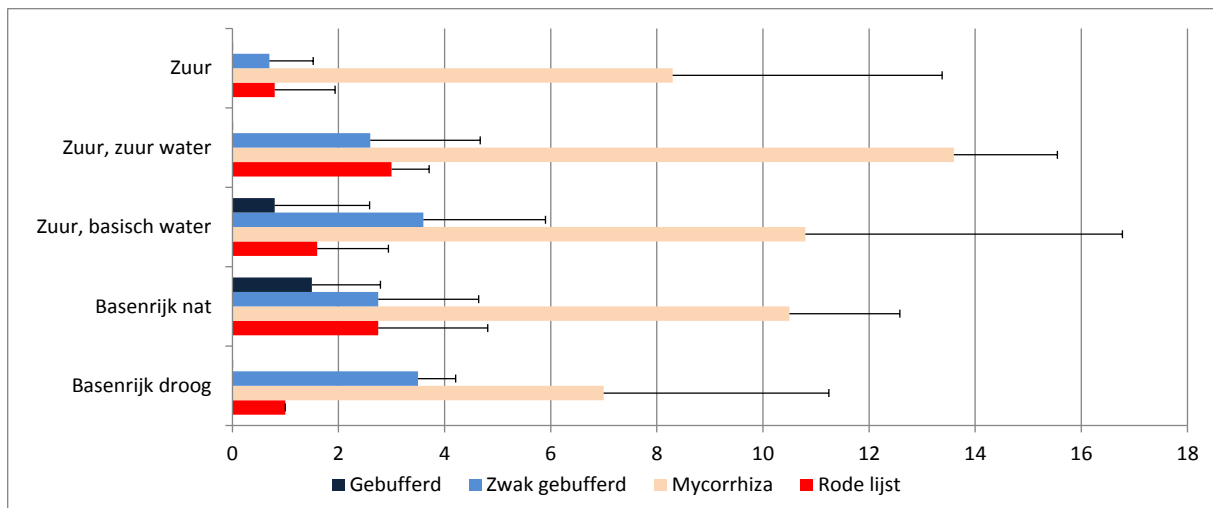
Figuur 8.10:: Relatie tussen de hoeveelheid zout-extraheerbaar nitraat en fosfaat in de toplaag van de bosbodem en het aantal waargenomen soorten mycorrhiza-paddenstoelen.

Figure 8.10: Relationship between the amount of salt-extractable nitrate and phosphate in the top layer of the forest floor, and the number of observed species of mycorrhizal fungi.

Behalve met zuurgraad en basenverzadiging zijn er ook correlaties gevonden tussen de hoeveelheid voedingsstoffen en de paddenstoelenrijkdom en -samenstelling. Deze relaties waren het beste met de hoeveelheid voedingsstoffen in de humeuze toplaag, waar ook de meeste voedingsstoffen aanwezig zijn. Verder zijn de correlaties het beste met de mycorrhiza-vormende paddenstoelen. Opvallend is dat er een duidelijke correlatie is met de nitraatbeschikbaarheid, maar geen relatie met de beschikbaarheid van fosfaat (figuur 8.10). Voor de strooisel afbrekende soorten is het beeld ongeveer hetzelfde, maar is de correlatie met nitraat duidelijk zwakker. Correlaties met ammonium zijn er niet gevonden. Ook zijn er geen opvallende verbanden met de vochttoestand: onder de natte plots bevinden zich zowel soortenrijke als soortenarme plots. Nitraat lijkt dus heel duidelijk sturend voor in ieder geval het fructificeren van mycorrhiza vormende paddenstoelen en in mindere mate strooisel afbrekende soorten. Ook het aantal rode lijst soorten is beduidend.

Verschillen tussen plots

In plots waar vernat is met zuur water, is de basenverzadiging gemiddeld hoger dan in plots op zure, droge bodem. Paddenstoelen die indicatief zijn voor zwak zure bodem, zouden dan ook meer moeten voorkomen. Op zure, droge bodems zijn gemiddeld ruim 8 mycorrhiza-vormers waargenomen, en verder 1 rode lijst soort en 1 soort die een zwakke buffering indiceert (figuur 4.8). Daar waar zuur water de toplaag bereikt komen gemiddeld bijna 14 mycorrhiza-vormende soorten voor. Het aantal rode lijst soorten is gemiddeld bijna 2,5 en het aantal, dat een zwakke buffering indiceren bijna 3. Aanzienlijk meer dus dan op de droge, zure bodems. Soorten die op enige buffering wijzen en alleen in de nattere plots zijn waargenomen zijn Groene glibberzwam (*Leotia lubrica*), Vaaggeordelde gordijnzwam (*Cortinarius anomalus*), Holsteelboleet (*Boletinus cavipes*) en Appellussula (*Russula paludosa*). Daar waar basisch water de toplaag bereikt, neemt het aantal soorten dat op gebufferde omstandigheden wijst toe tot gemiddeld meer dan 4. Hieronder zitten ook soorten die op sterk gebufferde omstandigheden wijzen. Het aantal rode lijst soorten is gemiddeld bijna 2; duidelijk hoger dan in de zure, droge plots maar lager dan in de zure, natte plots. De nitraatbeschikbaarheid is hier in een aantal plots vrij hoog, waardoor veel bijzondere paddenstoelen het laten afweten.



Figuur 8.11: Aantal soorten waargenomen paddenstoelen van goed gebufferde bodems, van zwak gebufferde bodems, aantal mycorrhiza vormende soorten en aantal bedreigde soorten die zijn waargenomen in de onderzochte plots. Weergegeven zijn de gemiddelden per plot. Indeling plots, zie tabel 8.9. Rode lijst soorten zijn soorten die op de rode lijst van 1996 (Arnolds & Van Ommering, 1996) en/of die van 2008 (Arnolds & Veerkamp, 2008) staan.

Figure 8.11: Number of mushrooms species of well-buffered soils, weakly buffered soils, mycorrhiza forming species and endangered species that have been observed in the studied plots. Shown are the averages per plot. Plot classification: see Table 8.9. Red list species are species on the red list of 1996 (from Arnolds & Van Ommering, 1996) and / or those of 2008 (Arnolds & Veerkamp, 2008) stand.

Op basenrijke, droge bodems is het aantal rode lijst soorten gemiddeld ongeveer 1, evenals op de droge, zure bodems. Wel komen hier uiteraard meer soorten voor die op buffering wijzen. Op basenrijke, natte bodems zijn gemiddeld bijna 3 rode lijst soorten aangetroffen. Bijzondere vondsten zijn onder andere Violetvlekkende melkzwam (*Lactarius aspideus*), Dwergvezelkop (*Inocybe squarrosa*) en Gewoon varkensoor (*Otidea onotica*). Vernatting lijkt zowel op basenrijke als op zure bodems te leiden tot een sterke toename van het aantal rode lijst soorten.

Conclusies

De samenstelling van de mycoflora van vochtige bossen lijkt sterk afhankelijk van met name de basenverzadiging en de nitraatbeschikbaarheid in de bodem
 Natte plots zijn duidelijk rijker aan rode lijst soorten van droge plots; zowel door een toename van vochtminnende soorten als door een toename van basenminnende soorten
 Plots waar zuur grondwater tot in de toplaag reikt hebben een wat hogere basenverzadiging en meer paddenstoelen van gebufferde bodems dan zure, droge plots
 Plots waar basisch grondwater tot in de toplaag reikt hebben een duidelijk hogere basenverzadiging en duidelijk meer paddenstoelen van gebufferde bodems. Het aantal rode lijst soorten is slechts iets hoger dan in zure, droge plots. Dit is mogelijk het gevolg van een versnelde afbraak van organisch materiaal, waardoor uiteindelijk nitraat gevormd wordt
 Paddenstoelen lijken geschikte indicatoren om de effecten van vernatting op bosbodems te volgen. Met name op plekken met een schaarse of soortenarme ondergroei aan hogere planten, hebben ze een belangrijke toegevoegde, indicatieve waarde.

8.6 Vochtige bossen, evaluatie vernatting

8.6.1 Vochttoestand en basenrijkdom sterk gecorreleerd met soortensamenstelling

De vergelijking tussen de vijf verschillende standplaatsen in al of niet verdroogde, vochtige bossen laat zien dat ook subtiele verschillen in waterstanden en basenvoorziening al samengaan met grote verschillen in de soortensamenstelling. Kenmerkend voor vochtige bossen is de periodieke invloed van grondwater of stagnerend regenwater in de wortelzone. In een verdroogde situatie bereikt het grond- of oppervlaktewater ook in de winter niet of nauwelijks de toplaag van de bodem.

Droge of verdroogde bossen op basenarme bodems

In de droge of verdroogde bossen op dekzand zijn vooral de zuurgraad in de humeuze toplaag en de basenverzadiging in de minerale laag hier direct onder extreem laag; met een pH van 2,6-2,9 respectievelijk een basenverzadiging van 10-30% (figuur 4.2, 4.3). Onder deze condities verloopt de afbraak van humus zeer langzaam; vorming van mormoders is hier doorgaans waargenomen. De dichtheden van de belangrijkste groepen bodemfauna, zoals mijten, springstaarten en pissebedden, zijn hier relatief laag. Mineraal stikstof is vooral aanwezig in de vorm van ammonium. De beschikbaarheid van nitraat wisselt sterk per locatie, de beschikbaarheid van orthofosfaat is doorgaans hoog. Onder deze condities worden uitsluitend sterk zuurtolerante soorten waargenomen. Huisjesslakken ontbreken, maar ook veel soorten die in kalkloze maar minder sterk uitgeloopte duinbossen nog veel voorkomen zoals Gordijnzwammen en Gewone eikvarens.

Droge of verdroogde bossen op leem of in beekdalen

De droge of verdroogde bossen op leem of met voormalige invloed van basenrijk grondwater zijn vooral in de minerale ondergrond nog goed gebufferd. In de dataset bevonden zich maar enkele plots van dit type. Er heeft zich hier meestal een zure strooisellaag ontwikkeld op de (nog) gebufferde minerale ondergrond, maar deze is beduidend minder zuur dan in de droge standplaatsen op dekzand. De dichtheden in de bodemfauna zijn niet veel hoger, maar dat kan zoals gezegd het gevolg zijn van de droge condities tijdens het verzamelen. De humusontwikkeling richting moders wijst er wel op dat de humusafbraak hier beter is dan in de droge heide-ontginningen. De aanwezigheid van een zure toplaag en een beter gebufferde ondergrond komt ook tot uiting in de vegetatie; de moslaag bestaat vooral uit zuurtolerante soorten terwijl de kruidlaag en zeker de boomlaag ook soorten van beter gebufferde bodems laat zien. De boomsoort bepaalt hier via het bladstrooisel mede de zuurgraad van de strooisellaag; onder haagbeuken of lindes zal de strooisellaag minder zuur zijn dan onder eiken, dennen of beuken.

Vochtige bossen op basenarme bodem met zuur grondwater

Het grond- of oppervlaktewater dat in de heideontginningssystemen tot in de toplaag reikt is doorgaans basenarm en (zwak) zuur. De standplaatsen verschillen op subtiele wijze in een aantal aspecten van standplaatsen waar geen waterinvloed in de toplaag is. De toplaag is even zuur, maar de minerale laag daaronder heeft een gemiddeld hogere basenverzadiging. Op een aantal plekken is de humusvorm een overgang van een mormoder naar een moder. Ook is de dichtheid aan bodemfauna aanzienlijk hoger. De vegetatie verschilt alleen van die van de drogere standplaatsen doordat er meer vochtminnende soorten voorkomen, maar ook zijn er op de vochtige plekken meer paddenstoelen gevonden die op minder zure condities wijzen. De stikstofhuishouding is niet duidelijk anders en ook de beschikbaarheid van fosfaat is hier hoog.

Beekdalranden en slenken: basisch water

Op hoge beekdalranden reikt basisch grondwater (of oppervlaktewater zoals op Lankheet) periodiek tot in de toplaag. In principe gaat het om kalkloze zandbodems, die onder droge condities bodemchemies overeenkomen met de droge of verdroogde heide-ontginningen. In vergelijking met deze bodems zijn zowel de humeuze toplaag en de minerale laag daaronder veel beter gebufferd. De humusvorm is doorgaans een moder, de dichtheden aan bodemfauna zijn relatief hoog en allerlei soorten van basenrijke omstandigheden zijn hier waargenomen: huisjesslakken, dalkruid, bosanemoon, gordijnzwammen en vezelkoppen. Mineraal stikstof is ook veel aanwezig in de vorm van nitraat en de nitraatbeschikbaarheid is hier relatief hoog. Op de sterkst aangerijkte plek in Lankheet zijn soorten van eutrofe, basische omstandigheden veel aanwezig: klein springzaad, bekerzwammen en kluijfszammen. De humusvorm is hier eerder een mull en de nitraatbeschikbaarheid is hier hoog.

Vochtige, basenrijke leembodems

Op de basenrijke leembodems met periodiek hoge waterstanden breekt strooisel snel af en is nauwelijks sprake van een strooisellaag of sterk humeuze toplaag. In tegenstelling tot de andere

locaties, is hier de beschikbaarheid van fosfaat laag. Ook is gemiddeld veel minder nitraat aanwezig dan in de zandige plots die onder invloed staan van gebufferd water. De (myco-)flora en humusvorm van beide locatietypen lijkt wel sterk op elkaar. Mull- en modertypen overheersen hier (Figuur 5.1).

8.6.2 Vernatting leidt tot buffering en beïnvloedt nutriëntenbeschikbaarheid

In de voorgaande paragraaf zijn de verschillen tussen de locatietypen kort samengevat, en daaruit blijkt dat soms subtiele verschillen in grondwaterstanden samenhangen met grote verschillen in buffering, humusafbraak, (myco-)flora en fauna. In deze evaluatie willen we echter weten of de genomen vernattingsmaatregelen ook processen in gang zetten die uiteindelijk tot deze verschillen leiden. Een handicap daarbij is dat alleen op de locatie Lankheet monitoring van hiervoor relevante parameters heeft plaatsgevonden.

Het doel van vernatting is de kenmerkende vochthuishouding en mate van buffering van vochtige bossen weer te benaderen om aldus verdroogde en soortenarme begroeiingen te herstellen tot beter ontwikkelde, soortenrijkere bossen. In sommige gebieden zijn bodem en grondwater van nature zuur en basenarm, met name op de Grote Heide, het Leenderbos en het Witte Veen. Het grondwater komt hier in de winter vaak wel weer in de wortelzone, maar dit water is zuur en er vindt slechts een zeer geringe buffering van de toplaag plaats en er is ook maar een gering effect op de vegetatie. Wel zijn er doorgaans meer paddenstoelen aanwezig van iets gebufferde bossen. Ook de invloed op de humusafbraak is klein; plaatselijk worden mormoders omgezet naar (hydro)moders. Waarschijnlijk is zowel grondwater als de bodem verder verzuurd door zuurdepositie in het verleden. Om de buffering en de zuurgraad (sneller) te verhogen, zijn vermoedelijk aanvullende (eenmalige) maatregelen nodig. Hierbij valt te denken aan bekalken van inzigggebieden, traagwerkende mineralegiften of aanplant van boomsoorten die de strooiselomzetting verbeteren al dan niet gecombineerd met mineraltoediening in het plantgat. Het is hierbij niet de bedoeling om tot een meer gebufferd bostype te komen, maar alleen om de oorspronkelijke basenverzadiging te herstellen en dus de extreme verzuring ongedaan te maken. Echter, bij gebrek aan niet verzuurde referenties is niet met zekerheid vast te stellen wat de natuurlijke situatie is, en wat het gevolg van zure depositie.

Daar waar het mogelijk is minder zuur grondwater weer in de wortelzone te brengen, is een iets meer gebufferde situatie aanwezig (zie Figuur 4.2 en 4.3). Door een gebrek aan gegevens van de situaties voor de vernatting is het niet mogelijk te concluderen dat de vernattingsmaatregelen de oorzaak zijn voor deze betere buffering. Echter, daar zijn wel aanwijzingen voor. In het Weerterbos zijn op de vernatte plek paddenstoelen van iets gebufferde omstandigheden aangetroffen (groene glibberzwam (*Leotia lubrica*), moerasvaalhoed (*Hebeloma velutipes*)), terwijl op de niet vernatte locatie uitsluitend zuurtolerante paddenstoelen zijn aangetroffen. In de vegetatie was hier geen verschil merkbaar. Van Lankheet is de situatie uit het verleden wel bekend, en hebben humusvorm en vegetatie zich ontwikkeld richting een meer gebufferde toestand. Opmerkelijk was hier een laag gelegen hoekje van Lankheet 2. Hier was de invloed van gebufferd water het meest merkbaar. Een dik humuspakket is hier gaan afbreken. Klein springzaad had zich hier sterk uitgebreid, de pH-NaCl was hier 5,2 en ook stonden er diverse paddenstoelen van kalkhoudende bodem (Zwarte kluifzwam (*Helvella lacunosa*), Schotelkluifzwam (*H. macropus*))

In dit hoekje was de nitraatbeschikbaarheid 2x hoger dan elders in het proefvlak. Ook op andere plekken zijn er aanwijzingen gevonden dat een betere buffering de beschikbaarheid van nitraat licht verhoogt. Hier kunnen diverse mechanismen aan ten grondslag liggen. Ten eerste zitten aan de humuslaag grote hoeveelheden ammonium gebonden. Deze kunnen door uitwisseling met calcium- of magnesium ionen vrijkomen. Ten tweede komt door de verbeterde afbraak ook meer stikstof in de vorm van ammonium vrij. Dit ammonium wordt door de verbeterde buffering sneller omgezet naar nitraat. Ook zal nitraat bij hogere grondwaterstanden minder snel uitspoelen uit de toplaag.

Vernatting leidt vermoedelijk dus tot een verbeterde buffering, maar heeft op plekken met dikke humuspakketten het risico dat ook de nitraatbeschikbaarheid (tijdelijk) toeneemt. Paddenstoelen van gebufferde bodem lijken zich uit te breiden, maar bij hoge nitraatwaarden ook nitrofiële plantensoorten. Ook zien we onder de strooiselsaprophyten een verschuiving naar meer nitrofiële *Mycena*-soorten: Oranje dwergmycena (*Mycena acicula*), Breedplaatmycena (*M. speirea*) en Elfenschermpje (*M. pura*).

Tot slot komen we hier nog terug op de concrete verwachtingen die we bij vernattingsmaatregelen hadden geformuleerd (Figuur 8.1):

1. Verwachting: vernatting leidt tot een toename van planten, dieren en paddenstoelen die alleen voorkomen onder vochtige condities.
Resultaat: in Lankheet zijn de vochtminnende soorten toegenomen. Op vernatte plekken komen meer vochtminnende fungi voor dan op niet vernatte plekken. Dat geldt ook voor de flora, maar vooral buiten de plots. Ook de dichtheden aan bodemfauna zijn hoger.
2. Verwachting: vernatting leidt tot een stijging van de basenverzadiging en mogelijk pH in de toplaag van de bodem.
Resultaat: de vernatte plots op zure zandbodem hebben gemiddeld een hogere pH en basenverzadiging dan de niet vernatte plots, vooral daar waar sprake is van basenrijk grond- of oppervlaktewater. Op de basenrijkere leembodems valt op dat vernatte plots vaak een minder zure strooisellaag bezitten dan niet vernatte plots.
3. Verwachting: een toename van bodem-macrofauna, in ieder geval in aantallen individuen en mogelijk ook in soortenrijkdom.
Resultaat: de dichtheden in vernatte plots zijn hoger, maar deels is dit mogelijk een effect van droogte tijdens de verzamelperiode. Grote verschillen in soortensamenstelling zijn niet gevonden.
4. Verwachting: een toename van humusvormen die wijzen op een goede strooiselvertering: een verschuiving van mor-humus naar moder-humus.
Resultaat: op Lankheet is dit daadwerkelijk waargenomen en ook tussen vernatte en niet vernatte plots is zijn verschillen waargenomen die hierop duiden; de humusvorming lijkt een van de eerste factoren te zijn die op vernatting reageert.
5. Verwachting: een toename van eutrafente (myco-)flora op plekken waar door boomsterfte of een snelle toename van de basenrijkdom de humusafbraak plotseling wordt versneld.
Resultaat: in Lankheet is toename van Grote brandnetel waar te nemen op opengevallen plekken, en toename van Klein springzaad en eutrafente paddenstoelen op dikke strooiselpakketten met een sterke invloed van basisch oppervlaktewater. Op andere plekken, zoals op de Groote heide, lijkt boomsterfte vooralsnog niet te leiden tot verrijking.
6. Verwachting: geen toename van eutrafente (myco-)flora op plekken waar geen boomsterfte plaatsvindt en waar toename in basenrijkdom gering is of geleidelijk verloopt.
Resultaat: dit is het geval op Lankheet (met uitzondering van bovengenoemde deellocaties), en ook zijn op de vernatte locaties gemiddeld niet meer eutrafente soorten aanwezig dan op de niet vernatte locaties.

DEEL 3: MAATREGELEN EN KENNISLACUNES

9. Synthese

9.1 Samenvatting huidig functioneren, potenties en knelpunten

9.1.1 Definitie en typering vochtige bossen

Vochtige bossen worden gekenmerkt door hoge grondwaterstanden in de winter – vaak tot in de wortelzone of zelfs op maaiveld – en diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomer. Vochtige bossen verschillen daarin van de *natte bossen* waar de waterstanden ook in de zomer hoog – tot in de wortelzone - blijven en van de *droge bossen* die geen invloed van grond- of oppervlaktewater kennen.

Binnen de vochtige bossen onderscheiden we drie hoofdtypen (zie §2.1):

1. Beekdalbos: bossen op beekdalgronden met basenrijke kwel;
2. Stagnatiebos: bossen op gronden met een aan of dichtbij het maaiveld gelegen basenrijke leem- of kleilaag waarop regen of jong grondwater stagneert;
3. Dekzandbos: bossen in door regenwater of lokaal grondwater gevoede laagten in de pleistocene zandgebieden (vooral dekzand).

9.1.2 Potenties

Uitgangspunt voor het beschrijven van de potenties van vochtige bossen zijn de bodemkundig-landschappelijke context (hoofdstuk 3), de historische continuïteit als bosgroeiplaats (hoofdstuk 2 en 5) en het gegeven dat tal van (a)biotische processen (deels irreversibel) zijn veranderd en op (middel)lange termijn zullen blijven veranderen (waterhuishouding, depositie, graasdruk, introducties, klimaat etc.). In deze paragraaf worden potenties in ontwikkeling van de drie hoofdtypen vochtig bos kort samengevat op grond van § 4.8 (Successie) en § 7.4 (Inrichting, herstel en beheer).

Van *stagnatiebossen op leem en oude klei* zijn in Twente, het Oude IJsselgebied en de Centrale Slenk in Noord-Brabant en Limburg qua soortensamenstelling nog redelijk goed ontwikkelde voorbeelden te vinden die gerekend worden tot het Eiken-Haagbeukenbos (sensu Van der Werf, 1991). Het gaat zonder uitzondering om oude bosgroeiplaatsen met Zomereik, Gewone es en soms Canadapopulier als hoofdboomsoort. Mullachtige humusvorm, hoge basenverzadiging van het moedermateriaal en betrekkelijk lage stikstof(nitraat)beschikbaarheid zijn op groeiplaatsniveau gunstige uitgangskondities voor behoud en ontwikkeling van een hoge soorten diversiteit met lange historische continuïteit. De potenties worden enerzijds bepaald door natuurlijke ontwikkeling of sturing van de hoofdboomsoort en anderzijds door mogelijkheden om de wisselvochtige waterhuishouding te garanderen of te versterken. Bij het wegvallen van eik zal de hogere lichtbeschikbaarheid worden benut door hazelaar die in zo'n geval een hoge struiklaag gaat vormen. Hierdoor blijft de lichtbeschikbaarheid op de bosbodem laag (en dus ruigte-ontwikkeling achterwege) en kunnen oudbossoorten zich goed handhaven zolang de waterhuishouding op orde is (grondwater aan maaiveld tot diep in de lente). Naar verwachting zal uiteindelijk Gewone esdoorn zich uitbreiden waardoor Hazelaar weer zal afnemen. De lichtbeschikbaarheid (en mate van verzuuring) op de bosbodem zal daarmee gestuurd gaan worden door de boomlaag. Rabattenbossen van dit type zullen zich zonder ingrepen ontwikkelen tot soortenarmere bossen die tot het Gierstgras-Beukenbos worden gerekend. Gewone esdoorn, Hulst en Beuk zullen zich uitbreiden ten koste van Eik en Es. Soorten in de kruidlaag met wortelstokken en bladeren (ruim) boven de strooisellaag kunnen zich nog lange tijd handhaven of zelfs uitbreiden (zoals Bosanemoon, Witte klaverzuring, Gewone salomonszegel). Vochtminnende soorten en soorten met bladeren aan maaiveld zullen als eerste verdwijnen, uiteindelijk ook in de greppels (zoals Slanke sleutelbloem, Speenkruid, Muskuskruid, Wijfjesvaren). Alleen ingrijpende maatregelen waarbij de

begreppeling ongedaan wordt gemaakt en wisselvochtige tot natte laagtes worden hersteld, kunnen deze ontwikkeling keren.

De *vochtige beekdalbossen* bevinden zich in de flanken van beekdalen en in slenken en laagtes van het dekzandlandschap met sterke kwel. In de winter en het vroege voorjaar inunderen de broekbossen van het beekdal en treedt basenrijke grondwater uit grotere grondwatersystemen ook uit in de zone van de vochtige bossen. In de zomer zakt het grondwater weg, maar niet erg diep. Door de invloed van basenrijke kwel is de bodem ongeveer neutraal en de basenverzadiging vrijwel 100%. De nitraatgehalten zijn laag en de beschikbaarheid van fosfaat wordt laag gehouden door de periodieke, ijzerhoudende kwel. Het gehalte aan fosfaat is juist vaak hoog, omdat er ook fosfaat meekomt met het grondwater. De boom- en struiklaag bestaat uit Zwarte els, Gewone es, Hazelaar, Gewone vogelkers. De productiviteit is hoger en de kruidlaag heeft meer ruigtesoorten dan gebruikelijk in stagnatiebossen, met bijv. Grote brandnetel, Drienerfmuur en Hondsdraf. De potentie van vochtige bossen in beekdalflanken is afhankelijk van de mate waarin de natte bossen van het beekdal zelf functioneren. Waar sprake is van een intacte gradiënt met bos van droog (dekzandrug- of plateau) naar nat (beekdalbodem) zal ook op langere termijn vochtig bos blijven functioneren waarbij het Vogelkers-Essenbos nauw aansluit op het Elzenbroek. Iets hoger in de gradiënt zal na het te verwachten wegvallen van Eik zich meer een mozaïek van bos en struweel ontwikkelen met soorten zowel uit het Eikenverbond (Quercion) als Elzenbroek (Alnion), zoals Ruwe en Zachte berk, Ratelpopulier, Sporkenhout, Hulst, Wilde lijsterbes en Gewone vogelkers in de boom- en struiklaag, en Hennegras, Moeraszegge, Grote wederik en Ruwe smele en anderzijds Blauwe bosbes, Bochtige smele, Dalkruid en Wilde kamperfoelie in de kruidlaag (vergelijk Elzen-Eikenbos sensu Van der Werf, 1991). Vlakdekkend vochtig beekdalbos neemt dezelfde landschappelijk-bodemkundige positie in als blauwgrasland en zal bij het prioriteren van beheertypen niet snel als hoogste eindigen.

De *vochtige dekzandbossen* bestaan vooral uit relatief jong heide-ontginningsbos met Grove den en een flink aandeel Zachte en Ruwe berk. De zich ontwikkelende bosbodem is zuur en heeft een laag fosfaatgehalte. Geleidelijk vormt zich een humusprofiel met een bodemfauna die actiever is dan in droge bossen. Dit onder invloed van vocht (met name hydromoders) en een betere basenverzadiging (met name moders). Ook het aandeel van schimmels in de afbraak is vrij groot. De potenties van dit overwegend jonge bostype zijn sterk afhankelijk van de voorgeschiedenis en landschappelijke context. In het algemeen liggen er potenties die elementen uit verschillende plantensociologische eenheden omvatten en tot nieuwe bostypen aanleiding geven. Daar waar bos is aangelegd na grootschalige bodembewerking (begreppeling, ploegen) en de landschappelijk-bodemkundige context verloren is gegaan (vochtige heide, hoogveen) kan worden ingezet op vernatting en langdurig spontane ontwikkeling met een vegetatiesamenstelling met elementen uit zowel het Eikenverbond (Quercion) als berkenbroek (Betulion) en (tijdelijke) open ruimtes met heideachtige vegetaties incl dominantie van Pijpenstrootje. De combinatie van vocht en veel dood hout zal op langere termijn vooral van belang zijn voor de fauna en myco- en bryoflora.

Vochtig dekzandbos in de randen van hoogveengebieden is vaak minder sterk cultuurtechnisch bewerkt en kan zich goed ontwikkelen tot een gradiënt met uitgesproken zure (veenmosrijke) maar ook basenrijkere elementen (door stagnerende lagen of kwel: lagg zone) en oudbossoorten van het Beuken-Eikenbos zoals Adelaarsvaren, Dalkruid en Witte klaverzuring.

Voor jong, vochtig heide-ontginningsbos in de context van vochtige heide kan worden gekozen dit bos te laten functioneren als onderdeel van heidelandschap, met zowel (wilgen)struweel, opgaand (berken)bos en eikenstrubben als heideachtige open ruimtes. Begrazing is hierbij een belangrijk sturen proces.

Op sommige plekken is het lokale grondwater (matig) basenrijk door het passeren van kalkhoudende lagen (bijv in keileengebieden) in de ondergrond en lijken de standplaatscondities meer op die van de stagnatiebossen. Deze extra abiotische variatie zal aanleiding geven tot nog meer menging van plantensociologische elementen die nu nog gescheiden voorkomen.

9.1.3 Knelpunten

Ouderdom van het bos/de bosgroeiplaats

Oorspronkelijke vochtige bossen komen in Nederland niet of nauwelijks meer voor; alleen van de leem- en vochtige beekdalbossen zijn nog enkele goed ontwikkelde snippers bewaard gebleven. De jongere bossen missen een aantal aspecten van oude bossen. Er heeft zich nog geen dikke oude humuslaag kunnen ontwikkelen die oude bosgroeiplaatsen kenmerkt en waarvan basenverzadiging, nutriëntenvoorziening, vochtklimaat, bodemfauna en (myco-)flora grotendeels afhankelijk zijn. Ook hebben veel bossoorten, die zich vaak kenmerken door een geringe verspreidingscapaciteit, nog

niet de tijd gekregen om zich te vestigen. Voor dekzandbossen geldt bovenstaande in extremere mate dan voor de andere bostypen. Hier is door het eeuwenlang heidebeheer de bodem sterk uitgeloozd en zijn nagenoeg alle soorten uit de oorspronkelijke bossen verdwenen.

Gebrek aan structuurvariatie en dynamiek

In vochtige bossen ontbreekt een natuurlijke bosdynamiek of heeft deze nog onvoldoende tijd gekregen om te zorgen voor een gevarieerde structuur met voldoende dik dood hout, wortelkuilen en -kluiten, open en meer gesloten bosfasen. De oudere bosfasen met dikke bomen en aftakelende bomen ontbreken geheel. Deze bosdynamiek en de kleinschalige abiotische heterogeniteit die hier het gevolg van is, is essentieel is voor de overlevingsstrategie van veel bossoorten. Opstanden van vochtige bossen bestaan vaak nog uit monoculturen van naaldhout, Zomereik (spaartelgenbossen) en populieren. Hier treedt geleidelijk een kentering op door een meer op natuurlijke processen gericht bosbeheer. Het aandeel loofhout wordt groter (vooral van Zomereik, Zachte en Ruwe berk). Echter, de meeste boomsoorten die tot de natuurlijke samenstelling van de vochtige bossen te rekenen zijn maar niet geschikt werden geacht voor houtproductie ontbreken in een groot deel van de vochtige bossen.

Verdroging en verzuring in dekzandbossen

De vochtige dekzandbossen zijn jong en meestal in gebruik als productiebos en missen veel soorten van oud bos. Bij de aanleg van het bos zijn de van oorsprong natte en vochtige standplaatsen ontwaterd en vaak ook diep gespit en op rabatten gezet. Eventueel aanwezige waterkerende lagen zijn daarbij zoveel mogelijk doorbroken. Door de vaak sterke ontwatering onderscheidt dit bostype zich nauwelijks meer van jonge, droge bossen op zandgrond. Op veel plekken worden de potenties van dit bostype dan ook niet of onvoldoende herkend. Er treedt stapeling op van ruwe humus; een voor vochtige dekzandbossen meer kenmerkende (hydro)moder humusvorm heeft zich niet kunnen ontwikkelen. De van nature al zure en basenarme bodems zijn als gevolg van atmosferische depositie verder verzuurd. Pijpenstrootje komt vermoedelijk van nature veel voor in dit type bossen, maar stikstofdepositie en verdroging hebben op heel veel plaatsen geleid tot een dichte, hoge grasvegetatie. Kenmerkende soorten van vochtige bossen zijn vaak beperkt tot greppelkanten waar leemlagen aangesneden zijn. Meestal betreft dit paddenstoelen, of planten die zich makkelijk verspreiden zoals varens en mossen.

Verdroging, rabattering, verzuring en vermesting in stagnatiebossen

Ook de stagnatiebossen zijn meestal in gebruik als productiebos, maar er zijn ook oude bossen die lang als hakhout of middenbos in gebruik zijn geweest. Vaak zijn deze bossen sterk vergraven en verdroogd door de aanleg van sloten, greppels en rabatten. Door verdroging en atmosferische depositie kan zich een sterk zure strooisellaag (mormoder) ontwikkeld hebben op de basenrijkere leembodem, terwijl deze van nature dunner of zelfs afwezig is.

Op veel plekken zijn bramen en Smalle- en Brede stekelvaren dominant geworden, wat in het bijzonder geldt voor de randen die veel stikstof invangen. De meer bijzondere soorten zijn nu nog het meest te vinden langs greppels, in lage delen in het midden van de stagnatiebossen of daar waar in lanen of in percelen (groepen) boomsoorten met goed verterend strooisel staan. Veel bossen van dit type bevinden zich op landgoederen.

Verdroging, verzuring en vermesting in beekdalbossen

De soortenrijkdom in vochtige beekdalbossen is door verdroging, verzuring en vermesting sterk teruggelopen. De toplaag van de bodem is verzuurd door zure depositie, maar vooral doordat basenrijk grondwater niet meer tot in de wortelzone reikt. Door verdroging vindt versnelde afbraak plaats van basenrijke veen- en humuslagen. Vervolgens ontwikkelt zich op de verzuurde toplaag een dik pakket slecht verterend strooisel. Daar waar veel afbraak van humus/veen heeft plaatsgevonden, is veel stikstof vrijgekomen en ontwikkelen zich hoge en dichte struwelen met bramen en stekelvarens. Vaak resteren in verdroogde beekdalbossen alleen nog enkele diep wortelende soorten op natte plekken, zoals Moeraszegge en/of Ruwe smele, of soorten die een tamelijk brede tolerantie voor vocht en zuurgraad hebben. Op veel plekken waar het kwelwater nog wel de wortelzone bereikt, is dit water sterk verrijkt met nitraat en/of sulfaat en is het ijzergehalte en de basenrijkdom sterk afgenomen. Ook hier treedt verzuuring op.

Sommige bossen worden nog wel periodiek overstroomd met beekwater, maar dit is vaak sterk verrijkt met fosfaat, nitraat en sulfaat. Dit, in combinatie met het vaak grote randoppervlak en dus grote stikstofdepositie, heeft in veel verdroogde beekdalbossen tot een flinke verzuuring geleid.

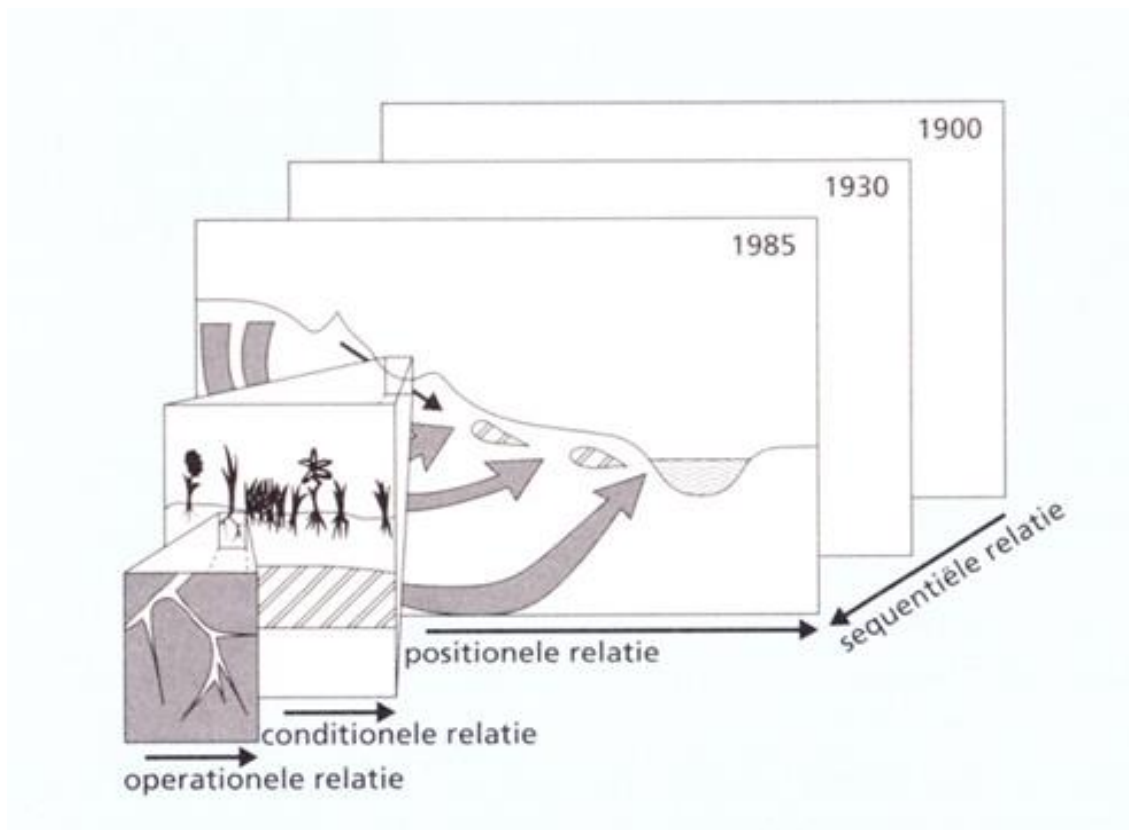
9.2 Sleutelfactoren

Om te komen tot effectieve herstelmaatregelen is het essentieel inzicht te hebben in de sleutelfactoren en -processen. Als duidelijk is welke factoren en processen beïnvloed moeten worden kan er een werkbare herstelstrategie opgesteld worden. In de hoofdstukken 3, 4 en 7 zijn de sleutelprocessen en -factoren geïdentificeerd en uitgebreid beschreven. Bij de veldonderzoeken in hoofdstuk 8 zijn deze getoetst en aangescherpt. Hierbij is duidelijk geworden welke factoren en processen meer en welke minder belangrijk zijn voor vochtige bossen. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de sleutelfactoren in vochtige bossen. Deze sleutelfactoren zijn gerangschikt op grond van het schaalniveau waarop zij werken. Van Wirdum (1979) onderscheidt vier schaalniveaus (zie Figuur 9.1) Op de standplaats heersen condities die op de plantengroei en/of bodemfauna activiteit direct werkzaam zijn, de zogenoemde "operationele" factoren. Deze operationele factoren worden gestuurd door zogenoemde "conditionele" factoren, die op hun beurt weer in belangrijke mate worden bepaald door de de positie die ze innemen in het landschap, de zogenoemde "positionele factoren". Ten slotte onderscheidt Van Wirdum (1979) factoren die in het verleden zijn opgetreden maar ook nu nog van invloed zijn op de standplaats, de zogenoemde 'sequentiële factoren'.

Positionele factoren

Grondwaterstroming en de basen- en nutriëntenrijkdom van het grondwater is afhankelijk van de positie in en gebruik van het landschap (zie hoofdstuk 3).

Grondwaterstroming kan worden gerelateerd aan hydrologische systemen die op verschillende schaalniveaus werkzaam zijn. De waterhuishouding van beekdalbossen maakt meestal onderdeel uit van grotere (bovenlokale en regionale) grondwatersystemen. Door een relatief lange verblijftijd van het grondwater in de bodem is dit veelal basenrijk en ijzerrijk. Door uitspoeling van meststoffen van landbouwgronden kunnen de concentraties sulfaat en/of nitraat hoog zijn, wat gepaard gaat met afname van basen- en ijzerrijkdom. Ook het bos zelf vangt veel meer stikstof in dan lage vegetaties, wat grotendeels als nitraat uitspoelt naar het grondwater. Vooral in vochtige bossen in grote boscomplexen vormt deze invang vaak een groter probleem dan de nitraatuitspoeling uit de landbouw. De dekzandbossen liggen relatief hoog in het landschap en zijn meestal onderdeel van kleinere, lokale hydrologische systemen. Het grondwater is daardoor veelal basenarm. In stagnatiebossen gaat het om schijngrondwaterspiegelsystemen; lokale grondwatersystemen met een dun watervoerend pakket boven een slecht doorlatende laag. Deze leem- of kleilaag is relatief rijk aan ijzer, basische kationen en soms kalk, waarmee het grondwater aangerijkt wordt wanneer het hiermee in contact komt.



Figuur 9.1: Relaties op verschillende schaalniveaus naar Van Wirdum (1979). Overgenomen uit Jalink & Jansen (1995).

Figure 9.1: Relations on different levels of scale, after Van Wirdum (1979). Taken from Jalink & Jansen (1995).

Conditionele factoren

Grondwaterregime en basenrijkdom van het grondwater: De belangrijkste standplaatsconditie is het grondwaterregime (zie hoofdstuk 4). Hiermee wordt de vochttoestand, het zuurbufferend vermogen van de bodem en strooiselomzetting gereguleerd. De duur waarover hoge grondwaterstanden optreden is afhankelijk van aan- of afwezigheid van water ondoorlatende lagen in de bodem en grondwaterstroming. Door neerslag en de toestroming van grondwater treden in het natte seizoen grondwaterstanden op tot in de wortelzone of zelfs tot aan of kortstondig boven maaiveld. Over het algemeen treden hoge grondwaterstanden het kortst op in de vochtige dekzandbossen en het langst in de vochtige beekdalbossen, samenhangend met de grootte van het achterliggende hydrologische systeem.

Zuurgraad en basenverzadiging: De zuurgraad van de bodem beïnvloedt op verschillende manieren de chemische processen in de bodem (zie §4.4, §4.5 en §7.2). Bij een lagere zuurgraad vermindert onder meer de beschikbaarheid van essentiële elementen als magnesium, calcium en kalium. De activiteit van bodemfauna wordt minder en ammonium en aluminium kunnen toxisch worden voor planten. Verzuring treedt op door atmosferische depositie van stikstof (ammonium en nitraat) en sulfaat (in het verleden) en mineralisatie van organische stof. Deze verzuring wordt doorgaans gebufferd door aanwezigheid van basen. In beekdalbossen en stagnatiebossen is de zuurgraad en de bufferingscapaciteit van de bodem over het algemeen hoog. Verzuring treedt hier voornamelijk op in bovenste bodemlagen en wordt onder andere zichtbaar door afnemende soortenrijkdom van de kruidenvegetatie en de mycoflora. In de niet tot zwak gebufferde bodems van dekzandbossen is de verzuring veel dieper de bodem ingedrongen en dit heeft ook negatieve gevolgen voor de vitaliteit van de boom- en struiklaag.

Bodemfauna-activiteit, strooiselomzetting en humusvorming: Een hoge activiteit van bodemfauna zorgt voor een snelle omzetting van strooisel op de bosbodem en de vorming van mull- en moderhumusvormen en dikke endo-organische humuslagen. De humusvorming beïnvloedt ook het vochtleverend vermogen van de bodem en immobilisatie van stikstof en fosfor in stabiele humus.

In het strooisel zitten basische kationen opgeslagen die bij omzetting vrijkomen en voor een verhoging van de basenverzadiging van de bodem zorgen.

Boomsoortensamenstelling; Boom- en struiksoorten met goed verterend strooisel vervullen een sleutelrol bij verbeteren van de strooiselomzetting en verhogen van het zuurbufferend vermogen van de bodem (zie § 4.7). In droge bossen is dat een primaire rol. In vochtige bossen is deze rol aanvullend op aanvoer van bufferstoffen door het grondwater. Uitbreiding van "bodemverzorgers" kan leiden tot een basen- en voedselrijkere bosbodem, zowel door het stimuleren van afbraak van organisch materiaal als door de aanvoer van extra voedingsstoffen en basen. Ook in andere opzichten kan de boomsoortensamenstelling een sleutelrol vervullen in bossen. Naaldhoutsoorten zorgen voor een vochtiger bosklimaat maar ook voor een grotere interceptie en verdamping van regenwater waardoor er minder water kan inzijgen. Met naaldbomen is veelal weer andere (myco-)flora en fauna verbonden dan met loofbomen.

Bosdynamiek en bosstructuur: De meeste bossoorten zijn voor hun voortbestaan afhankelijk van een dynamische bosmozaiek (zie § 4.8) waarbij zowel in ruimte als tijd verschillende bosontwikkelingstadia aanwezig zijn. Elk stadium heeft zijn eigen structuurkenmerken die gezamenlijk de soortendiversiteit van een bos bepalen. Voor fauna (veel keverlarven, maar ook bijv. larven van diverse soorten zweefvliegen en wespen) en flora (veel soorten mossen en schimmels, zaailingen van bomen) zijn liggend en staand dood hout en open plekken (en bosranden) van belang. Van een goede ontwikkeling van de struiklaag zullen broedvogels als Goudvink, Zwartkop en mogelijk Nachtegaal profiteren. Bosranden en open plekken zijn van groot belang voor licht- en warmteminnende soorten, zoals diverse vlinders, zweefvliegen en bijen. Ook de flora profiteert van een rijke structuur: wortelkluiten en liggend dood hout waarop soorten kiemen, open en lichte plekken waar soorten uitbundiger bloeien en zaadzetten, donkere vochtige plekken voor soorten die gevoelig zijn voor uitdroging.

Morfologie: Het reliëf bepaalt in belangrijke mate in hoeverre grondwater in de wortelzone komt. Op laaggelegen plekken zijn de grondwaterstanden en daarmee de basenverzadiging doorgaans hoger dan op hoger gelegen locaties. In het verleden zijn op veel plaatsen bodems verhoogd door rabatten aan te leggen. Het reliëf bepaalt ook de vrije afstroming van oppervlaktewater over maaiveld.

Operationele factoren

Beschikbaarheid van nutriënten: Van nature wordt de groei van planten in bossen vooral door stikstof en in mindere mate door fosfor en kalium gelimiteerd. Door atmosferische stikstofdepositie en door strooiselophoping als gevolg van verzuring zijn er grote hoeveelheden stikstof en fosfor opgeslagen in de humus- en strooisellaag. Bij vernatting kunnen deze vrijkomen en zorgen voor een ongewenste verrijking. De mate waarin nutriënten beschikbaar komen bij vernatting hangt af van een aantal omstandigheden en kan worden beschouwd als een belangrijke kennislacune. Stikstof en fosfor komen vrij bij een versterkte mineralisatie. Dit kan het gevolg zijn van een gestegen pH, bijvoorbeeld na herstel van aanvoer van basenrijk water. Ook na sterfte of kap van bomen treedt versterkte mineralisatie op doordat de bosbodem dan sterk kan opwarmen. Aan de andere kant zijn er ook mechanismen waardoor stikstof en fosfor worden vastgelegd. Fosfor kan binden aan ijzerrijke, minerale bodems (klei, leem). Ook worden veel nutriënten vastgelegd in stabiele humus en in de biomassa van bodemfauna en mycoflora. Veranderingen in de humusvorming hebben dus grote invloed op de beschikbaarheid van nutriënten.

Schadelijke effecten overmaat stikstof: de hoge stikstofdepositie leidt in combinatie met sterke verzuring tot toxische effecten van ammonium voor zowel ondergroei als boomlaag (van Dijk e.a., 1989). Ook nemen snelgroeiende soorten toe ten koste van de vele soorten die aangepast zijn aan lage beschikbaarheid van stikstof. Vraag is in hoeverre deze schadelijke effecten ongedaan gemaakt worden door bijvoorbeeld vernatting of herstel van de basenverzadiging.

Vochtbeschikbaarheid: wordt in hoge mate bepaald door het grondwaterregime en het vochtleverend vermogen van de bodem. Op zandbodems bepaalt de grondwaterstand de vochtbeschikbaarheid in het groeiseizoen. Op klei- en leembodems kan het vochtleverende vermogen in het groeiseizoen op peil blijven ook als de waterstanden in de zomer diep wegzakken. Ook aanwezigheid van dik dood hout en dikke humuslagen kunnen plaatselijk zorgen voor een hogere vochtigheid van de bodem. In vochtige bossen is de vochtvoorziening aan het begin van het groeiseizoen goed. Voor een groot deel van de vochtminnende plantensoorten en mogelijk ook voor een actievere bodemfauna is ook een goede vochtvoorziening in de loop van het groeiseizoen essentieel.

Stapeling van ruwe humus belemmert vestiging van kenmerkende plantensoorten. Een dikke strooisellaag vormt veelal een fysieke barriere voor vestiging van mossen, kruidachtige planten maar ook verjonging van bomen en struiken. Plekken waar deze ontbreekt (steilranden, dood hout, wortelkluiten) zijn daardoor meestal soortenrijker. De dikte van de strooisellaag wordt beïnvloed door de activiteit en diversiteit van de bodemfauna.

Sequentiële factoren

De wijze van aanleg en historisch bosgebruik weerspiegelt zich in de bosstructuur en de boomsoortensamenstelling van vochtige bossen (zie §7.4.2). Als gevolg van een grootschalig en op houtproductie gericht bosbeheer wijken de structuur en de samenstelling sterk af van meer natuurlijke bossen. De huidige bossen bestaan grotendeels uit uniforme, gelijkjarige naaldhoutopstanden, populieren- of spaartelgenbossen, waarin dood hout nog een zeer bescheiden rol speelt. Veel diersoorten, maar ook mycorrhizapaddenstoelen en epifytische mossen hebben een voorkeur voor jongere dan wel oudere bomen. Een uniforme leeftijdsopbouw beperkt daarom ook op directe wijze de biodiversiteit.

Veel vochtige (en ook natte) bossen zijn in het verleden geschikt gemaakt voor houtteelt door *ontwatering en rabattering* (zie § 7.4.1) . Hiermee werden vooral lokale grondwaterstromen beïnvloed (stagnatiebossen en dekzandbossen) of werd alleen lokaal de invloed van kwel minder (beekdalen). De rabattenbossen vormen nu in meerdere opzichten een knelpunt bij het herstel van vochtige bossen. Het oorspronkelijke reliëf van geulen en ruggen met natuurlijke uitwijkmogelijkheden voor soorten van natte, vochtige en droge standplaatsen is door rabattering vervangen door uniform droge (verdroogde) en sterk omgewerkte (gehomogeniseerde) bodems, doorsneden door greppels.

Voor de *optimalisatie van de landbouw* na de tweede wereldoorlog zijn landbouwgronden grootschalig heringericht en is de ontwatering sterk (voor de landbouw) verbeterd. In veel vochtige bossen zijn de grondwaterstanden daardoor in de tweede helft van de vorige eeuw sterk gedaald. De effecten hiervan zijn het sterkst merkbaar in de beekdalbossen die onderdeel vormen van grotere grondwatersystemen. Ook stagnatiebossen en dekzandbossen die onderdeel zijn van kleinere boscomplexen of bosgebieden met inliggende landbouwencaves zijn door deze landinrichtingswerken verdroogd. Naast verdroging is ook de kwaliteit van het grondwater beïnvloed door bemesting van landbouwgronden. Inziggend regenwater onder landbouwgronden bevat hoge concentraties van het mobiele nitraat wat in vochtige bossen tot verzuring en vermessing kan leiden.

9.3 Wegen naar herstel

De meeste vochtige bossen, vooral die van heideontginningen maar ook van voormalige hakhoutpercelen en tot productiebossen omgevormde oudere bossen, bevinden zich in Nederland nog in een jonge fase. Voor ontwikkeling van een gevarieerde structuur, diepe humusrijke bodem en een meer oorspronkelijke boomsoortensamenstelling is nog een lange weg te gaan en is het toelaten c.q. door inleidend beheer bevorderen van verdere bodem- en structuurontwikkeling de belangrijkste manier van herstel. Vanwege verdroging, zuurdepositie en stikstofdepositie wordt de gewenste ontwikkeling echter verstoord. Daarom zijn (brongerichte) maatregelen noodzakelijk gericht op het wegnemen van de oorzaken van de ongewenste ontwikkelingen. Vervolgens kunnen met effectgerichte maatregelen de erfenis van deze milieuproblemen worden opgeruimd. De herstelmaatregelen kunnen in twee groepen onderverdeeld worden:

- Maatregelen die bewezen effectief zijn en waarvan vaststaat dat de negatieve bijwerkingen minimaal zijn: "no-regret"-maatregelen
- Experimentele maatregelen, waarvan de effectiviteit niet bewezen is of de eventuele bijwerkingen nog onvoldoende bekend zijn.

Er is een duidelijke hiërarchie in invloed die maatregelen hebben op standplaatsfactoren en herstelprocessen van vochtige bossen. Deze hiërarchie bepaalt de prioritering van de uitvoering van de maatregelen. Een effectieve herstelstrategie voor een vochtig bos loopt via herstel van de hydrologie en bosdynamiek (herstel op landschapsschaal) naar maatregelen op standplaatsniveau (strooisel verwijderen en aanplant van boomsoorten met milde humus). De volgende maatregelen zijn te onderscheiden (in volgorde van prioritering).

9.3.1 No-regret maatregelen

Herstel van de hydrologie

De evaluatie van vernattingsmaatregelen laat zien dat voor een breed scala van vochtige bossen het herstel van de hydrologie sturend is voor herstel van bossen. Hiermee kan tegelijkertijd verzuring worden bestreden en mogelijk ook een deel van de vermessing ongedaan gemaakt worden, hoewel een (tijdelijke) piek in nutriëntenbeschikbaarheid kan optreden. Hydrologisch herstel betekent vooral herstel van de grondwaterstromingen. Dekzandbossen en stagnatie bossen maken onderdeel uit van lokale grondwatersystemen. Herstel van de hydrologie is daardoor vaak al mogelijk met maatregelen in of in de directe omgeving rondom het bos – en natuurgebied. Voor hydrologisch herstel in beekdalen zullen vaak ook maatregelen op grotere afstand nodig zijn om de toestroming van grondwater te versterken. Toch blijkt ook hier met lokale maatregelen, zoals dempen van sloten in of in de directe omgeving van het bosgebied, al een aanzienlijke toename van basenrijke kwel te realiseren.

Via het grondwater worden basen aangevoerd waarmee verzuring kan worden bestreden en wordt ijzer aangevoerd waarmee fosfaat kan worden vastgelegd. Nitraatuitspoeling uit landbouwgronden of grote boscomplexen leidt tot verlaging van de gehalten aan basen en ijzer. Wanneer dat het geval is, zal ook het landgebruik in het hydrologisch voedingsgebied kritisch moeten worden bekeken.

Herstel van oorspronkelijk reliëf

De bodems van veel vochtige bossen zijn vergraven. Grote delen zijn op rabatten gezet en oorspronkelijke slenpatronen zijn voorzien van dammen en dijken die oppervlakkige afstroming belemmeren. Vooral daar waar rabatten bestaan uit sterk verhoogde bedden en diepe greppels is het herstellen van het oorspronkelijk reliëf een ingrijpende maar onvermijdelijke ingreep voor herstel van soortenrijk vochtig bos. De manier waarop dit het beste kan worden uitgevoerd vormt nog een kennislacune. Optimaal zou zijn indien de opgebrachte grond weer kan worden teruggestort in de greppels, zodat het oorspronkelijke bodemprofiel zo veel mogelijk wordt hersteld, waarbij de opgehoopte ruwe humus het kan beste worden afgevoerd om vermessing te voorkomen.

Aanpassen van de boomsoortensamenstelling

Omvorming van productieopstanden met aangeplante naaldbomen is een maatregel die bijdraagt aan minder verdamping, een beter lichtklimaat en een meer oorspronkelijke soortensamenstelling. De humusvorming en basenverzadiging kunnen verbeterd worden door verhogen van het aandeel van soorten met goed verderend strooisel in de boomlaag ten opzichte van soorten als Grove den, Fijnspar, Douglasspar, Zomereik, Amerikaanse eik en Beuk. Soorten die hiervoor in aanmerking komen zijn onder meer Hazelaar, Boswilg, Ratelpopulier, Gewone esdoorn, Gewone es, Winterlinde, Zoete kers en Haagbeuk (Hommel et al. 2007). De keuze van de in te brengen boomsoorten zou een relatie moeten hebben met de regionale aanwezigheid van inheemse boomsoorten (zie § 7.4.2.). Voor *dekzandbossen* is het nog grotendeels onbekend welke soorten hier toegepast kunnen worden omdat goede referenties ontbreken. Aanplant zou beperkt moeten blijven tot Boswilg, Ratelpopulier en eventueel Gewone esdoorn en Hazelaar. Voor aanplant van meer eisende soorten is onderzoek wenselijk om te bepalen of deze zich hier onder natuurlijke omstandigheden gevestigd zouden hebben.

Ontwikkelen van een meer natuurlijke bosstructuur

Bossen in Nederland zijn relatief jong en dat is voor bossen op (potentiële) vochtige standplaatsen niet anders. Een structuur waarbij verschillende ontwikkelingsfasen zich in ruimte en tijd afwisselen heeft nog niet kunnen ontstaan. Vooral de oudere fasen met een gelaagde structuur en de vervalfase ontbreken veelal. Daardoor is ook de open fase nog ver weg. Zonder menselijk ingrijpen zal het vele decennia zo niet eeuwen duren eer er een voor bossen kenmerkende variatie in bosontwikkelingsfasen ontstaan is. Onbekend is of dergelijke open plekken door stikstofdepositie versneld dichtgroeien of sowieso nog wel ontstaan. Door actief in te grijpen kan de structuurvorming versneld worden. Hierbij moet gedacht worden aan (variabel) dunnen van opstanden en aan groepenkap.

Verbinden en uitbreiden van bossen (opheffen isolatie)

Opheffen van de versnippering van bestaande nog (betrekkelijk) goed ontwikkelde vochtige bossen wordt deels bereikt na uitvoering van bovenstaande maatregelen. Aldus wordt de kwaliteit van de huidige vochtige bossen verbeterd en ontstaan grotere, meer aaneengesloten (betrekkelijk) goed ontwikkelde vochtige bossen.

Daarnaast kan omvorming van aangrenzende of inliggende landbouwlandbouw wenselijk zijn voor de opheffing van isolatie van vochtige bossen. Deze landbouwgronden kunnen worden omgevormd naar bos, maar omvorming naar andere vochtige en schrale natuur is vaak al voldoende om de negatieve invloed van de landbouw sterk te beperken.

Vermindere stikstofdepositie

Het verminderen van de stikstofdepositie kan vooral in kleine boscomplexen gerealiseerd worden door aanleg van extra bosstroken aan de buitenrand die stikstof wegfilteren (Verhagen & Van Diggelen, 2006) en door het verwijderen van puntbronnen van stikstofemissie.

9.3.2 Additionele maatregelen (geen "no-regret")

Verwijdering van strooisel, ruwe - en amorfe humus

Een dik strooiselpakket belemmert de vestiging van kenmerkende planten en in het strooisel is een groot deel van de nutriënten opgeslagen die, wanneer deze voor de vegetatie beschikbaar komen, tot verzuuring leiden. Verwijderen van strooisel en/of verzuurde vegetatie is in bepaalde gevallen daarom wellicht een nuttige maatregel. Naast argumenten om strooisel te verwijderen, zijn er ook argumenten om dit niet te doen. Zo wordt met het strooisel ook een groot deel van de in het strooisel opgeslagen basen afgevoerd en een groot deel van de bodemfauna verwijderd. In hoofdstuk 10 worden de voor- en nadelen nader uitgewerkt en worden aanbevelingen voor vervolgonderzoek aangegeven.

Kleinschalig plaggen of verwijderen van strooisellaag is waarschijnlijk als tijdelijke maatregel gewenst om relictpopulaties te behouden in afwachting van duurzamere maatregelen. Zolang dit beperkt blijft tot kleinschalige ingrepen kan het ook zonder nader onderzoek toegepast worden.

Bekalking

Toevoegen van kalk of kalkrijke materialen is geen voor de hand liggende maatregel zo lang er via het grondwater op meer natuurlijke wijze weer buffering op kan treden. Misschien is het een zinvolle maatregel in dekzandbossen die verzuurd zijn als gevolg van atmosferische depositie. Via natuurlijke processen wordt de zuurbuffering maar heel langzaam hersteld terwijl er tegelijkertijd nog steeds verzuring door stikstofdepositie optreedt. Waarschijnlijk is het nuttig eerst de aanwezige zure strooisellaag te verwijderen en dan te bekalken. Beide maatregelen zijn in bossen echter nog niet goed onderzocht en moeten met de nodige terughoudendheid toegepast worden. Evenals bij vernatting kan een te sterk oplopende pH de mineralisatie sterk versnellen en kan een piek in nutriëntenbeschikbaarheid optreden. Er zijn ook basenrijke materialen die minder snel verweren, zoals steenmeel, waarbij mogelijk aanvulling van basen kan plaatsvinden zonder dat een pH-piek optreedt.

Het inbrengen van plagsel na strooiselverwijdering

Een andere mogelijkheid na het verwijderen van dikke pakketten ruwe en amorfe humus is het inbrengen van plagsel uit bossen met een goed ontwikkelde bovenste humuslaag (mond. med. R. Bobbink) waardoor (microbiële) bodemflora en -fauna wordt ingebracht en het sleutelproces van humusvorming wordt hersteld c.q. bespoedigd. Dit heeft bewezen goed te werken in o.a. graslanden en heidevelden.

(Her)introductie

Behalve de samenstelling van de boomlaag kan ook de samenstelling van de ondergroei of de (bodem)fauna worden gewijzigd. Er kunnen soorten worden geïntroduceerd die invloed hebben op de strooiselomzetting (bodemfauna), of doelsoorten die grote moeite hebben om het terrein spontaan te bereiken. In veel restanten van vochtige bossen zijn nog wel relictpopulaties aanwezig en staat behoud van dit genetisch materiaal voorop. In zulke gevallen is herintroductie geen no-regret maatregel!

9.3.3 Overige maatregelen

Herstel hakhoutbeheer?

Voor soorten van stagnatiebossen hebben geprofiteerd van of hebben zich kunnen handhaven dankzij hakhoutcultuur. Voor herstel van vochtige bossen is het breed hernieuwen van de hakhoutcultuur echter geen duurzame oplossing. Het is een intensieve beheersvorm, waarbij door strooiselroof en verwijderen van tak- en tophout nauwelijks humusvorming optreedt en een natuurlijke bosstructuur ontbreekt. Hakhoutcultuur is veelal de aanleiding geweest voor rabattering

en bodembewerking en daarmee het verdwijnen van het oorspronkelijke reliëf. Tenslotte zijn de biotische en abiotische randvoorwaarden waardoor soorten van de hakhoutcultuur hebben kunnen profiteren, door verzuring, verdroging en vermesting sterk veranderd, waardoor het nog maar de vraag is of deze soorten nu nog op dezelfde wijze van hakhoutbeheer kunnen profiteren. Waar hakhout vanuit cultuurhistorisch oogpunt wenselijk is kan overwogen worden het in stand te houden. Vanuit economische- en ecologisch oogpunt is een omvorming zoals dat hierboven voor de vochtige bossen beschreven wordt eerder aan te bevelen. Wel moet goed worden gelet op relictpopulaties van lichtbehoevende soorten. Deze kunnen bij staken van de hakhoutcultuur snel verdwijnen en behoud van enige open plekken is dan nodig totdat de benodigde diversiteit in bosstructuur zich gevormd heeft.

9.3.4 Aandachtspunten bij het nemen van herstelmaatregelen

Geleidelijk of in één keer?

Bij vernatting in vochtige (en natte) bossen speelt vaak de vraag of dit via een geleidelijke weg dient te gebeuren of in één keer. Het aanwezige bos heeft zich aangepast aan een veelal verdroogde situatie. Bomen zijn dieper gaan wortelen op zoek naar vocht; flora, fauna en fungi van vochtige bossen hebben zich teruggetrokken in de natste delen van het bos of in de greppels; en in de bodem zijn door de gedaalde waterstanden allerlei oxidatieprocessen gaan optreden. Een geleidelijke vernatting is doorgaans wenselijk om soorten de tijd te geven zich aan te passen of een nieuwe plek te vinden, en om ongewilde chemische en biologische processen in de bosbodem te voorkomen, maar is lang niet altijd mogelijk c.q. praktisch realiseerbaar.

Een eenmalige ingreep is dan vaak te verkiezen boven een geleidelijke aanpak. Aan de verdroogde situatie kan zo in één keer een einde gemaakt worden waarna het bos met rust gelaten kan worden en zich aan de nieuwe situatie kan aanpassen. Soorten verspreiden zich bovendien vaak erg langzaam en daarop wachten met vervolgmaatregelen betekent dat het hydrologisch herstel erg lang gaat duren. Vaak is er maar één keer financiering voor een maatregel. En zoals gezegd, geleidelijke vernatting is in veel gevallen gewoonweg praktisch niet haalbaar. Ook voor deze situatie bestaan goede mogelijkheden om bijzondere soorten te behouden zoals tijdelijke evacuatie of verplaatsen naar een nabij gelegen en na vernatting geschikte locaties.

Behoud van relictpopulaties en oude bomen.

Hydrologische maatregelen mogen zoals gezegd niet leiden tot verdwijnen van relictpopulaties van kenmerkende soorten. Andersom mogen dergelijke relictpopulaties het hydrologisch herstel niet in de weg staan. Nu zijn refugia van relictpopulaties door verdroging veelal klein van oppervlakte terwijl het doel van de maatregelen juist is om de standplaats over een veel groter gebied weer geschikt te maken voor deze soorten. Tijdelijke evacuatie en weer uitplanten nadat – en dat is meestal na één jaar – de nieuwe waterhuishouding zich heeft ingesteld is een heel praktische, begeleidende maatregel indien voor hydrologisch herstel noodzakelijke maatregelen toch leiden tot het verdwijnen van de refugia van zulke soorten. De soorten of matten vegetatie worden dan gebracht naar die locaties, waar zich onder het nieuwe grondwaterregime de juiste standplaatscondities zullen ontwikkelen / hebben ontwikkeld, dus niet op de oude wijkplaatsen.

Voor oude bomen en lanen is verplaatsen geen optie. Hier kan worden gekozen voor een (zeer) geleidelijk vernatting waarbij de boomwortels de tijd krijgen zich aan de nieuwe grondwaterstanden aan te passen. Waar zeer grote waarde gehecht wordt aan zulke elementen kan worden besloten de waterstanden niet te verhogen. Indien sprake is van uniek genetisch materiaal (bijvoorbeeld van autochtone herkomsten) kan eerst vermeerdering plaatsvinden opdat nakomelingen op een geschikte plek hoger in de vochtgradient kunnen worden uitgeplant.

Prioritering van te herstellen (bos)gebieden

De focus voor herstel van vochtige bossen moet daar liggen waar de kansrijkdom voor herstel van soortenrijke vochtige bossen het grootst is óf waar nog populaties van oudbossoorten voorkomen die zonder herstelmaatregelen op termijn verdwijnen. Dat zijn vochtige bossen

- die onderdeel zijn van grote bos- en natuurterreinen. Hierdoor is de stikstofbelasting in de boskernen relatief gering en de mogelijkheden om hydrologische maatregelen te nemen relatief groot;
- waar de waterhuishouding nog het minst aangetast is;
- waar de waterhuishouding sterk is aangetast maar de mogelijkheden voor hydrologisch herstel groot zijn. Bijvoorbeeld gebieden met veel en diepe interne ontwateringsmiddelen;
- waar nog veel kenmerkende soorten groeien;

- locaties met een geschikte bodem voor soortenrijk bos, dat wil zeggen met een niet-uitgeleogde, maar voedselarme bodem. Bijvoorbeeld zand- en leemgroeven, populierenpercelen.

Uitbreiding van (vochtige) bossen op niet vermeste percelen

Op voormalige landbouwpercelen die ingericht worden voor de natuur wordt ten onrechte vaak niet gedacht aan herstel van soortenrijke vochtige bossen. Onder de voedselrijke bouwvoor ligt vaak een onverzuurde en voedselarme bodem. Aangezien de verzurende depositie sterk is afgenomen, kan zich op een dergelijk bodem in korte tijd een soortenrijk bos ontwikkelen. Op gediëpplote of geplagde landbouwpercelen zijn daar diverse voorbeelden van: nabij Kolham (Arnolds, Douwes & Somhorst, 2004), en op percelen grenzend aan de Appelse heide. Vrijwel alle natuurontwikkeling op dergelijke percelen is nu gericht op lage begroeiingen, terwijl de percelen die tot op grote diepte met mest doordrenkt zijn bij voorkeur gebruikt worden voor aanplant van "bos". Inmiddels is wel aangetoond dat daar ook na vele tientallen jaren vooral nog bramen en brandnetels woekeren (Baeten et al, 2010).

9.4 Aandachtspunten en aanbevelingen voor maatregelen

Op korte termijn liggen er grote potenties voor herstel of verdere ontwikkeling van vochtige bossen, mede doordat er veel maatregelen zijn die bewezen effectief zijn en veelal weinig schadelijke bijwerkingen hebben indien ze degelijk zijn voorbereid d.w.z. waarbij van te voren mogelijke risico's in beeld zijn gebracht en hoe daar mee om te gaan. Deze maatregelen zijn opgesomd in Tabel 9.1.

9.4.1 Hydrologische maatregelen

Allereerst is het voor het nemen van hydrologische maatregelen essentieel dat er een goed inzicht is in de werking van het hydrologisch systeem ter plaatse. Zonder goed inzicht is het moeilijk de juiste maatregelen te nemen die effectief zijn en geen ongewenste neveneffecten veroorzaken. Dat betekent dat een hydro-ecologische of landschapsecologische systeemanalyse (LESA) dient te worden uitgevoerd (Van der Molen, Baaijens, Grootjans & Jansen, 2010; 2011), waarin knelpunten in het functioneren en mogelijke belemmeringen bij herstel worden beschreven, op grond waarvan concrete herstelmaatregelen worden beschreven, inclusief de aandachtspunten bij (de wijze van) de uitvoering.

Tabel 9.1: Overzicht van praktijkrijpe maatregelen.

Table 9.1: Overview of ready to use measures.

Maatregel	Dekzand- bos	Stagnatie- bos	Beekdal- bos
<u>Hydrologische maatregelen</u>			
Herstel kwel basenrijk grondwater			x
Herstel lokaal grond- en oppervlaktewatersysteem	x	x	
Kwaliteit uittredend grondwater verbeteren	(x)	x	x
<u>Herstel oorspronkelijk reliëf</u>			
Verwijderen rabatten	x	x	x
Herstel slenken en ruggen	x	x	x
<u>Aanpassen bosbeheer</u>			
Variabel dunnen en groepenkap	x	x	x
Dood hout, wortelkluiten en -kuilen	x	x	x
Aanleggen bosrefugia in multifunctioneel bos	x	(x)	(x)
<u>Bosomvorming</u>			
Omvormen van naald- naar loofhout	x	x	x
Omvormen naar boomsoorten die meer overeenkomen met de oorspronkelijk boomsoortensamenstelling	x	x	x
<u>Vermindering stikstofdepositie</u>			
Verwijderen/reduceren nabijgelegen puntbronnen	x	x	x
Aanleg extra bufferstroken (bos)	x	x	x

Herstel van kwel met basenrijk grondwater

In vochtige beekdalbossen moet voorrang worden gegeven aan die locaties waar basenrijke kwel tot in maaiveld (betrekkelijk) eenvoudig kan worden hersteld. Dit kan door de grondwatervoorraad te vergroten door het stimuleren van wegzijging in de inzijsgebieden (op de hoger gelegen gronden) en/of de kwaliteit van het inzijsende water te verbeteren. Minstens zo belangrijk is echter de afvoer van uitgetreden grondwater (kwelwater) tegen te gaan of te beperken in het gebied zelf of de aangrenzende gronden. In beekdalbossen die vaak deel uitmaken van grotere (bovenlokale) grondwatersystemen zijn doorgaans maatregelen nodig buiten de bossen zelf, zowel in de inzijsgebieden als de terreinen in de directe omgeving waar diepe sloten het grondwater draineren. De mogelijkheden daartoe zijn vaak beperkt omdat de omgeving in agrarisch gebruik is en eerst verworven moet worden. In heel veel gevallen blijkt het echter mogelijk om door aanpassing van de ontwatering de toestroming van grondwater te vergroten terwijl de ontwatering van de landbouwgronden voldoende gegarandeerd blijft. Aandachtspunt hierbij is dat nitraatuitspoeling uit de landbouw niet te zeer leidt tot afname van de rijkdom aan ijzer en basen in het grondwater.

Heel vaak blijken er ook binnen het bos- en natuurgebied ontwateringsmiddelen aanwezig die veel grondwater draineren. Wanneer dat het geval is, en deze watergangen worden niet gedicht of verondiept (verhogen van sloop- of beekbodems), dan zal de vergrote grondwateraanvoer na het nemen van antiverdrogingsmaatregelen buiten het bos grotendeels naar deze watergangen stromen en in grote delen van het vochtige bos nooit de wortelzone van de vegetatie kunnen bereiken. Het verminderen van de drainerende werking van sloten en greppels in het bos is meestal alleen effectief door deze geheel te dempen. Vaak ligt het oorspronkelijke materiaal nog naast de greppel en kan eenvoudig worden teruggeschoven. Afdammen of opstuwen werkt onvoldoende omdat daarbij de stromingsweerstand voor het water maar over een korte afstand toeneemt.

Herstel van lokale grond- en oppervlaktewatersysteem

De *stagnatiebossen* en de *vochtige bossen van de dekzanden* worden vooral gevoed door neerslagwater en lokaal grondwater. In de winter bouwt zich in de hogere delen een grondwatervoorraad op die gedurende de winter en het voorjaar zorgt voor aanvoer van lokaal grondwater naar de lagere delen dan wel het uittreden van onderliggend basenrijk grondwater bevordert (Jansen et al., 2001). Kenmerkend voor stagnatiebossen is dat ook de lokale grondwaterstromen vaak basenrijk zijn door aanrijking vanuit de leem- en kleilagen waarmee deze grondwaterstromen in contact komen. De lagere delen bestaan voor een groot deel uit ketens van laagten die via stroming van oppervlaktewater of grondwater met elkaar waren verbonden. Het herstellen van lokale grondwatersystemen kan bereikt worden door i) dempen van alle ontwatering op de hogere delen, ii) omvormen van de naaldbossen naar loofbossen of heiden op de hogere delen, en iii) het dempen van alle sloten in de laagten waardoor laagten periodiek kunnen inunderen, er een drukverschil kan worden opgebouwd waardoor onderliggend basenrijker grondwater kan worden uitgeperst en er laterale afstroming van lokaal grondwater over maaiveld ontstaat.

Indien watergangen door de slecht doorlatende leemlaag zijn gegraven, moeten dergelijke lekken worden gedicht met leem van een vergelijkbare doorlatendheid tot aan de bovenzijde van de leemlaag. Daarboven wordt de watergang gedempt met zand dat in samenstelling overeenkomt of sterk lijkt op het zand naast de watergang.

Voorals waar stagnatiebossen en beekdalbossen onderdeel uitmaken van grotere bos- en natuurterreinen is het herstel van de lokale grondwatersystemen zeer kansrijk maar wordt tot op heden nog maar weinig benut zijn. Vaak zal ook buiten de grenzen van het bos of het natuurterrein moeten worden gekeken naar mogelijkheden tot hydrologisch herstel. Verhoging van de stijghoogte van het grondwater in het onderliggende watervoerende pakket draagt bij aan vermindering van de wegzijging en daardoor aan versterking van de lokale grondwaterstromen.

Verbeteren van de kwaliteit van het toestromend grondwater

Vaak is het grondwater beïnvloed door uitspoeling van nitraat uit landbouwgronden of in mindere mate uit bossen wat op zijn beurt weer kan leiden tot hogere concentraties sulfaat, calcium en magnesium en lagere concentraties ijzer in het grondwater. Vooral in de nattere delen kan een slechte grondwaterkwaliteit leiden tot verzuuring als gevolg van aanvoer van nitraat of mobilisatie van fosfaat. Beperking van de nitraatuitspoeling kan dus nodig zijn voordat gedacht kan worden aan herstel van de grondwateraanvoer. Dit probleem speelt nog sterker in natte bossen en is dus

zeker een aandachtspunt bij vernatting als de laagste delen van het bos zich ontwikkelen tot broekbossen.

9.4.2 Herstel oorspronkelijk reliëf

Verwijderen van rabatten

Het verwijderen van rabatten is meestal een zeer ingrijpende maatregel. Het op de rabatten groeiende bos moet ervoor worden gekapt, de geaccumuleerde strooisel- en humuslaag worden geplagd en afgevoerd en vervolgens zal de grond van de rabatten terug in de greppels geschoven moeten worden, waarna er een soort maanlandschap achterblijft. Wanneer de waterhuishouding op orde is zal dit echter van korte duur zijn. Binnen enkele jaren staat er een dichte verjonging met een meer natuurlijke boomsoortensamenstelling dan voor de ingreep en zullen ook geleidelijk kenmerkende soorten van vochtige bossen terugkeren. De maatregel kan zonder schade aan bestaande waardevolle begroeiingen worden toegepast wanneer bomen gekapt worden voor bosvorming (bijvoorbeeld bij populierenvellingen) en wanneer geen bijzondere natuurwaarden aanwezig zijn.

Rabatten kunnen ook cultuurhistorisch waardevol, en soms zelfs beschermd zijn. Rabattering is echter op dusdanig grote schaal toegepast dat hun cultuurhistorische waarde niet op elke locatie een argument mag zijn voor de instandhouding van rabatten.

Herstel van slenkepatronen

Vergraven slenken moeten zoveel mogelijk hersteld worden om de natuurlijke afstroming over maaiveld te herstellen. Meestal betekent dit dat wegen, paden of dammen die opgeworpen zijn om de toegankelijkheid van een gebied te verbeteren verwijderd moeten worden.

9.4.3 Beheermaatregelen

De bossen in Nederland zijn relatief jong waardoor een dynamisch bosmozaïek waarin aftakeling en verjonging elkaar in ruimte en tijd afwisselen nog ver weg is. Het ontwikkelen van een voor bossen gevarieerde structuur en leeftijdsopbouw is een geleidelijk proces wat via het beheer geregeld kan worden. In natuurbossen geldt dit beheer als inleidend- of overgangsbeheer, wat volgehouden zou moeten worden totdat de oudste delen van het bos in de vervalfase komen. Vanaf dat moment zal in theorie door spontane sterfte en verjonging de structuurvariatie in stand blijven. In multifunctionele bossen kan door aangepast beheer een dynamische bosmozaïek kunstmatig in stand gehouden worden en in veel bossen wordt dat al in praktijk gebracht. Bij groepenkap worden open plekken gecreëerd en de successie teruggezet. Bij variabel dunnen worden delen van het bos niet gedund en delen licht tot sterk gedund. Hierdoor wordt de successie van opeenvolgende ontwikkelingsfasen versneld doorlopen. Niet gedunde delen blijven dicht en in gedunde delen wordt de diktegroei van vrijgezette bomen gestimuleerd en ontstaat er sneller een struiklaag (gelaagd bos). Hout wat vrijkomt bij de ingrepen kan het best blijven liggen om sneller een (dik) dood hout voorraad op te bouwen. Bomen die spontaan dood gaan, omwaaien of afbreken zouden in ieder geval moeten blijven liggen of staan.

Variabele dunning en groepenkap

Ontwikkelen van een gevarieerde structuur kan via periodieke dunningen waarbij eens in de 10 jaar een deel van het bomenbestand (richtlijn circa 25% van het stamtal) gekapt wordt. Om een gevarieerde structuur te krijgen en te behouden moeten de volgende aandachtspunten in de gaten gehouden worden:

- Gevarieerd dunnen waarbij delen van opstanden niet gedund worden en delen sterk gedund worden;
- Groepenkap op 5 a 10% van de oppervlakte, variërend in grootte van 0,05 tot 0,4 ha (1 à 2 maal de boomhoogte);
- Bevoordelen van dikke bomen, inheemse (loof)bomen, bomen met goed verterend strooisel, bijzondere boom- en struiksoorten door juist deze licht en ruimte te geven;
- Dood hout en dode bomen die spontaan ontstaan laten liggen/staan. Aanvullend extra dood hout laten liggen en bomen ringen;
- Delen met kwetsbare soorten ontzien: niet berijden met machines en geen sterke dunningen of groepenkap. Alleen indien nodig dunnen en hout laten liggen;
- Opeengekapte plekken kunnen eventueel een goed aanknopingspunt zijn voor aanvullende maatregelen zoals egaliseren van rabatten en aanplant.

Rekening houden met vernattingseffecten

In veel gevallen ontstaat er door vernatting een grotere dynamiek waardoor spontaan veranderingen in de bosstructuur optreden. Waar grondwater tot in de wortelzone reikt zullen bomen sterven die zich niet snel genoeg aan hogere grondwaterstanden weten aan te passen. Ook treedt meer windworp op omdat de bomen een vlakker wortelstelsel ontwikkelen. Op de opengevallen plekken treedt verjonging op, vaak zelfs in grotere dichtheden omdat door een betere afbraak van de strooisellaag een beter kiembed ontstaat. Dit leidt tot een veel natuurlijker patroon dan met kunstmatige ingrepen gerealiseerd kan worden. Om deze spontane processen een kans te geven is het aan te bevelen de eerste 20 jaar na vernatting geen aanvullende beheeringrepen uit te voeren en ook na die tijd aan te kijken of het nog wel nodig is om in te grijpen.

Instellen van bosrefugia binnen multifunctionele bossen

Veel vochtige bossen maken onderdeel uit van grotere boscomplexen met deels een houtproductiefunctie (multifunctionele bossen). De vochtige en natte delen zijn bij uitstek geschikt om een permante natuurfunctie te geven. Dit worden bosrefugia genoemd. Door de betere vochtvoorziening en zuurbuffering komen hier meer bijzondere planten- en diersoorten voor. Vaak zijn dit de plekken die moeilijker te exploiteren zijn omdat de draagkracht van de bodem te gering is voor de houtoogstmachines. Door het instellen van bosrefugia binnen een multifunctioneel boscomplex kunnen natuurwaarden sterk toenemen door een grotere variatie in vochthuishouding en zuurbuffering en aanwezigheid veel dik dood hout en dikke, oude bomen.

9.4.4 Omvorming van de boomsoortensamenstelling

Onder omvorming wordt hier het actief ingrijpen in de samenstelling van de boomlaag verstaan, zodat deze samenstelling weer meer gaat lijken op die van het oorspronkelijke vochtige bos. Dit kan bereikt worden door i) *vrijstellen* van alle in het betreffende bos nog aanwezige inheemse loofbomen en struiken. Bijzondere aandacht verdienen daarbij de zeldzamere soorten zoals Fladderiep, Tweestijlige meidoorn en Wegedoorn. Door vrijstellen blijven deze soorten behouden en kunnen sneller voor verjonging gaan zorgen. En ii) door *aanplant* van inheemse loofbomen (uitgezonderd Zomereik en Beuk), waar deze te schaars zijn om via natuurlijke verjonging een representatief aandeel in de volgende generatie bos te krijgen.

Omvorming van naaldhout naar inheems loofhout

Daar waar naaldhout (en/of Amerikaanse eik) is aangeplant, ligt een omvorming naar inheems loofhout voor de hand. Een extra voordeel van deze maatregel is dat hiermee de verdamping en interceptie vermindert, en er dus een bijdrage aan hydrologisch herstel kan worden geleverd. Ook is de invang van stikstofdepositie in naaldbossen doorgaans (veel) hoger dan in loofbossen. Op nog voldoende gebufferde bodem heeft zich soms een rijke (myco-)flora ontwikkeld die geassocieerd is met naaldbomen. Vaak kan het behoud van enkele boomgroepjes op cruciale plekken, of van verspreide, solitaire bomen al voldoende zijn om het leeuwendeel van de soortenrijkdom te behouden.

Omvorming naar soorten die milde humus vormen

In bossen waar op zijn minst de diepere bodemlagen basenrijk zijn of waren, komen van nature veel boomsoorten voor met goed verterend en basenrijk strooisel; vooral in de stagnatiebossen en de vochtige beekdalbossen. Hier kan geleidelijke vermindering van het aandeel Zomereik, Beuk, Lariks en Grove den ten gunste van soorten als Haagbeuk, Winterlinde, Zoete kers en Gewone es een belangrijke bijdrage leveren aan de terugkeer naar een basenrijkere bosbodem. Ook hier vormen de fungi een aandachtspunt; de soorten met goed verterend strooisel zijn over het algemeen soorten met weinig tot geen mycorrhizapaddenstoelen. Als er dus een bijzondere mycoflora van mycorrhiza vormende soorten aanwezig is, is het raadzaam om een zeker aandeel van de oorspronkelijke boomsoorten te behouden, bijvoorbeeld in de lanen.

Ook op de van nature zure en basenarme bodems van de dekzandbossen kunnen soorten met goed verterend strooisel ervoor zorgen dat er minder dikke humuspakketten opgebouwd worden. De soortenkeuze is hier echter beperkt: vooral Ratelpopulier, Hazelaar, Gewone esdoorn en Boswilg komen in aanmerking. In meer leemrijke gebieden of waar het lokale grondwater wat basenrijker is behoren ook de hierboven genoemde wat meer eisende soorten tot de mogelijkheden.

10. Kennisvragen

In dit hoofdstuk worden de maatregelen beschreven waarvoor eerst vervolgonderzoek nodig is en de kennislacunes die in dit onderzoek naar vooren zijn gekomen.

10.1 Maatregelen die vervolgonderzoek vragen

10.1.1 Verwijdering van strooisel/humus

Het verwijderen van strooisel lijkt in bijzondere gevallen een effectieve maatregel om stikstofgevoelige soorten te begunstigen. Voorbeelden hiervan zijn lanen en begraafplaatsen waar strooisel wegwaait of actief verwijderd wordt. De beschikbaarheid van stikstof is hier lager en er zijn nog veel soorten aanwezig die uit het bos vrijwel verdwenen zijn, zoals Hanekam, Grote wolfsklauw en Hengel (Keizer, 1993; Brouwer & Ilbrink, 2003). Aan de andere kant is opbouw van een strooisellaag een wezenlijk kenmerk van een boscossysteem. Kennis over de opbouw is belangrijk omdat de verschillende humuslagen sterk uiteenlopende eigenschappen hebben ten aanzien van buffering en immobilisatie. De niet door vegetatie en bodemorganismen opgenomen gemineraliseerde stikstof zal deels opgeslagen worden in de stabielere amorfe en moderachtige humus in de H-laag of de minerale bovengrond (Kemmers et al., 1996). Verwijdering van het weinig verteerde strooisel kan zinvol zijn, maar de fijne humuslagen daaronder dienen daarom bij voorkeur gespaard te worden.

Jaarlijkse verwijdering van strooisel is geen duurzame herstelmaatregel voor een bos, maar kan wel nodig zijn om zeer lokaal relictpopulaties in stand te houden in afwachting van meer duurzame maatregelen. Eenmalige verwijdering van weinig strooisel kan ook een maatregel zijn om de stikstofbeschikbaarheid te verlagen, kieming en vestiging van bosondergroei te bespoedigen en vervolgens de humusvorming versneld in de juiste richting te krijgen. Mogelijke gevallen waarin eenmalige, gedeeltelijke verwijdering van strooisel en/of humus gunstig kan zijn, zijn de volgende:

- Na kap of afsterven van bomen (verhoogde mineralisatie van humus door verandering van o.a. het microklimaat; Huber et al., 2010);
- Bij vernatting van zure humuslagen met basenrijk water;
- In sommige stikstofrijke situaties (> 100 micromol nitraat/liter bodem, gecombineerd met dominantie van bramen, grote brandnetel, grassen, stekelvarens);
- Bij omvorming naar boomsoorten met goed verterend strooisel;
- Waar na vernatting met basenarm water dikke verzuurde strooisellagen maar langzaam afbreken.

De door stikstofdepositie sterk verrijkte strooisellaag gaat door het openkappen versneld afbreken, waardoor de stikstofbeschikbaarheid vooral de eerste 5-10 jaar sterk toeneemt. Dit leidt mede ook door de sterk veranderde lichtsituatie tot verandering in vegetatie en mycoflora. In beekdalbossen en stagnatiebossen waar basenrijk grondwater weer tot in de verzuurde humuslaag kan komen, kan dit wellicht wel voor een hogere stikstofbeschikbaarheid zorgen en wanneer deze voor de vegetatie beschikbaar komen, tot verruiging leiden.

Bij omvorming van bossen met boomsoorten die milde humus vormen, vormt de vaak dikke, zure strooisellaag een aandachtspunt. Deze wordt van bovenaf aangevuld met beter verteerbaar strooisel, maar vormt mogelijk een rem op de omslag naar het ontstaan van een andere humusvorm. Of als er wel meer mineralisatie op gang komt, kan er een piek in de nutriëntenbeschikbaarheid op gaan treden. Ook bij vernatting met basenarm grondwater verbetert geleidelijk de strooiselomzetting maar ook hier remt de dikke strooisellaag het ontstaan van andere humusvormen.

Naast argumenten om met name het verse, zure strooisel te verwijderen, zijn er ook argumenten om dit niet te doen. Met het verwijderen van de ectorganische humuslaag zal een groot deel van

bodemfauna verwijderd worden en daarmee het vermogen om nutriënten te immobiliseren afnemen. Ook kan verwijdering van strooisel leiden tot verlies van het vochthoudend vermogen. Ervaringen leren ons dat ook zonder strooiselverwijdering er onder invloed van de veranderende bodemfauna de gewenste humusvorming op gang komt. De evaluatie van vernattingsmaatregelen lijkt uit te wijzen dat in dekzandbossen door vernatting met basenarm water geen verhoging van de stikstofbeschikbaarheid optreedt, en dat verwijderen van het strooisel juist kan zorgen voor afvoer van een groot deel van de basenvoorraad.

Strooisel verwijdering kan in een aantal situaties een zinvolle maatregel zijn maar verder onderzoek naar de noodzaak en de effecten ervan is gewenst, omdat een aantal stappen in het proces van stikstof mobilisatie en immobilisatie, strooiselomzetting en humusopbouw nog onvoldoende begrepen zijn. De volgende vragen dienen hiervoor beantwoord te worden:

- In welke gevallen kan pluggen in vochtige bossen een zinvolle maatregel zijn?
- Hoe verandert de humusvorming onder invloed van vernatting zonder dat er strooisel verwijderd wordt en hoe lang duurt het voordat de gewenste humusvorming op gang komt?
- Hoe kunnen we ervoor zorgen dat de bodemfauna behouden blijft en de geplagde delen snel kan herkoloniseren? Is het wellicht zinvol om plagsel met bodemfauna van goedontwikkelde boslocaties uit te spreiden over geplagde delen?
- In welke situaties treedt langdurig een verhoogde beschikbaarheid van stikstof op en een daarmee gepaard gaande verzuuring? Wanneer is dit slechts een tijdelijke effect en hoe kunnen we dit voorspellen?

10.1.2 Bekalking

Het bekalken van bosbodems is in droge bossen diverse malen uitgetest (Wolf et al., 2006). Net als in vochtige bossen waar plotseling basenrijk water in de humuslaag kan komen, treedt bij een te sterke pH-stijging een sterk versnelde strooiselafbraak op waarbij veel stikstof vrijkomt. Veel verzuringsgevoelige soorten zijn vooral gevoelig voor de neveneffecten die optreden, zoals ophoping van ammonium en mobilisatie van aluminium. Deze neveneffecten kunnen beperkt blijven wanneer de basenverzadiging en stikstofcyclus worden hersteld en hiervoor is het niet noodzakelijk om de pH sterk op te laten lopen. De bijwerkingen van bekalking kunnen dus mogelijk worden voorkomen. De volgende vragen dienen te worden beantwoord:

- In welke gevallen kan bekalking een goede maatregel zijn? Op locaties waar geen basenhoudend water tot in de humuslaag kan komen? In combinatie met bosvorming?
- Kan in vochtige dekzandbossen en sterk verzuurde toplagen van stagnatiebossen en beekdalbossen de basenverzadiging worden hersteld zonder de pH al te ver op te laten lopen?
- Welke methoden zijn hiervoor geschikt? Bijvoorbeeld gebruik van slow-release materialen, lichte bekalking, zeer geleidelijke bekalking.
- In welke gevallen is bekalking in combinatie met verwijdering van organisch materiaal een goede maatregel?

10.1.3 (Her)introductie in dekzandbossen

Met het ontginnen en bebossen van voormalige heidevelden is een nieuw type vochtige bossen ontstaan. Veel soorten die hier voor zouden kunnen komen ontbreken of zijn zeer schaars. Hiertoe behoren veel zeldzame soorten maar ook een aantal algemenere soorten en soortgroepen die bijvoorbeeld een sleutelrol vervullen in boscystemen. Daarbij kan onder meer gedacht worden aan "bodemverzorgende" boomsoorten, bodemfauna en waardplanten voor bijzondere fauna. Omdat het om jonge bosgroeiplaatsen gaat en te introduceren soorten lang afwezig geweest zijn betreft het geen herintroductie. In de bosbouw is introduceren van boom- en struiksoorten nooit een probleem geweest, maar waar bossen een natuurfunctie hebben moeten er aantal vragen beantwoord worden:

- Wat is de referentie, welk type bos kan er ontstaan en welke soorten zouden hierin voor kunnen komen gegeven de standplaatseigenschappen die ontstaan?
- Hoe ontwikkelen de bossen zich als er geen soorten opnieuw ingebracht of aangeplant worden? Welke soorten zullen zich spontaan vestigen? Welke soorten, die mogelijk een sleutelrol vervullen, ontbreken er vervolgens nog?
- Door introductie gaat historisch-ecologische indicatiewaarde verloren: welke regio's heeft een soort op eigen kracht bereikt en welke niet? Plantensociologische opvattingen over

welke soorten ergens wel of niet thuishoren dreigen ongeacht geografische positie te worden ingebracht¹. Hoe kan introductie als vorm van herstel goed worden onderbouwd?

- Kan de achteruitgang van bepaalde soorten gestopt worden door introductie? Bijvoorbeeld omdat de gebieden met relictpopulaties onvoldoende hersteld kunnen worden, terwijl er nieuwe groeiplaatsen ontstaan die echter niet goed te bereiken zijn?

10.1.4 Herstel incidentele overstroming

Incidentele overstroming treedt op in beekdalbossen die binnen het hoogwaterbereik van de beek liggen. Deze beken zijn doorgaans sterk belast met voedingsstoffen. Bij overstroming kan er aanvulling van de basenverzadiging plaatsvinden in de bosbodem, en afvoer van strooisel. Maar ook kan er afzetting van voedselrijk slib plaatsvinden. Vaak zijn er wel mogelijkheden om een groot deel van het slib af te vangen. Een argument om toch een zekere slibafzetting toe te laten kan zijn dat er behalve slib ook veel diasporen kunnen worden aangevoerd. De positieve en negatieve effecten moeten tegen elkaar worden afgewogen bij herstel van incidentele overstroming. Hoe vaak zijn overstromingen toelaatbaar en welke stikstof en fosfaatconcentraties horen daarbij?

10.2 Aanbevelingen voor monitoring

Het volgen van de effecten van herstelmaatregelen dient zowel om te leren van de genomen maatregelen als om maatregelen ter plekke bij te kunnen sturen. Bijsturing is nodig daar waar al aanwezige natuurwaarden in het gedrang kunnen komen en daar waar maatregelen onvoldoende effect hebben en aanvullende maatregelen nodig zijn. Het meer algemene doel om te leren van herstelmaatregelen geldt vooral voor die maatregelen waarvan het effect nog onvoldoende bekend is.

Voor het bijsturen van vernattingsmaatregelen is een intensieve monitoring nodig van die aspecten die het meest gevoelig zijn voor vernatting. Doorgaans zijn dat de aanwezige relictpopulaties ((myco-)flora & fauna) en de boomlaag. Deze zullen op de meest gevoelige plekken jaarlijks in kaart moeten worden gebracht, zodat tijdige bijsturing c.q. evacuatie mogelijk is.

Tabel 10.1: Aandachtspunten bij de monitoring van herstelmaatregelen en bij de bijsturing van vooral vernattingsmaatregelen.

Table 10.1: Points of attention for monitoring restoration measures.

	Bijsturing	Monitoring
Relictpopulaties	X	
Vitaliteit bomen	X	X
Verruiging ondergroei	X	
Humusvorming		X
Hogere planten		X
Mossen		X
Mycoflora		X
Fauna: ongewervelden		X
Grondwaterstanden	X	X
Bodemsamenstelling		X

Om te bepalen of een genomen maatregel uiteindelijk succesvol is, volstaat een minder intensieve monitoring, maar liefst wel van een bredere range aan aspecten. Uiteraard is zo'n monitoring alleen zinvol als al voor aanvang van de herstelmaatregelen gestart is met de monitoring! Voor de wat minder bekende soortgroepen kan een aantal goed herkenbare soorten worden geselecteerd. Voor de paddenstoelen kunnen groepen van makkelijk herkenbare soorten worden geselecteerd, met soorten zoals de Groene glibberzwam, Appellussula, Grofplaatrussula, Holsteelboleet, Gele stekelzwam en Truffelknotszwam, of indicatieve genera zoals Gordijnzwammen, Vezelkoppen, Ridderzwammen, Melkzwammen, Wasplaten, Satijnzwammen en Aardtongen. Ook onder de

¹ *All ancient woods are different, much as every medieval church is different from every other. All too often, professional conservationists look for how a wood resembles other woods, rather than what makes it special. The former was made easy by the woodland volume of the National Vegetation Classification, published in 1991. Although not intended for this purpose, it was taken up with surprising little dissent as a basis for conservation" (Rackham, 2006).*

ongewervelden zijn indicatieve, goed herkenbare soorten aan te wijzen. Voor de bodemsamenstelling tenslotte, is het nuttig om op enkele punten de zuurgraad en basenverzadiging van de humuslaag en de bovenste minerale bodemlaag met tussenpozen van enkele jaren te meten, en wellicht ook het gehalte aan mineraal stikstof.

10.3 Kennisvragen

In dit preadvies zijn een aantal kennisvragen naar voren gekomen. Deze zijn hieronder samengevoegd tot de vier kennisthema's die in de OBN kennisagenda 2014-2018 zijn onderscheiden.

10.3.1 Thema 1. Herstel en beheer van natuurgebieden

Kennisvragen over maatregelen om de waterhuishouding te verbeteren

Herstel van de waterhuishouding is de motor achter het herstelproces van de vochtige bossen. Voor een effectieve aanpak moet optimaal vernat worden zonder dat hierdoor negatieve effecten optreden. De risico's van vernatting worden vaak overschat, terwijl de invloed van interne ontwatering in het algemeen wordt onderschat. Voor een effectieve vernatting moet inzichtelijk zijn hoe deze in de praktijk het beste kan worden uitgevoerd. Vragen daarbij zijn: Welke situaties moeten er worden onderscheiden en wat is per type situatie het beste pakket aan maatregelen? Hoe kan het beste worden omgegaan met relictpopulaties die naar een nieuw, geschikt habitat moeten verhuizen? Kunnen we hiervoor beslisregels opstellen? Hoe kunnen we via monitoring bijsturen?

Kennislacunes over hydrologische standplaats eigenschappen

Wat zijn de hydrologische randvoorwaarden voor vochtige bossen? In modelberekeningen voor het bepalen van hydrologische maatregelen in TOP- en Natura 2000 gebieden wordt uitgegaan van het voor bepaalde natuurbeheer- en habitattypen optimale grondwaterregime. Deze zijn voor vochtige bossen onvoldoende onderbouwd en vooral bepaald op basis van expert judgement. De hydrologische randvoorwaarden zijn voor de drie typen vochtige bossen die in dit rapport zijn onderscheiden verschillend. Ook binnen deze typen zijn verschillende hydrologische varianten mogelijk. De kennislacune betreft vooral de begrenzing van vochtige bossen met de droge bossen. Wat zijn de minimale en de optimale GHG, GLG en GVG voor herstel van soortenrijke vochtige bossen?

Herstel van gerabatteerde bodems

Hoe komen we tot een goede strategie voor herstel van gerabatteerde bodems? Rabatten waarbij grondwater niet meer tot in de wortelzone reikt blokkeren het herstel van soortenrijke vochtige bossen. Het is een ingrijpende maatregel die daardoor in de praktijk zeer terughoudend toegepast wordt. Belangrijk is daarom dat inzichtelijk gemaakt wordt wanneer rabatten zonder bezwaren verwijderd kunnen worden en in welke situaties dit niet gewenst is.

Herstel van het zuurbufferend vermogen van de bodem

Het is gebleken dat door herstel van de waterhuishouding de buffercapaciteit geleidelijk verbetert, zij het in geringe mate wanneer alleen zuur water de toplaag bereikt. Hierdoor ontstaat de vraag wat de hersteltijd is om de zuurbuffering weer op het oorspronkelijke niveau te brengen, en als dat al mogelijk is, wat dan dat oorspronkelijk zuurbufferend vermogen is. Voor de verzuurde, en van nature al zure en basenarme bossen ontbreken goede referenties hiervoor. Voor situaties waarin herstel van het zuurbufferend vermogen (te) veel tijd vergt of onvoldoende gerealiseerd kan worden, zouden aanvullende maatregelen ontwikkeld kunnen worden. Vragen die nader uitgezocht dienen te worden zijn:

- Wat is van nature of oorspronkelijk het zuurbufferend vermogen van de bodem?
- Wordt de buffercapaciteit voldoende hersteld door hydrologisch maatregelen?
- Welke boomsoorten zijn geschikt om door middel van een betere strooiselomzetting de buffercapaciteit te verhogen?
- In welke gevallen is aanvoer van gebufferd materiaal (kalk, steenmeel) eenmalig nodig?

10.3.2 Thema 2. Ontwikkelen van PAS herstelstrategieën

Stikstofkringloop

Herstel van de waterhuishouding kan in vochtige bossen de negatieve effecten van hoge stikstofdeposities deels opheffen. Bosbodems zijn echter stikstofverzadigd door hoge deposities in het verleden waardoor negatieve bijwerkingen kunnen optreden wanneer grote hoeveelheden stikstof beschikbaar komen. Ook is onduidelijk of en hoe de dikke strooisellagen waarin een groot deel van de stikstofvoorraad ligt opgeslagen moeten worden afgevoerd. Meer kennis over de stikstofkringloop in vochtige bossen is van belang om effectief herstelmaatregelen te kunnen nemen en eventuele negatieve effecten te kunnen voorspellen.

De hoofdvraag is: hoe werkt de stikstofcyclus in vochtige bossen? Deelvragen zijn: a) In welke situaties wordt stikstof gemobiliseerd (vernatting, bekalking, boomsterfte, boskap)? b) Hoeveel gemobiliseerd stikstof wordt vervolgens door de bodemfauna en/of (stabiele) humus vastgelegd en wanneer komt dit vrij? c) Hoe lang houden de effecten van zo'n verhoogde stikstofbeschikbaarheid aan en kan vernatting de stikstofafvoer uit het systeem versnellen? d) Wanneer is het nodig om aanvullend de strooisellaag en/of humuslaag te verwijderen en is een eenmalige ingreep dan voldoende?

Overige vragen met betrekking tot de stikstofdepositie: Voor welke (groepen van) soorten werkt stikstofdepositie negatief? Welke stikstofgevoelige soorten zullen verder achteruit gaan zonder aanvullende maatregelen? Welke maatregelen zijn er mogelijk?

10.3.3 Thema 3. Soortgericht beheer

Referenties voor soortendiversiteit en mogelijkheden voor herstel

Wat zijn de potenties van vochtige bossen op basenarme zandgronden? Welke bosgemeenschappen kunnen zich hier gaan ontwikkelen en welke planten- en diersoorten kunnen hier onderdeel van uitmaken. Goede referenties zijn (nog) niet te benoemen omdat zich nieuwe typen bos ontwikkelen waarvan nog niet duidelijk is tot welk niveau de basenverzadiging zich herstelt en welke humusvormen zich uiteindelijk ontwikkelen.

Herintroductie doel- en sleutelsoorten

Als de abiotiek hersteld is dan is vervolgens de vraag, die voor alle vochtige bossen van toepassing is, hoe de planten- en diersoorten terugkeren? Veel bossoorten worden gekenmerkt door een zeer geringe kolonisatie capaciteit. Welke soorten worden beperkt in hun mogelijkheden om herstellende vochtige bossen te koloniseren en welke maatregelen staan tot onze beschikking om terugkeer van soorten te bevorderen?

10.3.4 Thema 4. Natuurnetwerk Nederland: duurzaam benutten en beleven.

Aanleg van nieuwe vochtige bossen op landbouwgronden

Wat zijn de mogelijkheden voor aanleg van soortenrijke vochtige bossen op voormalige landbouwgronden? In tegenstelling tot natuurontwikkeling van lage begroeiingen op landbouwgronden wordt bij bossen weinig aandacht besteed aan sterk vermeste uitgangssituatie. De hoge concentratie fosfaat zal echter zorgen voor langdurige verzuuring, terwijl er geen mogelijkheden zijn voor een eventuele uitmijning van voedingsstoffen. Om een goede strategie te ontwikkelen voor aanleg van bossen op landbouwgronden moet onder meer duidelijk zijn: a) onder welke omstandigheden de hoge fosfaatconcentraties in voormalige landbouwbodems tot problemen met verzuuring leidt, b) of in bossen dit probleem zichzelf oplost en hoe lang dit duurt en c) welke maatregelen genomen kunnen worden om de fosfaatconcentratie te reduceren voor de aanleg van bos. Mogelijke maatregelen die hiervoor in aanmerking kunnen komen zijn tijdelijk uitmijnen van nutriënten, verwijderen van de bouwvoor en diepploegen of diepspitten waarbij de voedselarme bodem boven komt te liggen. De effectiviteit hiervan zou onderzocht moeten worden.

Waterconservering in vochtige bossen

Het vasthouden van water in vochtige bossen kan een belangrijke bijdrage leveren aan het dempen van de hoge pieken en dalen in de afvoer van regen- en oppervlakte water. Waterschappen moeten momenteel fors investeren om risico's van wateroverlast in bebouwde gebieden te verminderen. Vernatting van vochtige bossen is een mogelijke maatregel die hierin een substantiële bijdrage kan leveren die maar weinig ingezet wordt. Onderzocht moet worden waar

waterconservering effectief ingezet kan worden, welke kenmerken deze bossen hebben en hoeveel dit bijdraagt aan regulatie van de waterafvoer.

11. Literatuur

Acker, J.B.M., 2000. *Karakteristieke respons van regionale systemen*, Commissie WB21 – Thema 6, Grondmij Advies en Techniek / Alterra – Research Instituut voor de Groene Ruimte, Houten / Wageningen.

Adriaenssens, S., Hansen, K., Staelens, J., Wuyts, K., De Schrijver, A., Baeten, L., Boeckx, P., Samson, R. & K. Verheyen (2012) Throughfall deposition and canopy exchange processes along a vertical gradient within the canopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Science of the Total Environment* 420: 168-182.

Aggenbach, C.J.S., Jalink M.H. & A.J.M Jansen, 1998. *Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen van vennen*. Deel 5 uit de serie 'Indicatorsoorten'. Staatsbosbeheer, Driebergen.

Aggenbach, C.J.S & H. Hunneman, 2007, *Herstelexperiment voor Elzenbroek door bevoeiing met oppervlaktewater in 't Lankheet, Interpretatie nulsituatie 2005 en ontwikkeling 2006*, Rapport 2007/079-O, Ministerie van LNV, Directie Kennis, Ede

Aggenbach, C.J.S., 2011, *Herstelexperiment voor Elzenbroek door bevoeiing met oppervlaktewater in 't Lankheet, Evaluatie monitoring 2005-2009*, Rapport 2011/OBN 148-BE, Min van ELI, Directie Kennis en Innovatie, Dan Haag

Allen, A. & D. Chapman (2001) Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal* (2001) 9: 390-400

Arnolds, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 35: 209-244.

Arnolds, E. & A.P. van den Berg, 2001. Trends in de paddenstoelenflora op basis van karteringsgegevens. *Coolia* 44(3): 139-152.

Arnolds, E. & P.J. Keizer, 2010. Naaldbossen in Nederland, een bedreigde levensgemeenschap. Brochure Nederlandse Mycologische Vereniging (zie www.mycologen.nl).

Arnolds, E.J.M. & G. van Ommering (1996). *Bedreigde en kwetsbare paddestoelen in Nederland. Toelichting op de rode lijst*. IKC Natuurbeheer, Wageningen.

Arnolds, E.J.M., 2003. De stekelzwammen en pruikzwammen van Nederland en België. *Coolia* 46(3), supplement.

Arnolds, E.J.M., R. Douwes, & I. Somhorst, 2004. Mycologische avonturen in jonge sparrenbosjes op voormalige landbouwgrond. *Coolia* 47(2): 56-64

Arnolds, E.J.M. & M. T. Veerkamp, 2008. *Basisrapport Rode Lijst Paddenstoelen*. Nederlandse Mycologische Vereniging, Utrecht. In opdracht van Ministerie van LNV, Directie Kennis.

Arnolds, E.J.M. & A.P. van den Berg (2013). *Beknopte standaardlijst van Nederlandse Paddenstoelen 2013*. Nederlandse Mycologische Vereniging.

Arts, G.H.P., G. van der Velde, J.G.M. Roelofs & C.A.M. van Swaay 1990. Successional changes in the soft-water macrophyte vegetation of (sub)atlantic, sandy, lowland regions during this century. *Freshwater Biology* 24: 287-294.

Arts, G.H.P., 2000. *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren*. Deel 13: Vennen; achtergronddocument bij het 'handboek natuurdoeltypen in Nederland. Rapport EC-LNV, 13. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte: Wageningen. 80 pp.

Asmuth, J. von, A.P. Grootjans & S. van der Schaaf, 2011. *Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes*. Eindrapport deel 2 OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap'. Bosschap, Driebergen.

Baaijens, G.J., 1984. Venen en mensen: water en vuur. In: F.H. Everts & N.P.J. de Vries, *Het Dwingelderveld*, deelrapport: vegetatie. Laaglandbekenrapport no. 8. Staatsbosbeheer / Natuurmonumenten / Rijksuniversiteit Groningen, Utrecht.

Baath, E., B. Berg, U. Lohm, B. Lundgren, H. Lundkvist, T. Rosswall, B. Soderstrom, A. Wiren, 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. *Pedobiologia* 20: 85-100.

Baeten L., M. Vanhellemont, H. Van Calster, M. Hermy, A. De Schrijver & K. Verheyen, 2009. Zullen bosplantenpopulaties zich ooit vestigen in jonge bossen op voormalige landbouwgronden? *De Levende Natuur* 110 (5): 215-219.

Bakker, H. de & J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus*. Pudoc, Wageningen,

Bakker, J.P., C. Brouwer, L. van den Hof, L. & A.J.M. Jansen, 1987. Vegetational succession, management and hydrology in a brookland (The Netherlands). *Acta Botanica Neerlandica* 36: 39-58.

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

Barkman, J.J. & Ph. Stoutjesdijk, 1986. *Microklimaat, vegetatie en fauna*. Pudoc, Wageningen.

Becquer, T., A. Herbillon, A. Merlet, J.P. Boudot, & J. Rouiller, 1992 Importance of nitrogen and sulfur cycles in proton budget in a declining fir forest and its relation to aluminium toxicity. In: Teller, A. Mathy, P. & J.N.R. Jeffers (eds.) *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Elsevier, New York, pp 679-680.

Bell, J.S. & J.W. van 't Hullenaar, 2010. *Ecologisch herstel hellingveen Sprengenbergring. Uitwerking van een herstelplan op basis van ecohydrologisch vooronderzoek*. Zwolle, Bell Hullenaar Ecohydrologisch Adviesbureau (in opdracht van Natuurmonumenten)

Bell, J.S. & J.W. van 't Hullenaar, 2011. *Ecohydrologisch onderzoek bronssystemen Lemeler- en Archemerberg. Afleiding van de mogelijkheden voor verbetering van het ecohydrologisch functioneren van de bronnen*.

Bell Hullenaar Ecohydrologisch Adviesbureau. In opdracht van Landschap Overijssel

Berg, B. & C.A. McClaugherty, 2008. *Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration*. 2nd ed. Springer, Berlin.

Berg, L.J.L. van den, E. Dorland, P. Vergeer, M.A.C. Hart, R. Bobbink & J.G.M. Roelofs (2005) Decline of acid-sensitive plant species in heathland can be attributed to ammonium toxicity in combination with low pH. *New Phytologist* 166: 551-564.

Beylich, A. & U. Graefe, 2002. Annelid coenoses of wetlands representing different decomposer communities. In: G. Broll, W. Merbach and E.M. Pfeifer (eds.), *Wetlands in central Europe*, Springer, Berlin; 1-10.

Beek, A. van de, R.J. Bijlsma, R. Haveman, K. Meijer, I. de Ronde, A.S. Troelstra & E.J. Weeda, in druk. Naamlijst en verspreidingsgegevens van de Nederlandse bramen (*Rubus L. subgenus Rubus*). *Gorteria* 36

- Bijlsma, R.J., 2004. Verbraming: oorzaken en ecologische plaats. *De Levende Natuur* 105(4): 138-144.
- Bijlsma, R.J., 2010. Bryophyte hot-spots in drift sand forests. In: J. Fanta & H. Siepel (eds.), *Inland drift sand landscapes*. KNNV Publishing; 218-233
- Bijlsma, R.J., G.J. van Dorland, D. Bal & J.A.M. Janssen, 2010. *Oude bossen en oude bosgroeiplaatsen. Een referentiebestand voor het karteren van de habitattypen Beuken-eikenbossen met hulst en Oude eikenbossen*. Alterra-rapport 1967, Wageningen.
- Bijlsma, R.J., V. Kint, J. den Ouden, L. Baeten & K. Verheyen, 2010. Successie en bosdynamiek. In J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven; 195-217.
- Bijlsma, R.J., H.N. Leys & I.S. Zonneveld, 2011. Vijftig jaar groeiend veen op het Kootwijkse stuifzand. *De Levende Natuur* 112: 18-21.
- Bijlsma, R.J., R.W. de Waal & A.F.M. ten Hoedt, 2013. Ecological qualities emerging from non-intervention management of heathlands. In: W.H. Diemont, H. Siepel & N.R. Webb (eds.), *Economy and ecology of heathlands*. KNNV Publishing, Zeist; Chapter 12 (in druk).
- Bijlsma, R.J., J. Sevink & R.W. de Waal, 2014 concept. Droog zandlandschap. In : In: A.J.M. Jansen, H. van Dobben, J. Bouwman, M. Nijssen & D. Bal, *Deel III Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën*. http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_iii.aspx
- Bijlsma, R.J., J.A.M. Janssen, E.J. Weeda & J.H.J. Schaminée, 2014. *Habitattypen in Nederland*. Referentiewaarden voor area en range. WOT-Rapport (in review).
- Bink, F.A., 1992. *Ecologische Atlas van de Dagvlinders van Noordwest-Europa*. Schuyt & Co, Haarlem.
- Bobbink, R., M. Hirnung, & J.G.M. Roelofs, 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86: 717-738.
- Bobbink, R., R.-J. Bijlsma, E. Brouwer, K. Eichhorn, R. Haveman, P. Hommel, T. van Noordwijk, J. Schaminée, W. Verberk, R. de Waal, M. Wallis deVries, 2008, *Preadvies Hellingbossen in Zuid-Limburg*, Rapport DK nr. 2008/094-O, Min van LNV, Directie Kennis, Ede.
- Bobbink, R. & J.-P. Hettelingh (eds), 2011. *Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships*. RIVM report 680359002. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Bobbink, R., J.H. Bouwman, E. Brouwer, F.H. Everts, M.A.P Horsthuis, H.H. van Kleef & A. Klimkowska, 2013. *Preadvies kleine ecotopen in de hydrologische gradient*. Rapport 2013/OBN173-NZBE. Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Boer, R.W., 1857. *Bijdragen tot de kennis der houtteelt*. Tjeenk Willink, Zwolle.
- Boeye, D. & R. Verheyen, 1994: The relation between vegetation and soil chemistry gradients in a groundwater discharge fen. *Journal of Vegetation Science* 5: 553-560.
- Boxman, A.W., H. Krabbendam, M.J.S. Bellemakers & J.G.M. Roelofs, 1991. Effects of ammonium and aluminum on the development and nutrition of *Pinus nigra* in hydroculture. *Environmental Pollution* 73: 119-136.
- Boxman, A.W., Cobben, P.L.W. & J.G.M. Roelofs (1994) Does (K+Mg+Ca+P) fertilization lead to recovery of tree health in a nitrogen stressed *Quercus-Rubra* L. stand? *Environmental Pollution* 85: 297-303.
- Boxman, A.W. & J.G.M. Roelofs, 2006. Effects of liming, sod-cutting and fertilization at ambient and decreased nitrogen deposition on the soil solution chemistry in a Scots pine forest in the Netherlands. *Forest Ecology & Management* 237: 237-245.

- Boxman, A.W., C.J.H. Peters & J.G.M. Roelofs, 2008. Long term changes in atmospheric N and S throughfall deposition and effects on soil solution chemistry in a Scots pine forest in the Netherlands. *Environmental Pollution* 156: 1252-1259.
- Breemen, N. van, Burrough, P.A., Velthorst, E.J., van Dobben, H.F., de Wit, T., Ridder, T.B., Reijnders, H.F.R., 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* 299, 548-550.
- Breemen, N. van, H.F.G. van Dijk, 1988. Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in the Netherlands. *Environmental Pollution* 54, 249-274.
- Brady, N.C. & R.R. Weil, 2002. *The nature and properties of soils* (13th ed.). Prentice Hall, New Jersey.
- Brink P. ten, A. Berghöfer, Christoph, Schröter-Schlaack, Pa. Sukhdev, A. Vakrou, S. White en H. Wittmer, 2009, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for National and International Policy Makers*, (TEEB). ISBN 978-3-9813410-0-3
- Brouwer, E., R. Bobbink, J.G.M. Roelofs & G.M. Verheggen, 1996. *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring van oppervlaktewateren*. Eindrapport monitoringsprogramma tweede fase. Afdeling Aquatische Oecologie & Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Brouwer, E., M. Braat, B. van Hoek, R. Noteboom, C.Oplaat, R. de Peijper, M. Smits, & P. Klok, 2009. Wad'n gezwam; de invloed van schelpenpaden op de paddenstoelendiversiteit van Terschelling. *Coolia* 52 (1) 7-17.
- Brouwer, E., H. van Kleef, H. van Dam, J. Loermans, G. Arts & D. Belgers, 2009. *Effectiviteit van herstelbeheer in vennen en duinplassen op de middellange termijn*. Rapport 2009/dki 126-O, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Brouwer, E. & G.J. Ilbrink, 2003. Kroonjuwelen en andere mycologische snuisterijen 9 Oude begraafplaatsen aan de zuidoostelijke Veluwerand. *Coolia* 47 (1): 12-16.
- Brunet J, Diekmann M, Falkengren-Grerup U, 1998. Effects of nitrogen deposition on field layer vegetation in south Swedish forests. *Environmental Pollution*, 102, 35-40.
- Buggenum, H.J.M. van, 2014. Slanke sleutelbloemen in het IJzerenbosch en het Hout. Een onderzoek naar standplaatsfactoren en de verschillen in populatieomvang tussen 1993 en 2011. *Natuurhistorisch Maandblad* 103(3): 37-44.
- Burckhardt, J. & R. Eiden, 2001. Thin water films on coniferous needles. *Atmosphere Environment* 28: 2001-2011.
- Burg, A.B. van den, 2000. *The Causes of Egg Hatching Failures in Wild Birds, Studied in the Barn Owl Tyto alba and the Sparrowhawk Accipiter nisus*. PhD thesis. Nottingham: University of Nottingham.
- Burg, A.B. van den, A. Dees, T. Huigens, R. Bijlsma & R. de Waal, 2014. *Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden*. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag. Rapport nr. 2014/OBN186-DZ.
- Burschel, P., H. el Kaleb & Reinhard Mosandl, 1992. Experiments in mixed Mountain forests in Bavaria. In: M.J. Kelty, B. C. Larson, C. D. Oliver, 1992, *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests*. Kluwer Academic Publisher.
- Castell, I.I.Y., J. Fanta & E.A. Koster, 1983. *De vallei van de Leuvenumse Beek (Noordwestelijke Veluwe): een fysisch geografische streekbeschrijving*. Wetenschappelijke Mededelingen K.N.N.V. nr. 159. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Hoogwoud.
- Clement, J., 2001. *GIS Vierde bosstatistiek*. Gebruikersdocumentatie. EC-LNV, Wageningen.
- Cornelis, J., L. De Keersmaeker, M. Hermy & P. Hommel, 2010. Beekdalen en brongebieden. In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven/Den Haag; 251-259.

- Cornelis, J., L. De Keersmaeker, M. Hermy & P. Hommel, 2010. Leemgebieden. In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven/Den Haag; 273-282.
- Cortez, J., 1998. Field decomposition of leaf litters: relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 783-793.
- Dam, D. van, Heil, G.W., Heijne, B & R. Bobbink, 1991. Throughfall below grassland canopies—a comparison of conventional and ion exchange methods. *Environmental Pollution*, 73 (1991), pp. 85-100.
- Decler, K., 2003. Population dynamics of marshland spiders and carabid beetles due to flooding: about drowning, air bubbling, floating, climbing and recolonisation. *Proceedings International conference 'Towards natural flood reduction strategies'*, Warsaw 6-13 september 2003.
- De Becker, P., H. Jochems & W. Huybrechts, 2004. *Onderzoek naar abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno-Padion & Alnion incanae-gemeenschappen*. Instituut voor natuurbehoud, Brussel.
- De Keersmaeker, L., J. Cornelis, P. Hommel & K. van Dort, 2010. Arme zandgronden van het binnenland. In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven/Den Haag; 261-272.
- Delft, S.P.J. van, R.W. de Waal, R. Kemmers, P. Mekking & J. Sevink, 2006. Field Guide Humus Forms Description and classification of humus forms for ecological applications. Alterra, Wageningen/IBED Universiteit van Amsterdam.
- Delft, S. P. J. van, G. H. Stoffelsen & F. Brouwer, 2007. *Natuurpotentie van Zwartebroek en Allemanskamp; Ecopedologisch onderzoek naar de mogelijkheden voor natuurontwikkeling*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport, 1550
- De Temmerman, L.D., A. Ronse, K. Van den Cruys, K. Meeus-Verdinne, 1987. Ammonia and pine tree dieback in Belgium. In: Mathy, P. (Ed.), *Air Pollution and Ecosystems*, Proceedings International Symposium, Grenoble, France, 18-22 May 1987. Reidel, Dordrecht, pp. 774-779.
- Dijk, H.F.G. van, R.C.M. Creemers, J.P.L.W.M. Rijniers, & J.G.M. Roelofs, 1989. Impact of artificial ammonium-enriched rainwater on soils and young coniferous trees in a greenhouse. 1. Effects on the soils. *Environmental Pollution* 62 (4): 317-336.
- Dijk, H.F.G. van, M. van der Gaag, P.J.M. Perik, J.G.M. Roelofs, 1992. Nutrient availability in Corsican pine stands in the Netherlands and the occurrence of SPphearopsis sapinea: a field study. *Canadian Journal of Botany* 70, 870-875.
- Dise, N.B. & R.F. Wright, 1995. Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology & Management* 71: 153-161.
- Dorland, G.J. van, R.J. Bijlsma, D. Bal & J.A.M. Janssen, 2012. *Een kaart van de oude bosgroeiplaatsen in Nederland. Basisbestand voor de bepaling van de landelijke verspreiding van de habitattypen Beuken-eikenbossen met hulst (H9120) en Oude eikenbossen (H9190)*. Alterra-rapport 2376, Wageningen.
- Draaijers, G., 1993. *The variability of atmospheric deposition to forests; the canopy structure and forest edges*. Thesis Faculty of Geographical Sciences, University of Utrecht. ISBN 90-6266-098-3.
- Duinen, G.A. van, J. Bouwman, H. van Kleef & M. Wallis de Vries, 2014. *Randvoorwaarden voor het herstel van kenmerkende en bedreigde soorten in het natte zandlandschap*. Directie Agro kennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag. Rapport 2014/OBN187-NZ.
- Duinen, G.A. van, E. Brouwer, A.J.M. Jansen, J.G.M. Roelofs & M.G.C. Schouten 2009. Van hoogveen- en venherstel naar herstel van een 'compleet' nat zandlandschap. *De Levende Natuur* 110 (3):118-123.

- Ebert, G., 1991. *Die Schmetterlinge Baden-Württembergs*. Band 1: Tagfalter. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Eerden, L.J.M. van der, T.A. Dueck, J.J.M. Berdowski, H. Greven, & H.F. Van Dobben, 1991. Influence of NH₃ and (NH₄)₂SO₂ on heathland vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 40, 281–297.
- Eerden, L.J.M. van der, T.A. Dueck, J. Elderson, H.F. van Dobben, J.J.M. Berdowski, M. Lathuhin, A.H. Prins, 1990. *Effects of NH₃ and (NH₄)₂SO₄ Deposition on Terrestrial Semi-natural Vegetation on Nutrient-poor Soils*. Project 124/125, Phase II. IPO Report R90/06, RIN.
- Eerden, L.J.M. van der, L.J.A. Lekkerkerk, S.M. Smeulders, A.E. Jansen, 1992. Effects of atmospheric ammonia and ammonium sulphate on Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Environmental Pollution* 76, 1–9.
- Eilers, G., R. Brumme & E. Matzner, 1992. Aboveground N-uptake from wet deposition by Norway spruce (*Picea abies* Karst). *Forest Ecology and Management* 51: 239-249.
- Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner & D. Paulissen, 1991. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobotanica XVIII.
- Ellenberg, H. & Ch. Leuschner, 2010. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 6.Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- Emmer, I.M., 1995. Humus form development and succession of dwarf shrub vegetation in grass dominated primary *Pinus sylvestris* forests. *Annales des Sciences Forestieres*. 52: 561-571.
- 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.
- 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.
- F.H. Everts, A.J.M. Jansen, E. Brouwer, A.T.W. Eysink, R. van der Burg & H. van Kleef, 2014 concept. Nat zandlandschap. In: A.J.M. Jansen, H. van Dobben, J. Bouwman, M. Nijssen & D. Bal, *Deel III Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën*. http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_iii.aspx
- Eysink, A.Th.W & A.J.M. Jansen, 1993. Punthuizen, een Twents blauwgrasland: waterhuishouding, vegetatie en beheer. In: Weeda, E.J. (ed.) *Blauwgraslanden in Twente, schatkamers van het natuurbehoud*, pp. 50-64. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Eysink, A.T.W. & A.J.M. Jansen, 2011. Hoorns Veentje op Landgoed Ooster- en Westersand, veentje op eenzame hoogte. In: M.I. Kamphuis, A.J.M. Jansen & J. Bouwman; *Werken aan natuur, 20 jaar effectgerichte maatregelen*, p. 45-52. KNNV Uitgeverij/Unie van Bosgroepen, Driebergen/Ede.
- Fangmeier, A., Hadwiger-Fangmeier, A., Van der Eerden, L. & H.-J. Jäger, 1994. Effects of atmospheric ammonia on vegetation—a review. *Environmental Pollution* 86: 43-82.
- Fellendorf, M., C. Mohra, R.J. Paxton, 2004. Devasting effects of river flooding to the ground-nesting bee, *Andrena vaga* (*Hymenoptera: Andrenidae*), and its associated fauna. *Journal of Insect Conservation* 8: 311–322.
- ForstBW (Hrsg), 2010. Alt-und Totholzconcept Baden-Wurtenberg. Stuttgart.
- Frouz J., A. J. Frouzova & R.J. Lobinske, 2004. Horizontal and Vertical Distribution of Soil Macroarthropods Along a Spatio-Temporal Moisture Gradient in Subtropical Central Florida. *Environmental Entomology*. 33(5): 1282-1295
- Gielis, L., A. de Schrijver, K. Wuyts, J. Staelens, G. Geudens, & K. Verheyen, 2002. *Potentie van bosvorming als effectgeoriënteerde maatregel tegen bodemverzuring en eutrofiëring van bossen op zandgrond*. Eindrapport TWOL-Project B&G/31/2002.

Goutbeek, A., in druk. *Eikenhakhoutcultuur langs de Vecht. Teelt en verwerking rond Dalfsen in de negentiende eeuw*. Matrijs, Utrecht.

Graveland J., R. van der Wal, J.H. van Balen, A.J. van Noordwijk, 1994. Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils. *Nature* 368: 446-448.

Green, R.N., R.L. Trowbridge & K. Klinka, 1993. *Towards a taxonomic classification of humus forms*. Forest science monograph 29. Society of American foresters.

Grennfelt, P., Hasselrot, B., 1987. Deposition of ammonium and nitrate to forest edges. In: Asman, W.A.H., Diederik, H.S.M.A. (Eds.), *Ammonia and Acidification*, Symp. EURASAP, Bilthoven, The Netherlands, 13-15 April 1987. RIVM/TNO, Bilthoven, pp. 124-140.

Griegel, A., 2008. Effects of the summer flood 1997 on the collembolan and gamasid fauna in a Lower Oder Valley floodplain. *Peckiana* 5: 105 - 114.

Groenendijk, D. & V. Mensing, 2007. *Status en bescherming van de grote weerschijnvlinder in Gelderland*. De Vlinderstichting, Wageningen. Rapportnummer 2007.019.

Grootjans, A.P., R. van Diggelen & J.P. Bakker 2006. 9 Restoration of mires and wet grasslands. In: J. van Andel & J. Aranson, *Restoration ecology*, p. 111-123. Blackwell Publishing, Malden/Oxford/Carlton.

Grootjans, A.P., F.H. Everts, A.T.W. Eysink, A.J.M. Jansen, A.J.P. Smolders & E. Takman, 2014 concept. Beekdallandschap. In: A.J.M. Jansen, H. van Dobben, J. Bouwman, M. Nijssen & D. Bal, *Deel III Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën*. http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_iii.aspx

Gubbels, R.E.M.B., 2009. Vuursalamander *Salamandra salamandra*. In: Creemers, R.C.M. & J.J.C.W. van Delft (Red.), 2009. *De amfibieën en reptielen van Nederland. Nederlandse Fauna 9*. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis & European Invertebrate Survey - Nederland, Leiden.

Gundersen, P., Schmidt, I.K. & K. Rauland-Rasmussen, 2006. Leaching of nitrate from temperate forests; effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews* 14: 1-57.

Hanhart K. & F.J. Bil, 2007. *Hydrologische onderzoek Grootte Heide*, Hanhart Consult, Lochum;

Hermij, M. & R.J. Bijlsma, 2010. Bosbeheer en biodiversiteit. In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven; 493-501.

Hofmann, G. & D. Heinsdorf, 1990. Zur landschaftsökologischen Wirkung von Stickstoff-Emissionen aus Tierproduktionanlagen, insbesondere auf Waldbestände. *Tierzucht* 44, 500-504.

Hommel, P., R. de Waal, B. Muys, J. den Ouden & T. Spek, 2007. *Terug naar het lindewoud. Strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer*. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Hommel, P.W.F.M., J.H.J. Schaminée & A.H.F. Stortelder, 1999. 41. Vaccinio-Piceetea. In: A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden; 229-254.

Hommel, P.W.F.M., K.W. van Dort & J.H.J. Schaminée, 1999. 42. Quercetea robori-petraeae. In: A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden; 255-286.

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*. Kansencarten voor multifunctionele natte bossen met meerwaarde voor waterbeheer, natuur en recreatie. Alterra-rapport 1267. Alterra, Wageningen, 2005.

- Hommel, P.W.F.M., R.H. Kemmers, R.W. de Waal, 2008. *Herstel Vogelkers-Essenbos in het Lankheet: Voortgangsrapport 2005-2006 - Beschrijving van de uitgangssituatie*, Ministerie van LNV, Directie kennis, Ede
- Hommel, P.W.F.M., R.H. Kemmers, E.P. Querner, R.W. de Waal, 2013. *Herstel vogelkers-essenbos in het Lankheet, Resultaten van het OBN-onderzoek 2005-2010*. Rapport nr. 2013/OBN149-BE. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag;
- Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2013. *Provinciaal meetnet verdroging Overijssel. Beschrijving en beoordeling van 56 meetpunten*. Alterra-rapport 2457, Wageningen
- Honnay, O., M. Hermy & P. Coppin, 1999. Effects of area, age and diversity of forest patches in Belgium on plant species richness, and implications for conservation and reforestation. *Biological Conservation* 87: 73-84.
- Houdijk, A. (1993) *Atmospheric ammonium deposition and the nutritional balance of ecosystems*. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen, 90-9005778-1.
- Houdijk, A.L.F. & J.G.M. Roelofs (1991) Deposition of acidifying and eutrophicating substances in Dutch forests. *Acta Botanica Neerlandica* 40: 245-255.
- Houdijk, A.L.F., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (1993) The effects of atmospheric nitrogen deposition on the soil chemistry of coniferous forest in the Netherlands. *Environmental Pollution* 80: 73-78.
- Houdijk, A.L.F.M. & J.G.M. Roelofs (1993) The effects of atmospheric nitrogen deposition and soil chemistry on the nutritional status of *Pseudotsuga-menziesii*, *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris*. *Environmental Pollution* 80: 79-84.
- Huber, Ch, J. Aherne, W. Weis, E. P. Farrell, A. Göttlein, T. Cummins, 2010. Ion concentrations and fluxes of seepage water before and after cutting of Norway spruce stands at Ballyhooly, Ireland, and Höglwald, Germany. *Biogeochemistry* 101:7-26;
- Irmeler, U., 2004. Long-term fluctuation of the soilfauna (Collembola and Oribatida) at groundwater-near sites in an alder wood. *Pedobiologia* 48: 349-363
- Ivens, W.P.M.F., G.P.J. Draaijers, W. Bleuten, & M.M. Bos, 1989. The impact of air-borne ammonia from agricultural sources on fluxes of nitrogen and sulphur towards forest soils. *Catena*, 16 (1989), pp. 535-544.
- Jalink, L. 1999. Op zoek naar de mycologische kroonjuwelen van Nederland 1. De 200 meest waardevolle kilometerhokken. *Coolia* 42(3): 143-162.
- Jalink, M.H. & A.J.M. Jansen 1996. *Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen*. Deel 2 uit de serie 'Indicatorsoorten'. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Jalink, M.H., J. Grijpstra, & A.C. Zuidhoff 2003. *Hydro-ecologische systeemtypen met schraallanden in Pleistoceen Nederland*. Rapport EC-LNV nr 2003/2250, 75pp.
- Jansen, A.E., 1981. *The vegetation and macrofungi of acid oakwoods in the North-East Netherlands*. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Jansen, A.J.M. & U. Vegter, 1991. Herstel van natuurwaarden in het Grote Ven bij Doetinchem. *Natuur en Landschap in Achterhoek en Liemers* 5: 3-10.
- Jansen, A.J.M., De Graaf, M.C.C. & J.G.M. Roelofs, 1996. The restoration of species-rich heathland communities in The Netherlands. *Vegetatio* 126: 73-88.
- 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. & Vegter, U. & A.J.M. Roozen, 2001. Het Grote Ven naar grote hoogte? Herstel van een ven nabij Doetinchem. *Stratiotes* 23: 57-72.
- 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., 2010. *Systeemanalyse Boetelerveld*. Rapport Unie van Bosgroepen, 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., J.H. Bouwman & M.A.P. Horsthuis, 2012. *Hydro-ecologische systeemanalyse van het Natura 2000-gebied Lonnekermeer*. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.
- Jansen, A.J.M., J.H. Bouwman & J. Sevink, 2013. *Waterlandschap Hoge Veluwe. Visie op de natte gebieden in het Nationale Park de Hoge Veluwe*. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.
- Jansen, A.J.M., H. van Dobben, J. Bouwman, M. Nijssen & D. Bal, 2014. *Deel III Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën*. http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_iii.aspx
- Joosten, E., 1821. Verhandelingen door de Maatschappij ter Bevordering van den Landbouw 16(1). Amsterdam.
- Keizer, P.J. (1993). *The ecology of macromycetes in roadside verges planted with trees*. Proefschrift Universiteit Wageningen.
- Kemmers, R., Dobben, H. van, Wamelink, W. & A. Jansen, 2007. *Effecten van het generieke milieubeleid op het terugdringen van de verzuring en het herstel van natuurwaarden in multifunctionele bossen op arme zandgronden*. Alterra rapport 1531.
- Kemmers, R., J. Bloem en J. Faber. 2012. *Bodembiota en stikstofstromen in schraalgraslanden. Effecten op de vegetatie*. Alterrarapport 1979. Wageningen
- Kemmers, R.H., P. Mekking, A. Smit, en J. Sevink. 1996. *Effecten van bosbegrazing op het humusprofiel van arme zandgronden onder naaldbos*. SC-rapport 294. Wageningen
- Kemmers, R.H. & R.W. de Waal. 1999. *Ecologische typering van bodems*. Deel 1: Raamwerk en humusvormtypologie. Wageningen. Alterra. Rapport 667-1.
- Kemmers, R.H., 2011. *Effecten van verzuring op bodemleven en stikstofstromen; een verkenning van mogelijkheden voor herstelmaatregelen*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 2204.
- Klap, J.M., & P. Schmidt, 1992, *Maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: pre-advies*. Hinkeloord Reeks, Wageningen.
- Kleef, H. van, E. Brouwer & H. Esselink 2007. *OBN-Vooronderzoek naar de mogelijkheden voor natuurherstel in de Malpievennen*. Rapport Stichting Bargerveen en Onderzoekscentrum B-Ware, Nijmegen.
- Kleef, H. van, 2010. *Identifying and crossing thresholds in managing moorland pool macro-invertebrates*. Proefschrift Radboud Universiteit, Nijmegen.
- Klimo, E. & J. Kulhavý, 2006. Norway spruce monocultures and their transformation to close-to-nature forests from the point of view of soil changes in the Czech Republic. *Ekológia* 25(1): 27-43, Bratislava.
- Klinka, K., R.N. Green, R.L. Towbridge & L.E. Lowe, 1981. *Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia*. Ministry of Forests. B.C. Min. For. Land Manage. Rep. No.8. Victoria, British Columbia.

Koch Widerberg, M., T. Ranius, I. Drobyshv, U. Nilsson & M. Lindbladh, 2012. Increased openness around retained oaks increases species richness of saproxylic beetles. *Biodiversity & Conservation* 21: 3035-3059.

Konsten, C.J.M., A. Tiktak & W. Bouten, 1988. *Soil chemistry and soil physics of two Douglas fir stands affected by acid atmospheric deposition on the Veluwe, The Netherlands*. Report 03-01 Dutch Priority Programme on Acidification, RIVM, Bilthoven, The Netherlands (1988)

Kooijman, A.M., I.M. Emmer, J.Fanta & J.Sevink, 1999 Natural regeneration potential of the degraded Krkonoše forests. *Land Degradation & Development* 11: 459-473.

Koop, H. & S. van der Werf, 1995. *Natuurlijke bosgemeenschappen A-locaties en boscomplexen. Achtergronddocument bij de Ecosysteemvisie Bos*. IBN-rapport 162, Wageningen.

Kort-Langeveld, N. de & A.J.M. Jansen, 2011. *EGM beleidsmonitoring 2009. Resultaten van herstelmaatregelen voor stuifzanden, jeneverbesstruwelen, droge heiden en droge schraallanden, natte heiden, vochtige en natte schraallanden en vennen en hoogveentjes*. Rapport. Unie van Bosgroepen, Ede.

Koster, E.A., 1978. *De stuifzanden van de Veluwe. Een fysisch-geografische studie*. Ph.D. thesis, Universiteit van Amsterdam.

Kramer, K. & I. Geijzendorffer, 2010. *Ecologische veerkracht. Concept voor natuurbeheer en natuurbeleid*. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Krupa, S.V., 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution* 124: 179-221.

Lamers, L.P.M., 1995. *Hydrologie, vegetatie en beheer van het Pikmeeuwenwater (De Hamert)*. Katholieke Universiteit Nijmegen, Afdeling Aquatische Oecologie en Milieubiologie, Nijmegen.

Lammers, H., H. van Hooff, L. Raaijmakers, J. van Kuijk & T. Boudewijns (2012). *Niet zomaar een bos....!! Natuuronderzoek op de cm² in het Coovels Bos*. Natuurstudiegroep Coalescens, Helmond.

Lessel, T., M. T. Marx, G. Eisenbeis, 2011. Effects of ecological flooding on the temporal and spatial dynamics of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) and springtails (Collembola) in a polder habitat. *Zookeys* (100): 421-446.

Leuschner, Ch. & M.W. Rode, 1999. The role of plant resources in forest succession: changes in radiation, water and nutrient fluxes, and plant productivity over a 300 yr-long chronosequence in NW Germany. *Perspectives in Plant ecology, Evolution and Systematics* 2: 103-147.

Loeb, R. & A.J.P. Smolders, 2011. *Quick-scan bodemchemie Voltherbroek, Agelerbroek & Achter de Voort*. B-ware-rapportnummer 2011.32. B-ware, Nijmegen.

Lombosky, B., Dramek, V. & R. Novotny 2012. Changes in air pollution load in the Jizera Mts: effects on health status and mineral nutrition of the young Norway spruce stands. *European Journal of forest Research* 131: 757-771.

Loon, van A., M.H. Jalink & M.A.A. Paalman, 2013, Voorraadvorming door vernatten, *Landschap* 2013, nr 4, pag 181-189

Lucassen, E.C.H.E.T., R. Bobbink, A.J.P.Smolders, P.J.M. van der Ven, L.P.M. Lamers, & J.G.M. Roelofs, 2003. Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology* 165: 45-52.

Lucassen, E., J. van de Crommeacker, R. Peters & J. Roelofs, 2002. Anti-verdrogingsmaatregelen en vegetatieherstel in Elzenbroekbossen, Het belang van een natuurlijk waterregime, *Natuurhistorisch maandblad*, jaargang 91 (maart 2002), 37-41.

Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P.Smolders, J. van de Crommeacker, & J.G.M. Roelofs 2004. Effects of stagnating sulphate-rich water on the mobility of phosphorus in freshwater wetlands. *Archiv für Hydrobiologie* 160: 117-131.

- Lucassen, E.C.H.E.T., L. Loeffen, J. Popma, E. Verbaarschot, E. Remke, S. de Kort & J. Roelofs, 2011. Bodemverzuring lijkt een sleutelrol te spelen in het verstoorde verjongingsproces van jeneverbess (Juniperus communis). *De Levende Natuur* 112 (6): 235-239.
- McBrayer JF, JM Ferris, LJ Metz, CS Gist, BW Cornaby, Y Kitazawa, T Kitazawa, JG Wernz, GW Krantz, H. Jensen 1977. Decomposer invertebrate populations in U.S. forest biomes. *Pedobiologia* 17: 89-96.
- Mickel, S., S. Brunschön, A. Fangmeier, 1991. Effects of nitrogen nutrition on growth and competition of *Calluna vulgaris* (L.) Hull and *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. *Angewandte Botanik* 65, 359-372.
- Molen, P.C. van der, G.J. Baaijens, A.P. Grootjans & A.J.M. Jansen 2010. *LESA - Landschapsecologische systeemanalyse*. Dienst Landelijk Gebied, Utrecht.
- Molen, P.C. van der, G.J. Baaijens, A.P. Grootjans & A.J.M. Jansen 2011. *LESA, Landscape Ecological System Analysis*. DLG/Boschap, Utrecht/Driebergen.
- Muscolo, A., M. Sidai, S Bagnato, C. Mallormac, R. Mercurio. 2010. Gap size effects on above and below ground processes in a silver fir stand. *European Journal of Forest Research*. 129: 355-365
- Nielsen, K.E., K. Dalsgaard & P. Nørnberg, 1987. Effects on soils of an oak invasion of a *Calluna* heath, Denmark. I. Morphology and chemistry. *Geoderma* 41: 79-95.
- Nijssen, M.E., H.M. Beije, J.H. Bouwman, D. Groenendijk & N.A.C. Smits, 2012. Herstelstrategie Bos van arme zandgronden (leefgebied 13). http://pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_ii.aspx.
- Nillson, L.O. & H. Wallander, 2003. Production of external mycelium by ectomycorrhizal fungi in a Norway spruce forest was reduced in response to nitrogen fertilization. *New Phytologist* 158: 409-416.
- Noordijk, J., E. Colijn, D. Teunissen & C. Vendrig, 2013. De Vermiljoenkever: een voor Nederland nieuwe habitatrichtlijnsoort geeft aanwijzingen voor bosbeheer. *De Levende Natuur* 114: 187-190.
- Orchard, V.A., F.J. Cook, 1983. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* 15: 447-453.
- Ouden, J. den, B. Muys, F. Mohren en K. Verheyen (red), 2010. *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven/ Den Haag
- Pabian, S.E., S.M. Rummel, W.E. Sharpe, M.C. Brittingham, 2012. Terrestrial liming as a restoration technique for acidified forest ecosystems. *International Journal of Forestry Research*, Volume 2012, Article ID 976809.
- PBL, 2010. Wat de natuur de mensen biedt, ecosysteemdiensten in Nederland, PBL-publicatienummer 500414002, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven
- Peeters, T.M.J., H. Nieuwenhuijsen, J. Smit, F. van der Meer, I.P. Raemakers, W.R.B. Heitmans, C. van Achterberg, M. Kwak, A.J. Loonstra, J. de Rond, M. Roos & M. Reemer, 2012. *De Nederlandse Bijen. Natuur van Nederland 11*. Naturalis Biodiversity Center & European Invertebrate Survey - Nederland, Leiden.
- Pietilä, M., P. Lahdesmaki, P. Pietilainen, A. Ferm, J. Hytonen, 1991. High nitrogen deposition causes changes in amino acid concentrations and protein spectra in needles of the Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Environmental Pollution* 72, 103-115.
- Plassard, C. & B. Dell, 2010. Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. *Tree physiology* 30 (9): 1129-1139
- Plum, N., 2005. Terrestrial invertebrates in flooded grassland: a literature review. *Wetlands* 25: 721-737.

- Poelmans, W., J. van der Straaten & K. Veling, 2013. *Leembossen in het Groene Woud. Schatkamer van biodiversiteit*. Pictures Publishers.
- Poels, R.L.H., P. Schmidt, J. van den Burg, R.H. Kemmers & H.A. Verhoef, 2000. *Pre-advies Natte bossen, Verdroging verzuring en eutrofiering van natte bossen in Nederland: effecten en maatregelen*. IKC-Natuurbeheer, Ministerie van LNV, Wageningen.
- Ponge, J.F. & N. Bernier, 1995. *Changes in humus form and forest dynamics in the French Northern Alps*. Museum National d'Histoire Naturelle, 4 avenue du Petit-Chateau, F-91800 BRUNOY (France).
- Pott, R., 1995. *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands*. 2.Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- Provincie Limburg, 2004. *Voortgangsrapportage verdrogingsbestrijding 1989 – 2007*. Provincie Limburg, Maastricht.
- Rackham, O., 2003. *Ancient woodland. Its history, vegetation and uses in England*. 2nd.ed. Castlepoint Press, Colvend.
- Rackham, O., 2006. *Woodlands*. HarperCollins, London.
- Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzyński, J., Mrozinski, P. Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M. & M.G. Tjoelker, 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters* 8: 811-818.
- Reichstein, M., J-A. Subke, A.C. Angeli & J.D. Tenhunen, 2005. Does the temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter depend upon water content, soil horizon, or incubation time? *Global Change Biology* 11: 1754–1767.
- Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A. et al., 2005, *Ecosystems and Human well-being Synthesis*. A report of the Millennium Ecosystem assessment. Island Press, Washington DC. ISBN 1-59726-040-1.
- Ritter, E., 2005. Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish (*Fagus s.*) forest. *Soil & Biochemistry* 37: 1237-1247
- Rooij, S.A.M. van, P.W.F.M. Hommel, R.H. Kemmers, A.F.M. Olsthoorn, E.P. Querner en R. de Waal, 2007. Bergen in het bos. Nieuwe bossen voor waterbeheer, natuur en recreatie. Wat kan waar en wat levert het op? Brochure. Alterra, Wageningen UR.
- SanClements, M.D., I.J. Fernandez & S.A. Norton (2010) Phosphorus in soils of temperate forests: linkages to acidity and aluminium. *Soils Science Society of America Journal* 74: 2175-2186.
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & V. Westhoff, 1995. *De vegetatie van Nederland. Deel 1. Inleiding tot de plantensociologie – grondslagen, methoden en toepassingen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden.
- Scheffer, F & P. Schachtschabel, 1992. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1992).
- Schelhaas M.J., M.N. van Wijk & G.J. Nabuurs, 2002, *Koolstofvastlegging in bossen, een kans voor de boseigenaar?* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de groene ruimte, Alterra-rapport 553
- Schelling, J., 1955. Stui/zandgronden. Verslagen Bosbouwproefstation TNO. Band 2, verslag 1, Wageningen.
- Schrijver, A. de, 2007. *Acidification and eutrophication of forests on sandy soil: effects of forest type and deposition load*. Ph.D. thesis, Ghent University, Belgium, 185p.
- Schrijver, A. de, Geudens, G., Aufusto, L., Staelens, J. Meterns, J., Wuyts K., Gielis, L. & K. Verheyen, 2007. The effect of forest type on throughfall deposition and seepage influx: a review. *Oecologia* 153: 663-674.

Schrijver, A. de, I. Janssens, J. Staelens & K. Wuyts, 2010. Koolstof- en nutriëntenkringlopen. In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.), *Bosecologie en bosbeheer*. Acco Leuven; 167-175.

Schütz, K., 2008. *Artificial groundwater recharge in forests - soil fauna and microbiology*. PhD-thesis University of Basel, Basel.

Setälä, H., Haimi, J., Siira-Pietikäinen, A., 2000. Sensitivity of soil processes in northern forest soils: are management practices a threat? *Forest Ecology and Management* 133: 5-11

Sevink, J. & M. Vlamink, 2006. *Bodemnutrofiëring in het noordelijke deel van het Laarder Wasmerengebied*. Rapport IBED Universiteit van Amsterdam.

Shapiro, J.P., D.G. Hall, R.P. Niedz, 1997. Mortality of the larval root weevil *Diarepes abbreviatus* (Coleoptera: curculionidae) in simulated flooding. *Florida Entomologist* 80:277-285.

Siebel, H.N., 1993. *Indicatiegetallen van blad- en levermossen*. IBN-rapport 047, Leersum.

Siebel, H.N., R.J. Bijlsma & L.B. Sparrius. 2013. *Basisrapport voor de Rode Lijst mossen 2012*. BLWG-rapport 14. Bryologische en Lichenologische Werkgroep, Oude-Tonge (tevens Buxbaumiella 96).

Simon K.H., K. Westendorff, 1991. Stoffeinträge mit dem niederschlag in kiefernbeständen des nordostdeutschen tieflandes in den jahren 1985-89. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 25 (1991), pp. 177-180.

Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs, 2002. The isoetid environment: biogeochemistry and threats. *Aquatic Botany* 73: 325-350.

Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, M. van der Aalst, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2008. Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former agricultural lands with noncalcareous sandy soils: possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology* 16 (2): 240-248.

Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen & E. Brouwer, 2009. Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* 110 (1): 33-38

Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, M. Poelen. & R. Kuiperij, 2010. *Onderzoek ten behoeve van ecohydrologische analyse Stelkampsveld*. Concept-rapport 2010.058, onderzoekcentrum B-Ware. In opdracht van Staatsbosbeheer.

Sparrius, L., A. Kooimans, J. Sevink, 2012. Response of inland dune vegetation ion increased nitrogen and phosphorous levels. *Applied Vegetation Science*. Volume 16, issue 1, page 40-50.

Sparrius, L.B., B. Odé & R. Beringen, in druk. *Basisrapport voor de Rode Lijst Vaatplanten 2012*. FLORON-rapport 57. FLORON, Nijmegen ([www.floron.nl/ Publicaties/Rode-Lijst-Vaatplanten-2012](http://www.floron.nl/Publicaties/Rode-Lijst-Vaatplanten-2012))

Stanford, G. & E. Epstein, 1974. Nitrogen Mineralization-Water Relations in Soils. *Soil Science Society of America Journal* 38: 103-107.

Staring Centrum, Alterra. *Geomorfologische kaart van Nederland 1 : 50.000* Div.kaartbladen. Digitale versie, Alterra, Wageningen.

Steenis, W. van & M. Reemer, 2013. Zweefvliegen houden van oude bossen. *De Levende Natuur* 114: 177-181.

STIBOKA, Staring Centrum. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50000*. Div. kaartbladen. Digitale versie. Alterra, Wageningen.

Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel & J.H.J. Schaminée, 1999. 39. *Alnetea glutinosae*. In A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden; 189-210.

- Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel & J.H.J. Schaminée, 1999. 40. Vaccinio-Betuletea pubescentis. In A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden; 211-228.
- Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & M. Hermy, 1999. 43. Quercu-Fagetea. In A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus Press, Uppsala/Leiden; 287-331.
- Succow, M. & H. Joosten, 2001. *Landschaftsökologische Moorkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- Tamis, W.L.M., Van Esch, W.R.C., De Graaf, H.J., De Snoo, G.R., 2008, *Ecosysteemdiensten optimaal benut*. Een gebiedsgerichte uitwerking. Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden. CML report 108. Leiden.
- Tamm, J.C., 1984. Surviving long submergence in the egg stage—a successful strategy of terrestrial arthropods living on flood plains (Collembola, Acari, Diptera). *Oecologia* 61: 417-419.
- Tax, M.H., 1989. *Atlas van de Nederlandse dagvlinders*. De vlinderstichting, Wageningen & Natuurmonumenten, 's-Graveland.
- Thelin, G., U. Rosengren-Brinck, B. Nihlgard, & A. Barkman, 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine stands in South Sweden 1985-1994. *Environmental Pollution* 99: 149-158.
- Tietema, A., R.F. Wright, K. Blanck, A.W. Boxman, M. Bredemeier, B.A. Emmett, P. Gundersen, H. Hultberg, O.J. Kjønaas, F. Moldan, J.G.M. Roelofs, P. Schleppei, A.O. Stuanes & N. Van Breemen, 1995. NITREX: The timing of response of coniferous forest ecosystems to experimentally-changed nitrogen deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 1623-1628.
- 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.
- Tufová, J. & Tuf, I.H., 2005. Survival under water – comparative study of millipedes (Diplopoda), centipedes (Chilopoda) and terrestrial isopods (Oniscidea). In: *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I*. Tajovský, K., Schlaghamerský, J. & Pižl, V. (eds.): 195-198. České Budějovice, ISBN 80-86525-04-X.
- Vandekerkhove, K., L.Crêvecoeur, A. Thomaes & F. Köhler, 2013. Kevers van dood hout. *De Levende Natuur* 114: 182-186.
- Veen, R. van der, K. Hanhart, A.J.M. Jansen & F. Verhagen, 2007. Geohydrologische aanpassingen in historisch perspectief, tussen de Veluwe en het IJsseldal. *H₂O* 40 (1): 33-36.
- Veling, K., J. Smit & V. Siebering, 2004. *Bosrandbeheer voor vlinders en andere ongewervelden*. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Verberk, W.C.E.P., A.P. Grootjans & A.J.M. Jansen, 2009. Natuurherstel: van standplaats naar Landschap. *De Levende Natuur* 110: 105-110.
- Verhagen, R. & R. van Diggelen, 2006. Spatial variation in atmospheric nitrogen deposition on low canopy vegetation. *Environmental Pollution* 144, 826-832.
- Vermulst, J.A.P.H., 2009. *Programma van eisen natte natuurparel De Malpie*. Rapport Royal Haskoning, 's-Hertogenbosch.
- 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 2003/2270.

Vincent, G., A. Rheza Sharhriari, E. Lucot, P-M Badot, D. Epron, 2006. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating watertable. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2527-2535.

Vogels, J., H. Jansman, R. Bobbink, M. Weijters, E. Verbaarschot, P. ten Den, R. Versluijs & S. Waasdorp, 2013. *Herstellen van akkers als onderdeel van een intact heidelandschap. De koppeling tussen arme heidegebieden en rijkere gronden*. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag. Rapport nr. 2013/OBN179-DZ.

Voo, E.E. van der, 1973. Areal, milieu en sociologie van *Sparganium angustifolium* Michaux. Rapport. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

Waal R.W. de, 1996. Dynamiek van strooisellagen in boscosecosystemen op de overgang van kalkrijk naar kalkarm. In: R.H. Kemmers (red.). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten gehouden tijdens de themadag 6 okt 1995. DLO-staring Centrum Wageningen.

Waal, R.W. de, 2007. Een nieuwe standplaatsindeling op basis van abiotische kenmerken. *Stratiotes* 33/34: 14-24.

Waal, R.W. de & R.J. Bijlsma, 2003. *Bossen van de keileemgronden: betekenis van stagnerend grondwater voor de ontwikkeling van humusprofiel en vegetatie*. Alterra-rapport 804, Wageningen.

Waal, R.W. de, P.C. Jansen, S.P.J. van Delft en P. Bolhuis. 2011. *Herstelplan Tondense heide*. Alterra-rapport 2248, Wageningen

Warmoes T & R. Devriese, 1987. *Land- en zoetwatermollusken van de Benelux*. Jeugdbond voor Natuurstudie en Milieubescherming, Gent.

Waterbolk, H.Tj., 1948. Landschap en plantengroei van Havelte. In J.C. Smittenberg (red.), 1973, *Plantengroei in enkele Nederlandse landschappen*. Bondsuitgeverij Jeugdbonden voor Natuurstudie, Amsterdam; 193-229.

Weber, H.E., 1986. Rubi Westfalici. *Die Brombeeren Westfalens und des Raumes Osnabrück (Rubus L., subgenus Rubus)*. Westfälisches Museum für Naturkunde, Landschaftsverband Westfalen-Lippe.

Weeda, E.J., 2000. Jeneverbessen op lemig zand. *Stratiotes* 21: 13-32.

Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren (eds.), 2005. *Atlas van de Plantengemeenschappen in Nederland. Deel 4. Bossen, struwelen en ruigten*. KNNV Uitgeverij, Utrecht.

Wegge, P. & L. Kastdalen, 2008. Habitat and diet of young grouse broods: resource partitioning between Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and Black Grouse (*Tetrao tetrix*) in boreal forests. *Journal of Ornithology* 149 (2): 237-244.

Werf, S. van der, 1991. *Bosgemeenschappen. Natuurbeheer in Nederland 5*. Pudoc, Wageningen.

Willmott, K.J., 1990. *The Purple Emperor Butterfly*. BBCS, London.

Wirdum, G. van, 1979. Trophiegradiënten in een kraggenlandschap. *H₂O* 12(3): 46-57.

Wittig, R. (2008) Experimental research on recolonisation with *Anemone nemorosa* of the beech forsets of the Ruhr district (germany) floristically impoverished by air pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 15: 492-498.

Wösten, J.H.M, G.J. Veerman, W.J.M. de Groot, J. Stolte. 2001. *Waterretentie- en doorlatendheid karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland*. De Staringreeks (vernieuwde uitgave). Alterrarapport 153. Wageningen

Zorn M.I., C.A.M. van Gestel & H. Eijsackers, 2005. Species-specific earthworm population responses in relation to flooding dynamics in a Dutch floodplain soil. *Pedobiologia* 49: 189-198.

Bijlage 1. Selectiecriteria te bezoeken 10 locaties

Om de effectiviteit van de beheermaatregelen zo goed mogelijk te kunnen beoordelen moet aan een aantal criteria worden voldaan. Deze criteria betreffen:

- 1) de uitgevoerde maatregelen en hoe lang geleden de maatregelen uitgevoerd zijn;
- 2) of er al waarneembare effecten zijn van de maatregelen;
- 3) of er voldoende bekend is van de Ausgangssituatie;
- 4) of en zo ja wat er gemonitord wordt.

Uitgevoerde maatregelen

Er moet voldoende informatie zijn welke maatregelen wanneer zijn uitgevoerd. Er zijn in de afgelopen decennia vrij veel maatregelen uitgevoerd. Vaak is voorzichtig begonnen met achterwegen laten van slootonderhoud en op kleine schaal dempen van slootjes. Geleidelijk is overgegaan op steeds effectievere en grootschaligere vernattingsmaatregelen. Al deze maatregelen moeten goed gedocumenteerd zijn om inzicht te krijgen in het verloop van het vernattingsproces. Bodem, vegetatie en fauna moeten de tijd hebben gehad om op de vernattingsmaatregelen te reageren.

Er moeten verschillende maatregelen beoordeeld worden op hun effectiviteit. De referenties moeten dus zo gekozen worden dat er een zo breed mogelijk spectrum aan mogelijke maatregelen binnen de referenties uitgevoerd zijn. De verschillende maatregelen die we willen beoordelen zijn:

- Hydrologische maatregelen:
- Maatregelen in het inzigtgebied die de toestroming van lokaal grondwater moeten verhogen: dempen van sloten (detailontwatering) al dan niet in combinatie met verwijderen van bos of omvormen van naaldbos;
- Maatregelen in het terrein die gericht zijn op vasthouden van gebiedseigen water: dempen van sloten, stuwen en afdammen van sloten, afstroming over maaiveld, egaliseren van rabatten;
- Maatregelen in het terrein die gericht zijn op tegengaan van afvoer van grondwater: verondiepen van sloten, dempen van sloten, bodemverhoging van doorgaande sloten en beken;
- Maatregelen die grondwaterstromingen naar het bosgebied herstellen: dempen en verondiepen van (ruilverkavelings)sloten rondom het bosgebied;
- Aanpassen van de bosvegetatie;
- Maatregelen die als doel hebben om het aandeel boom- en struiksoorten met een positief effect op de bodemontwikkeling te verhogen: stimuleren van natuurlijke verjonging van berk, ratelpopulier, wilgen, lijsterbes, es of aanplant van linde, (haagbeuk) en hazelaar;
- Maatregelen die als doel hebben om het aandeel boomsoorten die een negatief effect hebben op de bodemontwikkeling te verlagen: vellen en verwijderen van populier, vellen en al dan niet laten liggen van (Amerikaanse) eik, beuk en naaldhout;
- Maatregelen om de structuur van een bos te verhogen: groepenkap voor verhogen van het aandeel open ruimten, het ringen, vellen of omtrekken/omduwen van bomen voor verhogen aandeel dood hout (of bij vernatting het laten liggen/staan van dode, omgewaaide of omgevallen bomen).
- Afvoer van organisch materiaal;
- Maatregelen die tot doel hebben om de negatieve effecten van verdroging, verzuring en vermessing te verwijderen: plaggen, strooiselverwijderen en maaien van verruigde vegetatie.

Effecten van de maatregelen

De hydrologische maatregelen moeten geleid hebben tot een duidelijke verhoging van de grondwaterstand. Dit kan een visueel effect zijn: inundaties in de winterperiode en afstroming over maaiveld, sloten die hogere peilen hebben of langer watervoerend zijn. Het kan ook (bij voorkeur) een gemeten effect zijn middels peilbuizen en peilschalen. De verhoging moet substantieel zijn.

Minimale verhoging van de grondwaterstand met 30 cm, GVG minimaal binnen bereik van vegetatie (30 cm -mv) of verlenging van de periode met hoge grondwaterstanden tot mei of juni. Ook indirecte effecten die een relatie hebben met verhoging van de waterstand kunnen in aanmerking komen zoals een toename van vochtminnende plantensoorten of plantensoorten van meer gebufferde omstandigheden en vlaktegwijs afsterven van bomen. Bij indirecte effecten wordt ervan uitgegaan dat de wijzigingen in de waterstand altijd substantieel zijn.

Uitgangssituatie

Om de effecten van de maatregelen goed te kunnen beoordelen moet voldoende bekend zijn van de uitgangssituatie. Hiervoor wordt onderscheid gemaakt in gegevens van het bosgebied en de te onderzoeken deellocaties. Van het bosgebied moeten in ieder geval een hydrologisch metingen (grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit) uitgevoerd zijn, bij voorkeur als onderdeel van een hydrologisch vooronderzoek. Er moeten gegevens zijn van flora en vegetatie, bijvoorbeeld de aanwezigheid en verspreiding van vochtminnende of zuurgevoelige plantensoorten en/of bedekkingen van vvv-indicatoren. Andere informatie van voor de maatregelen, zoals van fauna, bosstructuur en boomsoortenverdeling, is wenselijk maar niet noodzakelijk. Van de te onderzoeken deellocaties zijn gedetailleerde gegevens van de uitgangssituatie wenselijk zoals: bodem en humusprofielen, waterstanden en grondwaterkwaliteit, kartering van kenmerkende, basen- en vochtminnende plantensoorten, vegetatieopnamen en analyse van de bodemfauna. Vermoedelijk zijn dit soort locaties echter schaars.

Beschikbare monitoringsgegevens

Monitoringsgegevens van flora, vegetatie, fauna en hydrologie kunnen inzicht geven in de ontwikkeling van het gebied bijvoorbeeld of er na uitvoering van de maatregelen al een herstel optreedt in de populaties van doelsoorten. Ook kunnen monitoringsgegevens de hoeveelheid veldwerk van het onderzoeksteam verlagen. Noodzakelijk hoeft de beschikbaarheid van monitoringsgegevens niet te zijn als er maar voldoende informatie is van de uitgangssituatie.

Tabel B1.1 Overzicht van bosgebieden waar in vochtige bossen maatregelen zijn uitgevoerd. Informatie is gebaseerd op reacties van beheerders op de enquête en aanvullingen van het onderzoeksteam.

Table B 1.1 Overview of forest areas where recovery measures have been carried out in moist forests. Information is based on responses from forest managers on the survey and additions of the research team.

Object/ Gebied	Provincie	Beleid	Opp.	Bostype	Voor- onderzoek	Opp. maatregel	Jaar	Goede beschrijving van maatregelen	Dempen	Afdammen	Stuwen	Overig intern	Overig extern	Zichtbare effecten	Vitaliteit bos en bomen	Hogere waterstanden	Overig	Flora en vegetatie	Fauna gegevens	Flora, vegetatiege- vens	Hydrologische gegevens	
Informatie terrein						Maatregelen							Effecten				Monitoring					
Leenderbos	NB	N2000, TOP		heide	ja	45	1996	ja	+	ja	ja	o	h	ja	+	++		+	+	+		sterke stijging grond en oppervlakte water
Buurserzand	OV	N2000, TOP		heide	ja	20	2005	?	+	+	+	pl		ja		+	a	+	+/-	+	+	
Lankheet	OV	TOP	500	heide	ja	?	2011	ja	+	-	-			ja	+	+	a	+	+/-	+	+	
Lankheet	OV	TOP	500	beek	ja																	bevloeiing
Ulvenhoutsbos	NB	N2000, TOP		leem				?														
Witteveen	OV	N2000, TOP	295	heide	ja	30	1990	ja	+	+				ja	+	+			+	+	+	
Weerterbos	L	N2000, TOP	600	heide	ja	?	2000	ja	+	+	+	a		ja								
Smalenbroek/Groot Brunink	OV			beek	ja		2000?	ja	+	+								-	+	+	+	ondanks herstelmaatregelen weinig effect vegetatie
Swalmdal	L	N2000, TOP	50	beek	beperkt	1	2010	ja	+	-	-	r+	h	+/-	?	?		+	-	+	-	rabatten geegaliseerd: veel pitrus
Groote Heide, Heeze	NB	N2000, TOP	500	heide	ja	100	2002	ja	+	-	-	r	p	ja	+	+	+	+	-	+	+/-	voorbeeld vernatting in combinatie met productie bossen
Urkhovense Zeggen	NB	TOP	25	beek	ja	10	2007	ja	+	ja	ja	g	p	ja	+	+		+	-	+	+	
De Zumpe	GLD	N2000, TOP		beek	ja		?	?														
Berkenheuvels Dr-Fr Wold	DR	N2000, TOP	600	heide	?																	
<i>Mastbos</i>	<i>NB</i>		<i>500</i>	<i>heide</i>		<i>?</i>	<i>?</i>	<i>?</i>						<i>ja</i>								
De mortelen/Heerenbeek	NB	TOP		leem		10	?	?														
<i>Chaamse bossen</i>	<i>NB</i>			<i>heide</i>		<i>?</i>	<i>?</i>	<i>?</i>						<i>ja</i>		<i>+</i>						
Leudal	L	N2000, TOP	650	beek	ja		1998	?				r	h	+/-	-	+		-	+	+	+	
Goorloop/Kroonvensche Heide	NB	TOP	100	heide	beperkt	100	2005	?	+	ja			v+	ja	+	+		+	?	+	+	
Kruispeel	L	TOP	40	beek	ja	5	2008	ja	-	-	-	-	h+	ja	+	+	?	?	?	?	?	
<i>Dal van de Mosbeek</i>	<i>OV</i>			<i>bron</i>	<i>ja</i>	<i>5</i>	<i>2010</i>	<i>?</i>	<i>+</i>			<i>i</i>	<i>d</i>	<i>+/-</i>		<i>+</i>		<i>+</i>	<i>-</i>	<i>+</i>	<i>-</i>	<i>bronbossen</i>
De Pan, Sterksel	NB			heide	nee	30	2002	?	+		+		p	ja	+	+	+	+	+/-	+	+	
Ijzerenbos/ t Hout	L	TOP		beek																		
Kadoelerbos, Voorsterbos	FL			leem	beperkt	156	2007	?	+	+	+	o		ja	+	+		+	+	+	+	
<i>Neterselse Heide</i>	<i>NB</i>	<i>N2000, TOP</i>		<i>heide</i>		<i>100</i>	<i>?</i>	<i>?</i>														
<i>Plateaux/vloeiweiden</i>	<i>NB</i>	<i>N2000, TOP</i>		<i>heide</i>			<i>?</i>	<i>ja</i>					<i>b</i>									
<i>Rossumer meden</i>	<i>OV</i>			<i>bron</i>	<i>ja</i>	<i>15</i>	<i>2008</i>	<i>?</i>	<i>+</i>			<i>i</i>	<i>d</i>	<i>+/-</i>	<i>-</i>	<i>+</i>				<i>+</i>		<i>bronbossen</i>
Singraven	OV			beek																		
Smoddebos				leem		5		?														
<i>Springendal</i>	<i>OV</i>			<i>bron</i>	<i>ja</i>	<i>100</i>	<i>1998</i>	<i>?</i>	<i>+</i>			<i>i</i>	<i>d</i>		<i>-</i>			<i>+</i>	<i>+/-</i>	<i>+</i>	<i>+</i>	<i>bronbossen</i>
Kaldenbroek	L			beek																		
Fochteloer veen	FR			heide																		
Heekenbroek Hummelo	GLD			oude rivier	ja	5-10	>2000	ja	+	?	?	om	hh	?		+		+	+	+	+	eiken-haagbeukenbos; diepe rabatten, deels intact reliëf
Bevermeer Angerlo	GLD			oude rivier	nee	0,5-1	2010	ja	-	-	-	hh	-	+				+/-	?	+	-	eiken-haagbeukenbos; ondiepe rabatten, sterk verdroogd
Nevelhorst/Greffelkamp/ Zevenaar	GLD			oude rivier	nee	?	2012	ja	-	-	-	hh	-	+				+/-	?	+/-	?	eiken-haagbeukenbos met overgangen essen-iepenbos

g = geleidelijke vernatting door achterwege laten onderhoud greppels; h = herstel bevloeiing; r = rabatten egaliseren; h = hermeandering beek; p = peilverhoging hoofdwatergang; a = afvoer overtollig water over maaiveld; i = inzijsgebied herstellen; d = dempen hoofdwatergangen; o = omvorming bos; hh = instellen hakhoutbeheer

Bijlage 2. Beschrijvingen van bodemtype, humusvormen en vegetatie van de onderzoekslocaties

Het Lankheet

Kenschets

De onderzoekslocatie op het Lankheet ligt aan het eind van een slenk op de overgang van een dekzandrug naar het dal van de Buurserbeek. De slenk is een zijdal van de Buurserbeek. Naast deze slenk lagen voorheen maisvelden die sterk ontwaterd werden. In het verleden, voor intensivering van de ontwatering, trad in de slenk kwel op van basenrijk grondwater. Sinds het voorjaar van 2006 wordt op de voormalige landbouwgronden een grootschalig proef uitgevoerd gericht op waterzuivering door middel van zuiveringsmoerassen. Als onderdeel van deze proef is een strook verdroogd, beekbegeleidend bos vernat met het voorgezuiverde water. Met deze proef worden onder meer de mogelijkheden voor herstel van vogelkers-essenbos onderzocht. Hiervoor is in 2005 een meetnet opgezet waarin onder meer de uitgangssituatie is vastgelegd van de bodem en de vegetatie.

Maatregelen

Voor de aanleg van het helofytenfilter zijn alle drainerende landbouwsloten gedempt en is voor de afvoerende sloot een hoger drainage niveau ingesteld. Op de landbouwgronden zijn rietvelden aangelegd waar basenrijk beekwater doorheen geleid wordt. Het voorgezuiverde water wordt gebruikt voor bevloeiing van landbouwgronden op het landgoed. Een deel van het water wordt, in de winterperiode, via enkele greppels door het bos geleid. Vernatting van het bosperceel wordt niet alleen veroorzaakt door het inlaten van oppervlaktewater maar ook omdat door de aanleg van het helofytenfilter de grondwaterstanden gestegen zijn.

Grondwaterstand

De grondwaterstanden ter hoogte van de waarnemingspunten zijn tussen de start (2006) en het einde van de metingen (2009) gestegen: de laagste grondwaterstand in het lage deel van het perceel met 30-40cm en in het hogere deel met 50 cm.

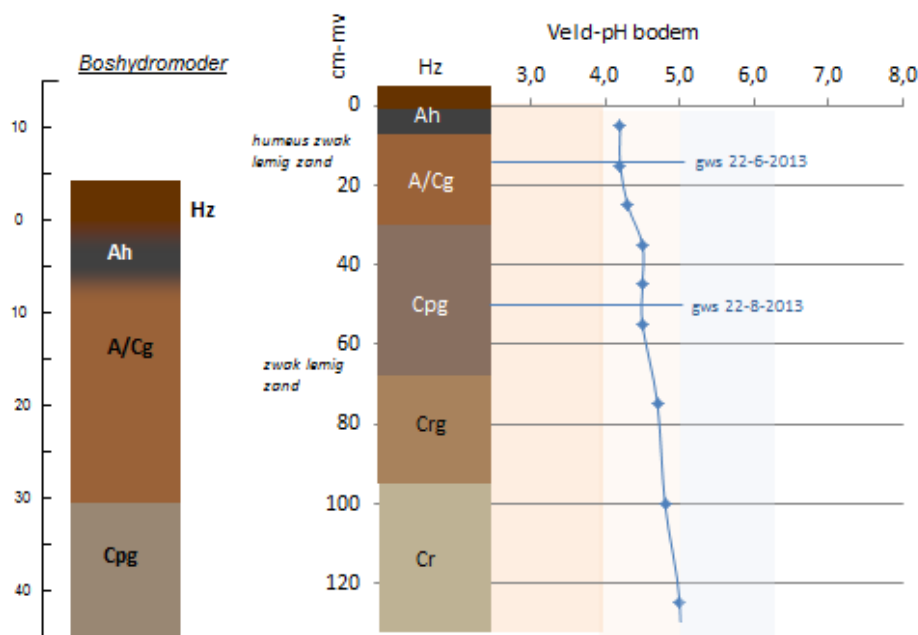
Proefvlakken

Er zijn twee proefvlakken geselecteerd: LH-1 en LH-2. LH-1 ligt in het lage deel van het onderzoeksobject en grenst aan een Elzenbroekbos waar eveneens vernattings- en bevloeiingsexperimenten lopen. LH-2 ligt iets hoger op de gradiënt.

Proefvlak LH-1

Bodem en humusvorm

De twee proefvlakken van Lankheet liggen in voormalig verdroogd en gerabatteerde laagte nabij de Buurserbeek. De bodems op de onderzoekslocaties zijn tot op een diepte, variërend van een halve meter tot één meter, verstoord. Proefvlak LH-1 ligt in het oorspronkelijk minst verdroogde deel van de proeflocatie en bestaat uit een vergraven beekbedgrond op een rabat met oorspronkelijk grondwatertrap III. Deze plek behoort binnen het lage deel tot het relatief droge deel.



Figuur B2.1: Bodem-, humus- en pH-profiel Lankheet 1. Links het humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het voorkomen van een sterk moderachtige omgezette fijne humuslaag Hz is kenmerkend. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.1: Soil-, humus- and pH profile of Lankheet 1. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The strongly decomposed fine moder-like humus layer Hz is characteristic for the circumstances in Lankheet. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

De *beekerdgrond* (Figuur B2.1) bestaat hier in tegenstelling tot de aanduiding op de 1: 50 000 bodemkaart uit matig fijn zwak lemig tot leemarm zand. Het profiel is tot een diepte van 70 cm verwerkt. Tot 30 cm diepte is de bovengrond humeus. De hydromorfe kenmerken zijn zwak ontwikkeld. De huidige grondwatertrap is II. De humusvorm (*boshydromoder*) kenmerkt zich door de aanwezigheid van een goed omgezette, sterk moderachtige ectorganische laag (Hz; Figuur B1-1). Vergelijking met het humusprofiel in 2005 en 2006 wijst op een toename van de activiteit van de kleine bodemfauna (springstaarten, potwormen e.d.) door een verbetering van de basentoestand en vochttoestand in de bovengrond (Hommel et al. 2008, 2013).

Vegetatie

De vegetatie van Lankheet LH-1 is niet goed te plaatsen. De uitgangssituatie kan omschreven worden als a-typisch Berken-Eikenbos (subassociatie van Pijpenstrootje) met "verkeerde" boomsoort. Deze "verkeerde" boomsoort, Zwarte els, stamt uit een ver vochtig tot nat verleden van de standplaats. Er lijken twee ontwikkelingen gaande. De aanwezigheid van Dalkruid en Gewone salomonszegel duidt op vermodering van de humuslaag en een overgang van het Berken-Eikenbos naar een Beuken-Eikenbos. De aanwezigheid van Bitterzoet en Echte valeriaan wijst op een overgang naar een – nog niet nader te duiden – natter bostype.

Tabel B2.1: Vegetatie Lankheet 1 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.1: Vegetation Lankheet 1 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	d				
<i>Betula pubescens</i>	a				
<i>Quercus robur</i>	o				
<i>Rhamnus frangula</i>		d	f		
<i>Ilex aquifolium</i>			f		
<i>Sorbus aucuparia</i>			f		
<i>Dryopteris dilatata</i>				c	
<i>Molinia caerulea</i>				c	
<i>Maianthemum bifolium</i>				la	
<i>Rubus fruticosus</i>				f	
<i>Galeopsis tetrahit</i>				o	
<i>Solanum dulcamara</i>				o	
<i>Polygonatum multiflorum</i>				r	
<i>Valeriana officinalis</i>				r	
<i>Deschampsia flexuosa</i>				lr	
<i>Polytrichum formosum</i>					a
<i>Thuidium tamariscinum</i>					a
<i>Kindbergia praelonga</i>					f
<i>Mnium hornum</i>					o

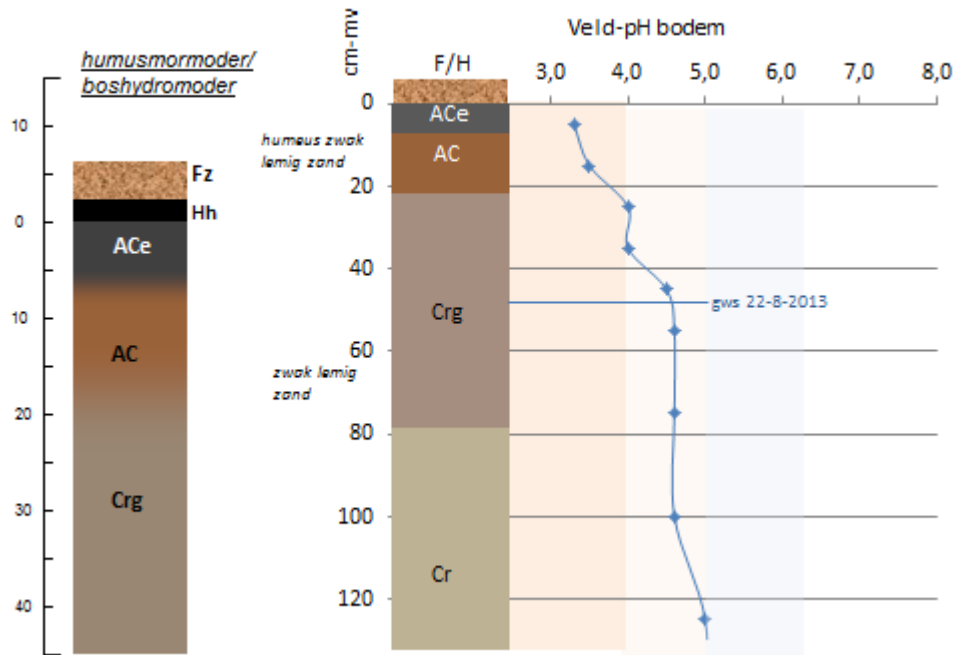
Conclusie

Wat betreft humus en bodem en de geschatte grondwatertrap voldoet deze proefplek aan de vereisten voor een vochtig bos (een vochtig bos met permanent hoge grondwaterstanden). De vegetatie wijst wel enigszins in de richting van ontwikkeling naar een vochtig bos, maar welk bostype is echter nog onduidelijk.

Proefvlak LH-2

Bodem en humusvorm

Proefvlak LH-2 ligt op het oorspronkelijk drogere en hogere deel van het perceel. De textuur is hier dezelfde als bij punt LH-1. Oorspronkelijk zijn hier veldpodzolen ontwikkeld die echter grotendeels zijn vergraven. De bodem (Figuur B2.2) is tot op een diepte 20 cm verstoord en er zijn geen restanten van een oorspronkelijk B-horizont (humus-inspoelingslaag) aangetroffen. De bovengrond vertoont nog wel tekenen van enige uitloging (ACe). De huidige grondwaterstand is hier momenteel wat hoger dan het in absolute zin lager gelegen vlak LH-1. Mogelijk houdt dit verband met het nabijgelegen kleine waterbekken. De verandering in vochttoestand en basenvoorziening vertaalt zich ook hier in een toegenomen activiteit van de bodemfauna (vermodering). Deze vermodering is echter beperkt tot de laag half verteerd strooisel (Fz-laag). Dit wijst erop dat dit proces hier recenter is ingezet dan in de humusvorm van proefvlak LH-1. Typologisch houdt het humusprofiel het midden tussen een relatief arme mormoder en een voor vochtige bossen meer kenmerkende moder-humusvorm. De vaagheid van de hydromorfe kenmerken (o.a. ijzervlekking) in de ondergrond duiden op een sterke ontijzering in het verleden.



Figuur B2.2: Bodem-, humus- en pH-profiel LH-2. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. De halfverteerde Fz-laag heeft een hoog gehalte aan moderdeeltjes, wat wijst op een hoge activiteit van de kleinere bodemfauna. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.2: Soil-, humus- and pH profile of LH-2. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The half decomposed Fz-layer has a high content on moder particles. This indicates a high activity of the small soil fauna. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie is te typeren als een Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. Het karakter van het oorspronkelijk bostype is beter bewaard gebleven dan bij proefvlak 1. Er is net als bij het eerste proefvlak een tendens van ontwikkeling naar een nog onduidelijk type vochtig bos. Zowel vermodering als vernatting lijken wel op te treden maar op beperktere schaal dan in 1.

Tabel B2.2: Vegetatie Lankheet 2 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.2: Vegetation Lankheet 2 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)	dood
Betula spec.	C					
Quercus robur	C			o		
Rhamnus frangula		d		a		
Pinus nigra		r				
Molinia caerulea				d		
Hedera helix				a		
Deschampsia flexuosa				o		
Dryopteris dilatata				o		
Epipactis helleborine				o		
Rubus fruticosus				o		
Sorbus aucuparia				o		
Lonicera periclymenum				f		
Impatiens noli-tangere				lf		
Maianthemum bifolium				lf		
Rubus ideaus				lf		
Vaccinium myrtillus				lf		o
Polytrichum formosum					f	
Mnium hornum					o	
Pseudoscleropod. purum					o	

Conclusie

Net als bij proefvlak LH-1 duiden humusvorm en wat elementen in de ondergroei op een ontwikkeling naar vochtig bos. De bodem weerspiegelt weliswaar een te droge standplaats, de actuele grondwaterstand wijst echter op een voor vochtig bos geschikte grondwatertrap.

Dubbroek

Kenschets

Dubbroek is gelegen in een oude Maasmeander. Het wordt gevoed door calcium- en ijzerrijke kwel. Het laagste deel van de meander bestaat uit open water en Elzenbroekbos met overgangen naar Vogelkers-Essenbos. Door het Dubbroek stroomt de Springenbeek. Een groot deel van het bosoppervlak is voormalig productiebos bestaande uit populieren. Deze worden geleidelijk omgevormd naar natuurbos door populieren te vellen en te vervangen door natuurlijke verjonging van inheemse boomsoorten.

Maatregelen

In de Springenbeek zijn in 1995 stuwen vervangen en stuwpeilen verhoogd met 30 cm. Grondwaterstandwijzigingen: Er is één peilbuis aanwezig die relevant is voor de onderzoekslocatie. Deze staat bij de stuw in de Springenbeek. De meetreeks loopt echter vanaf 2008, ruim na de aanvang van de vernatting waardoor geen duidelijk beeld te krijgen is van de mate van vernatting. Volgens de provincie Limburg (provincie Limburg, 2004) is het grondwaterpeil als gevolg van de maatregelen met circa 20 cm gestegen. De fluctuatie van de grondwaterstanden bedraagt circa 50 centimeter van 20 centimeter boven tot 30 centimeter onder maaiveld. De proefvlakken liggen echter hoger dan de maaiveldhoogte bij de peilbuis.

Proefvlakken

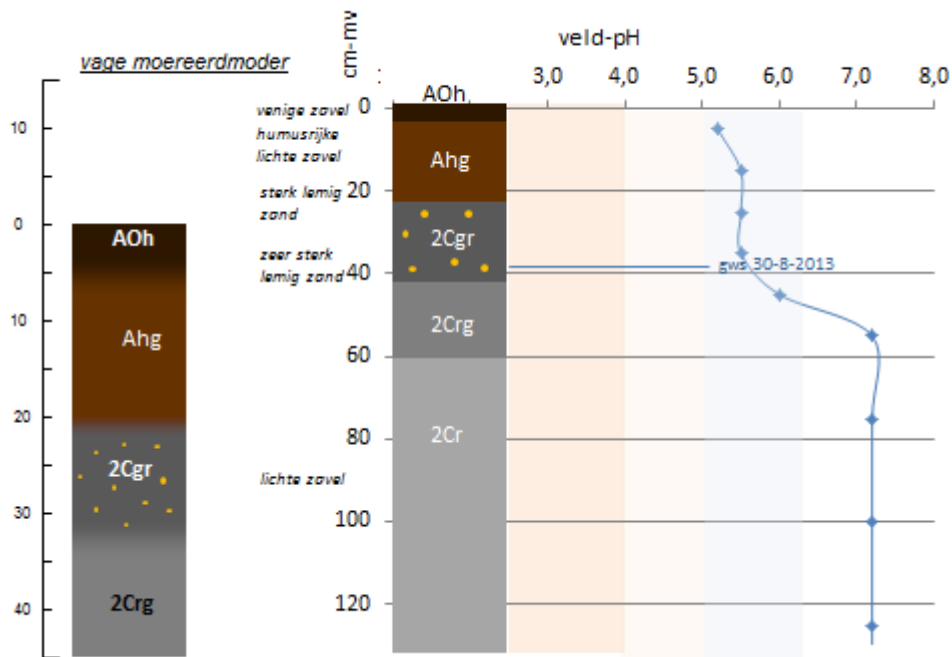
Er zijn twee proefvlakken gekozen DB-A en DB-B. Deze liggen op een lage rug in de meander. Proefvlak B op het hoogste deel. De boomlaag bestaat uit eik en es en de ondergroei is gevarieerd maar wordt lokaal gedomineerd door braam. Er is veel verjonging van es. In het lager gelegen

proefvlak A is het aandeel komt meer zwarte els voor en lokaal pluimzegge. Dat het bos natter geworden is, is merkbaar aan de afgestorven elzen in de laagste delen van het broekbos.

Proefvlak DB-1

Bodem en humusvorm

Het Dubbroek bestaat uit een afwisseling van oude maasmeanders en oude rivierterrassen. Het laaggelegen punt 1 ligt in een oude maasmeander. De bodem bestaat uit een zavel met een dun moerig dek (Leekeerdgrond; pMn5) die geïnterpreteerd moet worden als resten van grotendeels gemineraliseerde eutrofe veengrond (Figuur B2.3). Van de op de bodemkaart aangegeven veengronden is zeker geen sprake meer. De humusvorm (vage moereerdmoder) wijst op een licht verdroogd (Gt II), door basenrijk water gevoed broekbosmilieu. Dit wordt bevestigd door het pH-profiel.



Figuur B2.3: Bodem-, humus- en pH-profiel Dubbroek DB-1. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel is dat van een typisch semiterrestrisch humusvorm dat onder invloed van een goede basenvoorziening een relatief mineraal karakter heeft. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.3: Soil-, humus- and pH profile of DB-1. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile represents a characteristic semi-terrestrial humus form under influence of base rich groundwater. The content of organic matter is rather low. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Dit bos behoort tot Elzenzegge-Elzenbroek; typische subassociatie. De opname is representatief voor het type. De aanwezigheid van Gewone es en Zomereik duidt op een – vermoedelijk ruimtelijke - overgang naar een droger bostype (Vogelkers-Essenbos). Het voorkomen van plekken met veel Zwarte braam en Pluimzegge duidt op de aanwezigheid binnen het proefvlak van respectievelijk relatief droge en wat nattere plekken.

Tabel B2.3: Vegetatie Dubbroek B1 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.3: Vegetation Dubbroek B1 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	d	a			
<i>Fraxinus excelsior</i>	a				
<i>Quercus robur</i>	r			r	
<i>Salix alba</i>	r				
<i>Sorbus aucuparia</i>		c			
<i>Viburnum opulus</i>			r		
<i>Carex remota</i>				a	
<i>Rubus fruticosus</i>				la	
<i>Carex pseudocyperus</i>				f	
<i>Deschampsia cespitosa</i>				f	
<i>Dryopteris dilatata</i>				f	
<i>Lysimachia vulgaris</i>				f	
<i>Solanum dulcamara</i>				f	
<i>Carex paniculata</i>				lf	
<i>Lonicera periclymenum</i>				lf	
<i>Iris pseudacorus</i>				o	
<i>Carex elongata</i>				r	
<i>Juncus effusus</i>				r	
<i>Urtica dioica</i>				r	

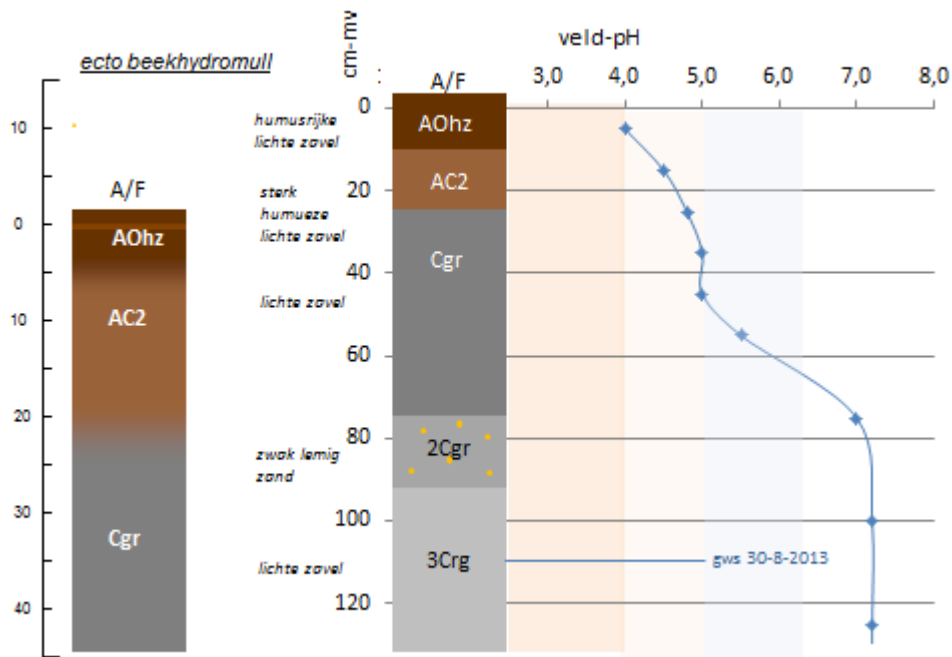
Conclusie

De vegetatie duidt niet op een vochtig bos maar op een veel natter broekbos met een overgang aan de randen naar een droger bostype. Het humusprofiel heeft een voor een broekbos sterk mineraal karakter. Dit is niet a-typisch voor een beekbegeleidend broekbos en indiceert niet zonder meer een verdroogde situatie waarbij het veen is gemineraliseerd. Ook in natter situatie kan onder invloed van eutroof beekwater en of baserijk grondwater een sterk minerale moeriger grond ontstaan zonder dat het tot duidelijk veenvorming komt. De bodemkaart suggereert overigens wel het voorkomen van een veengrond.

Proefvlak DB-2

Bodem en humusvorm

Punt DB-2 ligt op een oud rivierterras. De bodem is licht zavelig met een actuele grondwaterstand, die samen met de hydromorfe kenmerken van het bodemprofiel wijzen op de grondwatertrap III (Figuur B2.4). Op 90 cm diepte wordt de textuur van de rivierleem zwaarder. De humusvorm (*ecto-Beekhydromull*) bestaat uit een dunne, sterk vermoderde ectorganische laag die geleidelijk overgaat in een structuurrijke humeuze bovengrond (AC). Dergelijke humusvormen wijzen op een licht verzuurde standplaats met een goede basenvoorziening. Beneden de 60 cm neemt, getuige het pH-profiel, de invloed van het baserijke grondwater toe.



Figuur B2.4: Bodem-, humus- en pH-profiel Dubbroek DB-2. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humus profiel is typisch voor een enigszins verdroogd en verzuurd rijk vochtig bos. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.4: Soil-,humus- and pH profile of DB-2. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile is characteristic for a slightly parched and acidified humid forest. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Het vegetatietype is RG Gewone braam-[Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond]. Dit bostype wordt niet vermeld in De Vegetatie van Nederland, maar wel in de Staatsbosbeheer-catalogus. Het is vaak karakteristiek voor een verdroogde bosbodems waarbij een "rijk" loofbos op minerale bodem geleidelijk verandert in een "arm" loofbos. Op grond van de huidige soortensamenstelling kan niet met zekerheid worden besloten of het bostype in de uitgangssituatie een Vogelkers-Essenbos of een Eiken-Haagbeukenbos is geweest.

Tabel B2.4: Vegetatie Dubbroek DB-2 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.4: Vegetation Dubbroek DB-2 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Fraxinus excelsior	c			f	
Quercus robur	c				
Alnus glutinosa	r	r		f	
Betula pubescens	r				
Sorbus aucuparia		d	f		
Corylus avellana			f		
Viburnum opulus			f	f	
Prunus avium			r	r	
Rubus fruticosus				d	
Lonicera periclymenum				a	
Brachypodium sylvaticum				la	
Athyrium filix-femina				f	
Dryopteris dilatata				o	
Brachythecium rutabulum					d

Conclusie

Zowel humusprofiel, vegetatie als pH-profiel wijzen op een licht verzuurde variant van een rijk vochtig bos. Verdere vernatting van de proefplek of zijn directe omgeving zou kunnen leiden tot meer invloed van het basenrijke grondwater. Uit zowel humusprofiel als het pH-verloop lijken er kansen te liggen voor een ontwikkeling naar een wat rijker bos.

Koelbroek

Kenschets

Koelbroek is een oude uitgeveende maasmeander en bestaat grotendeels uit Elzenbroekbos. Op de hogere gronden rondom de meander zijn droge, aangeplante bossen te vinden van dennen en Amerikaanse eik. Een zeer smalle overgangszone is tot de vochtige bossen te rekenen. Door Koelbroek stroomt de Everlose Beek. Koelbroek is bekend geworden door vernattingsmaatregelen langs de beek die tot een permanente inundatie van de broekbossen en als gevolg daarvan een zeer sterke eutrofiering hebben geleid. Inmiddels is door aanpassingen in de ontwatering het natuurlijk zomer-winterregime hersteld en kunnen de broekbossen in de zomer weer droogvallen. Hierdoor heeft ook de vegetatie zich kunnen herstellen en nemen kenmerkende soorten van elzenbroekbossen weer toe.

De kwaliteit van het grondwater is overwegend goed: het betreft matig voedselrijk, goed gebufferd circumneutraal, calcium- en ijzerrijk water wat wordt aangevoerd vanuit het middenteras. Het grondwater bevat matig fosfaat maar veel sulfaat

Maatregelen

Tussen 1989 en 1997 zijn perceelsloten gedempt en/of afgedamd. In 1997 zijn kades aangelegd langs en stuwen vervangen in de Everlose beek waardoor het peil in de beek en het Koelbroek verhoogd is. In het noordelijk deel van het Koelbroek ontstond daardoor een stagnante waterlaag, in het zuidelijk deel kon nog enige doorstroming plaats vinden. In 2001 zijn aanpassing gemaakt in de kades waardoor lagere zomerwaterstanden kunnen worden gerealiseerd en een meer natuurlijk peil kan worden nagestreefd.

Grondwaterstandwijzigingen

Er is geen aaneengesloten meting van de grondwaterstanden van voor (tot 1997) en na de maatregelen (vanaf 2002) op een locatie die representatief is voor de proefvlakken. Een peilbuis in het lage deel van de meander, in het elzenbroek, zijn de waterstanden met ca 40 cm gestegen. Dit betreft zowel de zomer- als wintersituatie. Hoger op de gradiënt zijn alleen metingen beschikbaar van 1988 tot 2002. Ook hier is een verhoging van het grondwaterpeil te zien. De fluctuatie bedraagt na de vernatting ca 50 centimeter en varieert van maaiveld tot 50 centimeter diepte.

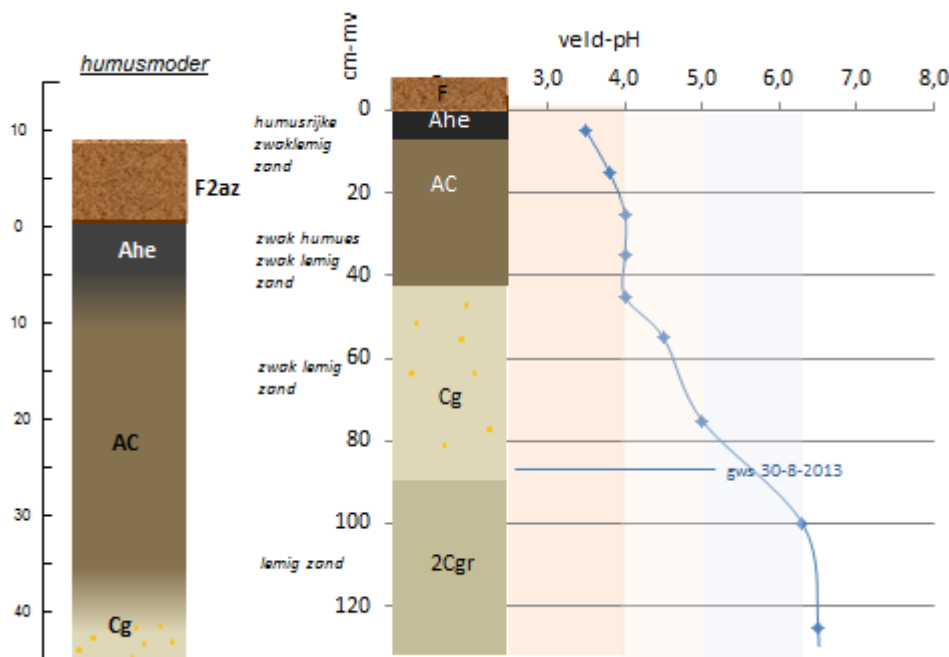
Proefvlakken

Beide proefvlakken liggen op de overgang van natte elzenbroeken naar drogere dennen- en (Amerikaanse) eiken bossen. De overgangzone is erg smal waardoor de proefvlakken kenmerken hebben van zowel droge- als natte bossen. Proefvlak KB-1 is iets lager op de gradiënt gelegen als KB-2.

Proefvlak KB-1

Bodem en humusvorm

De bodems van de proefvlakken in het Koelbroek liggen op de overgang van verspoelde dek- en stuifzanden naar een oude maasmeander met eutroof veen. Zowel in KB-1 als KB-2 zijn echter geen sporen meer van veen aan te treffen. Vlak 1 ligt wat lager dan 2 en is mogelijk een restant van een volledig gemineraliseerd moerig profiel. Het humusprofiel (Figuur B2.5) bestaat uit een redelijk goed verteerde moderachtige humuslaag (F2az) bestaande uit nog enigszins herkenbare plantenresten (waaronder veel dode wortels). De humusvorm lijkt geen rest van een semiterrestrisch (lees veen) profiel maar is hier geïnterpreteerd als terrestrisch. Samen met het huidige lage grondwaterniveau bevestigt het humusprofiel, dat het hier gaat om een standplaats van een vochtig bos en niet dat van een broekbos. De onderliggende Ah-horizont heeft een te laag organisch stofgehalte om nog als veenrest te worden gezien.



Figuur B2.5: Bodem-, humus- en pH-profiel Koelbroek KB-1. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humus- en bodemprofiel wijzen niet op een recentelijk semiterrestrisch verleden. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.5: Soil-, humus- and pH profile of KB-1. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus- and soil profile doesn't indicate semi-terrestrial circumstances in the nearby past. The abbreviation "gws" stands for the actual ground water level at the indicated date.

Vegetatie

Het proefvlak KB-1 is intermediair tussen RG Gewone braam-[Klasse der elzenbroekbossen] en RG-Moeraszegge-[Klasse der elzenbroekbossen]. De vegetatie duidt op heterogeen en/of veranderend milieu. De RG Gewone braam duidt op (ernstige) verdroging, de RG Moeraszegge niet (hoewel deze zich onder verdrogende omstandigheden lang kan handhaven).

Het proefvlak KB-1 is intermediair tussen RG Gewone braam-[Klasse der elzenbroekbossen] en RG-Moeraszegge-[Klasse der elzenbroekbossen]. De vegetatie duidt op heterogeen en/of veranderend milieu. De RG Gewone braam duidt op (ernstige) verdroging, de RG Moeraszegge niet (hoewel deze zich onder verdrogende omstandigheden lang kan handhaven).

Tabel B2.5: Vegetatie Koelbroek KB-1 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.5: Vegetation Koelbroek KB-1 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	d				
<i>Betula pubescens</i>	o				
<i>Quercus robur</i>	o				
<i>Carex acutiformis</i>				c	
<i>Rubus fruticosus</i>				c	
<i>Dryopteris dilatata</i>				f	

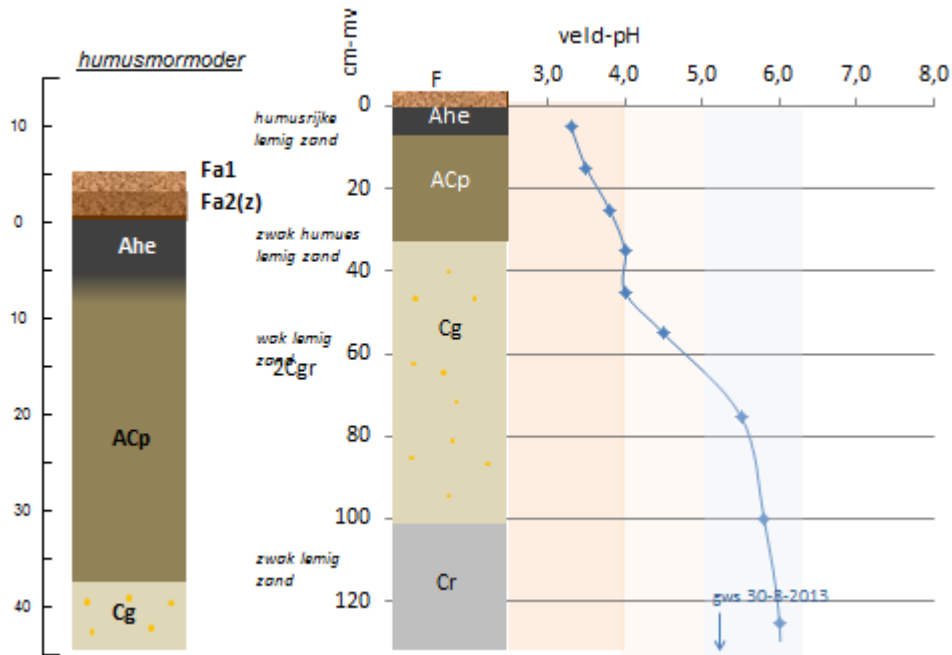
Conclusie

De vegetatie indiceert deels een sterk verdroogde broekbosstandplaats. Zowel het humusprofiel als de bodem en het grondwaterpeil tonen aan dat het semiterrestrische verleden niet erg recent is. Ondanks het voorkomen van Moeraszegge is de standplaats wat betreft de abiotiek structureel verdroogd. De invloed van baserijk grondwater bereikt waarschijnlijk nauwelijks de wortelzone.

Proefvlak KB-2

Bodem en humusvorm

De bovengrond van A2 bestaat uit een 30 a 40 cm dikke laag licht humeus, matig fijn en zwak lemig zand (waarschijnlijk verspoeld). Naar de ondergrond toe daalt het leemgehalte maar blijft het zand zwak lemig. De hydromorfe vlekking zit op een diepte van 40 cm. De huidige grondwatertap is geschat op V. Het humusprofiel is geclassificeerd als een *humusmormoder* met een lichte neiging om zich te ontwikkelen naar een moderprofiel.



Figuur B2.6: Bodem-, humus- en pH-profiel Koelbroek-2. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel en bodem wijzen niet op een recent semiterrestrisch verleden. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.6: Soil-, humus- and pH profile of Koelbroek-2. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus- and soil profile doesn't indicate semi-terrestrial circumstances in the nearby past. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Deze proefplek behoort tot een RG Gewone braam-[Klasse der elzenbroekbossen]. De soortensamenstelling (ook van boomlaag) duidt op ernstig verdroogd broekbos. Lokaal frequent voorkomen van Moeraszegge duidt op aanwezigheid van nattere plekken en/of voorgeschiedenis als Elzenzegge-Elzenbroek (subassociatie van Bittere veldkers), kenmerkend voor kwelrijke beekdalen. NB. in Stortelder et al. (1998) wordt dit bostype ten onrechte alleen voor het laagveenlandschap vermeld.

Tabel B2.6: Vegetatie Koelbroek-2 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.6: Vegetation Koelbroek-2 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	d				
<i>Quercus robur</i>		o			
<i>Quercus rubra</i>		o			
<i>Sorbus aucuparia</i>		o			
<i>Humulus lupulus</i>			o		
<i>Rubus fruticosus</i>				d	
<i>Dryopteris dilatata</i>				f	
<i>Carex acutiformis</i>				lf	

Conclusie

Het semiterrestrisch verleden lijkt op deze standplaats nog verder weg dan bij A1. Het grondwater zit dieper en het humusprofiel is armer en schraler dan dat van de andere proefplek. De standplaats is duidelijk dat van een matig vochtig bos en niet van een verdroogd broekbos.

Ulvenhoutse bos

Kenschets

Het Ulvenhoutse bos is een relatief klein beekbegeleitend bos langs de Bavelse Leij en de Broekloop. In de ondergrond bevinden zich slechtdoorlatende kalkrijke leemlagen die voor hoge waterstanden zorgen. Het bosgebied wordt doorkruist door verschillende bovenloopjes van bovengenoemde beken. Om het bosgebied te kunnen exploiteren zijn in het verleden greppels gegraven en rabatten aangelegd. Het bos bestaat uit een mozaïek van droog voedselarm Beuken-Eikenbos en (verdroogd) Eiken-Haagbeukenbos, Vogelkers-Essenbos en Elzenbroekbos. Het bos heeft te lijden van verdroging waardoor groeiplaatsen van onder meer Witte rapunzel, Gulden boterbloem en Knikkend nagelkruid sterk achteruit gegaan zijn.

Maatregelen

Vernatting van het bosgebied is geleidelijk in gang gezet door verhoging van het oppervlaktewaterpeil in de Bavelse Leij en afdammen van sloten. Hierdoor is een vernatting op gang gebracht die in de laagste delen geleid heeft tot sterfte van hele opstanden en als gevolg daarvan een sterke verrijking van de ondergroei.

Grondwaterstandwijzigingen

Uit de peilbuisgegevens blijkt dat vanaf 2007 een peilverhoging heeft plaatsgevonden van 10 tot 30 cm zowel van de hoogste als laagste grondwaterstand. De grondwaterstanden variëren van vlak onder maaiveld tot net iets meer dan één meter.

Proefvlakken

Onderzoekslocatie UB-A ligt in een opstand aan het begin van een sloot die een van de bovenloopjes vormt. Dit is een diepe sloot met een hoog waterpeil (20 cm onder maaiveld in juni), met weinig stroming en een hoge bedekking waterviolier en duizendknoopfonteinkruid. De opstand bestaat uit een aanplant van Zomereik met veel verjonging van Es en in de ondergroei een hoge bedekking van Hazelaar.

Controle locatie UB-0 ligt stroomafwaarts aan de noordzijde van het bosgebied tegen de Broekloop. In dit deel aan de rand van het bos zijn (nog) geen vernattingsmaatregelen uitgevoerd vanwege mogelijke uitstralingseffecten op de aanliggende landbouwgronden.

Standplaatscondities; bodem en humusvorm

Proefvlak UB-A in Ulvenhout ligt in een dalvormige laagte in een terrasafzettingenvlakte en bestaat uit sterk lemige of zavelige terrasafzettingen met hoge grondwaterstanden (Leekeerdgrond). Tot hoog in het profiel zijn de gronden hydromorf. De grondwatertrap varieert van een droge variant van I tot natte variant van II. Uit het pH-profiel blijkt de invloed van basenrijk grondwater ondiep in het profiel. De bovenkant van het profiel wordt vooral beïnvloed door regenwater. Het water in de omringende greppels heeft een lagere pH dan het grondwater en zijn zichtbaar vooral gevuld

met regenwater. Het humusprofiel bestaat uit een dunne moderlaag op een halfverteerde moerige laag (AOMz, mogelijk een veenrest). Daaronder bevindt zich een humeuze, goed gestructureerde sterk zavelige laag. Dit wijst op een sterke invloed van de activiteit van de bodemfauna. De overgang tussen de twee lagen is vrij scherp. Dit duidt erop dat de actuele bodemfauna-activiteit beperkt is tot de bovenlaag.

Proefvlak UB-0 ligt op een met dekzand bedekte terrasvlakte. De bodem is tot een diepte van ongeveer 50 cm verwerkt is te karakteriseren als een Gooreerdgrond. Het matig fijne zand is zwak lemig tot leemarm. Op ongeveer 1 meter diepte bevindt zich een compacte laag terrasleem. Uit het pH-profiel blijkt dat de invloed van basenrijk grondwater vooral merkbaar is in en net boven de leemlaag.

Vegetatie

Het bos van proefvlak UB-1 behoort tot het Vogelkers-Essenbos. Het is een goed ontwikkelde bosvegetatie, zonder duidelijke tekenen van verdroging of vernatting. Enigszins opmerkelijk is de aanwezigheid van Dalkruid, een oud-bossoort van niet stabiele (niet-verruigde) maar iets zuurdere en drogere milieus. Ook de aanwezigheid van Beuk in de boomlaag zou mogelijk kunnen worden opgevat als een teken van lichte (en wellicht plaatselijke) verdroging. Beiden komen overigens alleen voor in de wat hogere randen langs de hoofdsloot.

Proefvlak UB-0 is een goed ontwikkelde vorm van het Eiken-Beukenbos; typische subassociatie, duidend op oud en stabiel bosmilieu. Het aandeel Pijpenstrootje is vrij laag en hoeft hier niet te duiden op (plaatselijk) vochtige omstandigheden. Verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

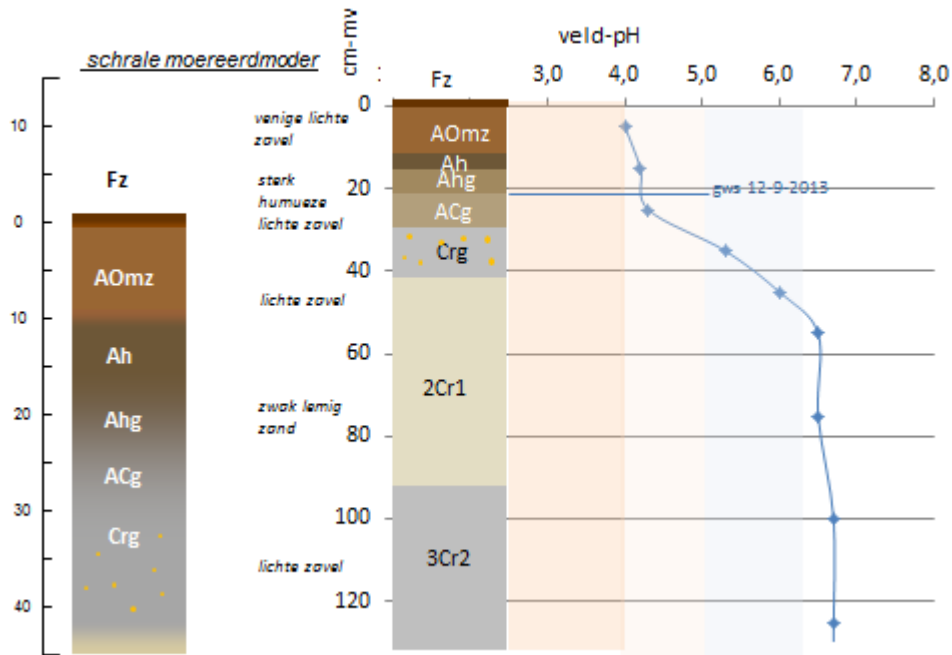
Conclusie

Zowel bodem, humusvorm, vegetatie zijn net als het pH-profiel goed in overeenstemming met de status van het rijke vochtige bostype. Gezien de hoge actuele grondwaterstand heersen hier erg natte omstandigheden voor een vochtig bos. De indruk bestaat dat de vernatting in proefvlak UB-A, afgezien van de hogere randen geen positieve invloed heeft op de reeds goed ontwikkelde vegetatie voor vochtige bossen. Hier moet eerder gewaakt worden voor negatieve effecten van vernatting.

Proefvlak UB-A

Bodem en humusvorm

Proefvlak A in Ulvenhout ligt in een dalvormige laagte in een terrasafzettingsvlakte. De belangrijkste component van de bodems zijn de licht zavelige terraskleien. Proefplek UB-A bestaat uit sterk lemige of zavelige terrasafzettingen met hoge grondwaterstanden (Figuur B2.7). Tussen 40 cm en 80 cm worden de lemige lagen onderbroken door een zwak lemige gereduceerde laag. Tot hoog in het profiel zijn de gronden hydromorf. De grondwatertrap varieert van een droge variant van I tot natte variant van II. Uit het pH-profiel blijkt de invloed van basenrijk grondwater ondiep in het profiel. De bovenkant van het profiel wordt vooral beïnvloed door regenwater. Het water in de omringende greppels heeft een lagere pH dan het grondwater (iets meer dan 5 tegen ruim 6.5 van het grondwater). Ze zijn blijkbaar vooral gevuld met regenachtige water. Het humusprofiel bestaat uit een dunne moderlaag op een halfverteerde moerige laag (AOMz, mogelijk een veenrest). Daaronder bevindt zich een humeuze, goed gestructureerde sterk zavelige laag. Dit wijst op een sterke invloed van de activiteit van de bodemfauna. De overgang tussen de twee lagen is vrij scherp. Normaal verlopen in rijkere milieus met veel biologische activiteit de overgangen tussen de humushorizonten meer geleidelijk.



Figuur B2.7: Bodem-, humus- en pH-profiel Ulvenhout UB-A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel en de bodem van het proefvlak worden sterk beïnvloed door baserijk grondwater. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.7: Soil-, humus- and pH profile of UB-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus and soil profile are strongly influenced by base rich groundwater and subsoil. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Het bos van dit proefvlak behoort tot het Vogelkers-Essenbos. Het is een goed ontwikkelde bosvegetatie, zonder duidelijke tekenen van verdroging of vernatting. Enigszins opmerkelijk is de aanwezigheid van Dalkruid, een oud-bossoort van niet stabiele (niet-verruigde) maar iets zuurdere en drogere milieus. Ook de aanwezigheid van Beuk in de boomlaag zou mogelijk kunnen worden opgevat als een teken van lichte (en wellicht plaatselijke) verdroging. Beiden komen overigens alleen voor in de wat hogere randen langs de hoofdsloot.

Tabel B2.7: Vegetatie Ulvenhout A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.7: Vegetation Ulvenhout A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Quercus robur	f			r	
Fagus sylvatica	o				
Fraxinus excelsior	o			f	
Acer pseudoplatanus	r	r			
Corylus avellana		d	f	r	
Alnus glutinosa		o			
Prunus padus		r	d	f	
Sorbus aucuparia		r		o	
Anemone nemorosa				f	
Hedera helix				f	
Athyrium filix-femina				o	
Carex remota				o	
Dryopteris carthusiana				o	
Dryopteris filix-mas				o	
Polygonatum multiflorum				o	
Rubus fruticosus				o	
Deschampsia cespitosa				lo	
Carex pallescens				r	
Ilex aquifolium				r	
Maianthemum bifolium				r	
Ulmus laevis				r	
Kindbergia praelonga					f
Eurynchium striatum					r
Pellia epiphylla					r
Polytrichum formosum					r

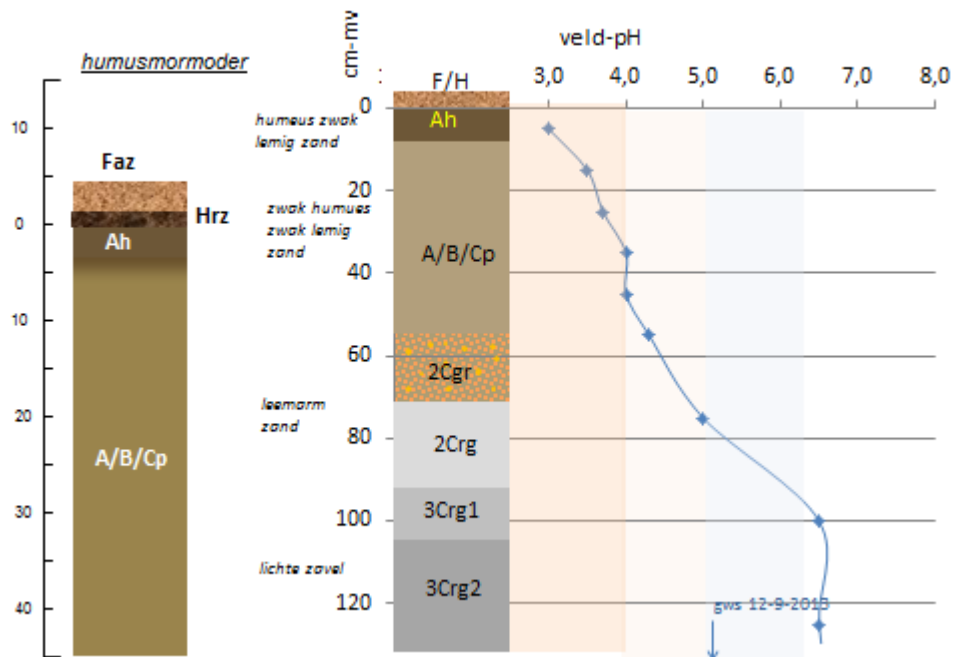
Conclusie

Zowel bodem, humusvorm zijn net als het pH-profiel goed in overeenstemming met de status van het vochtige bostypen op voedselrijke bodem. Gezien de hoge actuele grondwaterstand heersen hier erg natte omstandigheden voor een vochtig bos. Wat betreft geschatte GHG en GLG lijkt de standplaats te overlappen met dat van een beekbegeleidend broekbos.

Proefvlak UB-0

Bodem en humusvorm

Proefvlak UB-0 ligt op een met dekzand bedekte terrasvlakte. De bodem is tot een diepte van ongeveer 50 cm verwerkt. Het matig fijne zand is zwak lemig. Onder deze laag zit een bonte hydromorfe laag in leemarm fijn zand op een compacte laag terrasleem. Uit het pH-profiel blijkt dat de invloed van basenrijk grondwater vooral merkbaar is in en net boven de leemlaag.



Figuur B2.8: Bodem-, humus- en pH-profiel UB-0. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. De bodem wordt hier gekenmerkt door de aanwezigheid van een laag vergraven dekzand. De wortelzone van het proefvlak wordt in tegenstelling tot proefplek A niet sterk beïnvloed door het basenrijk grondwater. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.8: Soil-, humus- and pH profile of UB-0. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The soil is characterised by a layer of disturbed coversands. The rooting zone is in contradistinction to UB-A not or nearly not influenced by base rich groundwater. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Tabel B2.8: Vegetatie UUB-0 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.8: Vegetation UUB-0 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Quercus robur	d				
Fagus sylvatica	o				
Fraxinus excelsior	r				
Betula pubescens		r			
Prunus serotina			o		
Sorbus aucuparia			o		
Rhamnus frangula			r		
Maianthemum bifolium				f	
Dryopteris dilatata				o	
Molinia caerulea				o	
Polygonatum multiflorum				o	
Pteridium aquilinum				o	
Polytrichum formosum					r

Vegetatie

Het bos in het proefvlak is een goed ontwikkelde vorm van het Eiken-Beukenbos; typische subassociatie, duidend op oud en stabiel bosmilieu. Het aandeel Pijpenstrootje is vrij laag en hoeft hier niet te duiden op (plaatselijk) vochtige omstandigheden. Verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

Conclusie

De abiotische standplaatsfactoren komen overeen met het voorkomende bostype.

Urkhovense Zeggen

Kenschets

De Urkhovense Zeggen is een beekbegeleidend bos in het beekdal van de Kleine Dommel. Het onderzoeksterrein bestaat uit (verdroogde) Elzenbroeken op rabatten afgewisseld met Vogelkers-Essenbos op de wat hogere delen. Op de beekdalflank ligt een voormalige populierenaanplant. De beek wordt van oudsher hoog opgestuwd ten behoeve van de hier nog steeds functionerende Collse watermolen. In het verleden is een parallelsloot gegraven, de Zeggenloop, om het beekdal te kunnen ontwateren.

Maatregelen

De Zeggenloop is in 2006 circa 40 cm verondiept (huidige bodemhoogte ca 50 cm – mv). Aanvullend zijn in 2010 alle sloten in en langs de bospercelen gedempt.

Grondwaterstandwijzigingen

De grondwaterstanden in de Urkhovense zeggen worden gemonitord, maar geen van de peilbuizen zijn bruikbaar voor de proefvlakken omdat deze op een te grote afstand liggen of omdat de metingen pas na 2006 begonnen zijn.

Proefvlakken

Er zijn 5 proefvlakken onderzocht; 3 vernatte locaties en 2 controleplots. UZ-A ligt in de voormalige populieren opstand op de beekdalflank. De vernatting is hier kenbaar aan de massale sterfte van de populieren. In het laagste deel breidt grauwe wilg sterk uit en heeft zich Holpijp, Bosbies en Gewone dotterbloem gevestigd. Het proefvlak ligt op de overgang naar een hoger deel waar door de sterfte van de populieren een sterke verruiging optreedt en veel verjonging van Gewone es.

UZ-B ligt in de beekdallaagte in een rabattenbos. De hoofdboomsoort is Gewone es. Op de rabatten groeien veel oudbossoorten die kenmerkend zijn voor vochtige bossen (Grote keverorchis, Eenbes, Bleke zegge). In de greppels zijn meer soorten van elzenbroeken aanwezig (Holpijp, Gewone dotterbloem, Elzenzegge). Deze soorten hebben zich na verondieping van de Zeggenloop uitgebreid. Dit voorjaar (2013) lijkt de vitaliteit van de soorten van vochtige bossen echter minder te worden mogelijk als gevolg van het natter worden van de standplaats door het dempen van alle sloten. UZ-B1 ligt in het lage deel van bosopstand en UZ-B2 op een kleine verhoging.

UZ-01 en UZ-02: De controle proefvlakken liggen in een bosopstand ten noorden van de watermolen. Hier hebben geen vernattingsmaatregelen plaats gevonden. De locatie is echter ook nooit beïnvloed door opstuwing voor de watermolen. Beide locatie liggen op een lage rug in het beekdal. Het bos bestaat uit aanplant van zomereik en de lage delen uit doorgesloten elzenhakhout.

Standplaatscondities; bodem en humusvorm

Proefvlak UZ-A bevindt zich in een laag deel van de dalbodem dat tegenwoordig in natte perioden kan inunderen. De bodem (Moerige aardgrond) bestaat uit een zeer dunne laag veraard eutroof veen op een grotendeels gemineraliseerde veenrest (typisch voor verdroogde beekbegeleidende broekbossen). De actuele grondwaterstand duidt op een grondwatertrap I of een natte variant van II. Vage moereerdmoder Proefvlak B is verdeeld in een relatief laaggelegen deel, B1, en een hoger deel B2. Het lage deel betreft eveneens een Moerige aardgrond en is een iets drogere variant van A met een veenrest in de bovengrond. Er is geen ectorganische humuslaag aanwezig (moereerdmoder). Proefvlak B2 is iets droger dan B1 (lagere actuele grondwaterstand) en bestaat deels uit een opgebracht matig fijnzandig cultuurdek op een stagnerende leemlaag (Beekeerdgrond). Het grenst direct aan proefplek B2. Volgens het pH-profiel reikt de invloed van het basenrijke water niet tot boven 90 cm onder maaiveld. Onder invloed van het nutriëntenrijke cultuurdek heeft zich vrijwel geen ectorganische laag ontwikkeld (Ecto-akkerhydromull).

Het proefvlak UZ-01 maakt deel uit van een de overgang van beekdalflank naar beekdalbodem. Tot in de bovengrond is de bodem (*beekeerdgrond*) hydromorf. De grondwatertrap is te karakteriseren als een natte variant van III. Het basenrijkere grondwater begint rond de 40 cm beneden maaiveld zijn invloed te hebben op het profiel. De humusvorm (*boshydromoder*) bestaat gedeeltelijk uit een moderachtig ectorganisch materiaal. Het voorkomen van een dikke ectorganische duidt er overigens op dat het proefvlak niet geïnundeerd wordt. Proefvlak 02 ligt iets hoger en kenmerkt zich door een dik cultuurdek. De bodem wordt op de bodemkaart aangegeven als *lage enkeerdgrond*. Het cultuurdek is minder dan 40 cm dik. Ecologisch is dit cultuurdek van belang gezien het feit dat er zich, in tegenstelling tot punt 01 in een deel van het proefvlak geen ectorganische humuslaag (*enk-akkeromull*) heeft ontwikkeld (o.a. door de relatieve nutriëntenrijkdom van het cultuurdek). Daar waar wel een ectorganische laag is aangetroffen is een *humusmoder* ontwikkeld. De invloed van het rijkere grondwater is merkbaar op 40 cm diepte (zie pH-profiel).

Vegetatie

Proefvlak A behoort tot de RG Grote brandnetel-[Onderverbond van Els en Es]. Vermoedelijk een reeds lang verdroogd elzenbroekbos. De hoge bedekking van Grauwe wilg is waarschijnlijk een relict uit de broekbostijd en kan duiden op relatief grote verschillen in maaiveldhoogte en een (eertijds) vrij open boomlaag. Proefvlakken B1 en B2 zijn te karakteriseren als Vogelkers-Essenbos. Waarschijnlijk is hier sprake van een al lang verdroogd Elzenbroekbos waarvan de ruigtefase geleidelijk voorbij gaat en enkele oud bossoorten van minerale bodems zich beginnen te vestigen. B2 is beter en verder ontwikkeld dan het bos op vlak B2. Urkenhovense zeggen UZ-01 behoort tot het Elzenzegge-Elzenbroek; subassociatie van Framboos (atypisch). De vegetatie is een slecht ontwikkeld voorbeeld van bovengenoemd type, mede door het ontbreken van de naamgevende soorten Elzenzegge en Framboos. Opmerkelijk is wel het (nog) voorkomen van Groot springzaad, een soort van kwelrijke milieus. De soorten combinatie suggereert dat we van doen hebben met een verdroogd elzenbroekbos, dat zich richting Vogelkers-Essenbos ontwikkelt. De vegetatie van UZ-02 classificeert als een RG Gewone braam-[Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond]. Het gaat waarschijnlijk om een rijk loofbos (of voormalig elzenbroekbos?) dat geleidelijk verandert in een (nog zeer soortenarme vorm) van het Vogelkers-Essenbos. De broekbouselementen in de vegetatie zijn vooral in de lagere rand van het opnamevlak aangetroffen.

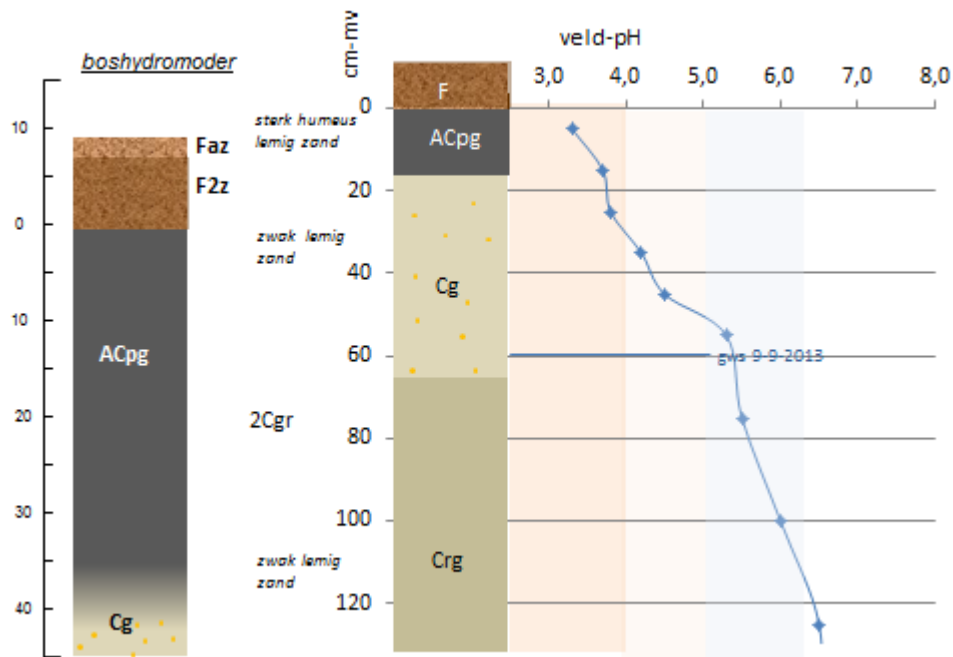
Conclusie

Bodem en vegetatie samenstelling van de controlevlakken wijzen allen in dezelfde richting, namelijk dat van verdroogd Elzenbroekbos wat zich ontwikkelt naar een Vogelkers-Essenbos. Het pH-profiel, grondwaterstand en humusvorm duiden wel op enige verzuring c.q. verdroging. Proefvlakken A en B1 betreffen voormalige verdroogde Elzenbroeken die de ruigtefase voorbij en ontwikkelen naar een Vogelkers-Essenbos. De standplaats lijkt momenteel te nat voor een vochtig bos en eerder te leiden tot herstel van de vroegere broekkous. Op proefplek B2 zijn humusvorm, bodemtype, pH-profiel en grondwatertrap karakteristiek voor het hier voorkomende Vogelkers-Essenbos.

Proefvlak UZ-01

Bodem en humusvorm

Het proefvlak UZ-01 maakt deel uit van de overgang van beekdalflank naar beekdalbodem. Tot in de bovengrond is de bodem (*beekeerdgrond*) hydromorf. De gereduceerde zone begint dieper dan 65 cm (Figuur B1-9). De grondwatertrap is te karakteriseren als een natte variant van III. Het basenrijkere grondwater begint rond de 40 cm beneden maaiveld zijn invloed te hebben op het profiel getuige de wat hogere pH. Op de humeuze sterk lemige bovengrond bestaat het gehele profiel uit matig fijn, zwak lemig zand. De humusvorm (*boshydromoder*) bestaat gedeeltelijk uit een moderachtig ectorganisch materiaal. Het voorkomen van een dikke ectorganische duidt er overigens op dat het proefvlak niet geïnundeerd wordt.



Figuur B2.9: Bodem-, humus- en pH-profiel Urkenhovense zeggen 01. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel en bodem op een duidelijk terrestrische standplaats. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeldde datum aangegeven.

Figure B2.9: Soil-, humus- and pH profile of UZ-01. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus- and soil profile are clearly of terrestrial origins. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Urkenhovense zeggen 01 behoort tot het Elzenzegge-Elzenbroek; subassociatie van Framboos (atypisch). De vegetatie is een slecht ontwikkeld voorbeeld van bovengenoemd type, mede door het ontbreken van de naamgevende soorten Elzenzegge en Framboos. Opmerkelijk is wel het (nog) voorkomen van Groot springzaad, een soort van kwelrijke milieus. De soortencombinatie suggereert dat we van doen hebben met een verdroogd Elzenbroekbos, dat zich veeleer richting *Vogelkers-Essenbos* ontwikkelt dan richting (zuur) *Beuken-Eikenbos*.

Tabel B2.9: Vegetatie Urkenhovense zeggen 01 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.9: Vegetation Urkenhovense zeggen 01 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	d				
<i>Betula pubescens</i>	f				
<i>Quercus robur</i>	f				
<i>Sorbus aucuparia</i>			d		
<i>Ribes rubrum</i>			ld		
<i>Amelanchier lamarckii</i>			r		
<i>Dryopteris carthusiana</i>				f	
<i>Lonicera periclymenum</i>				f	
<i>Prunus serotina</i>				f	
<i>Rubus fruticosus</i>				f	
<i>Carex remota</i>				lf	
<i>Deschampsia cespitosa</i>				lf	
<i>Athyrium filix-femina</i>				o	
<i>Galeopsis tetrahit</i>				o	
<i>Impatiens noli-tangere</i>				o	
<i>Mnium hornum</i>					o

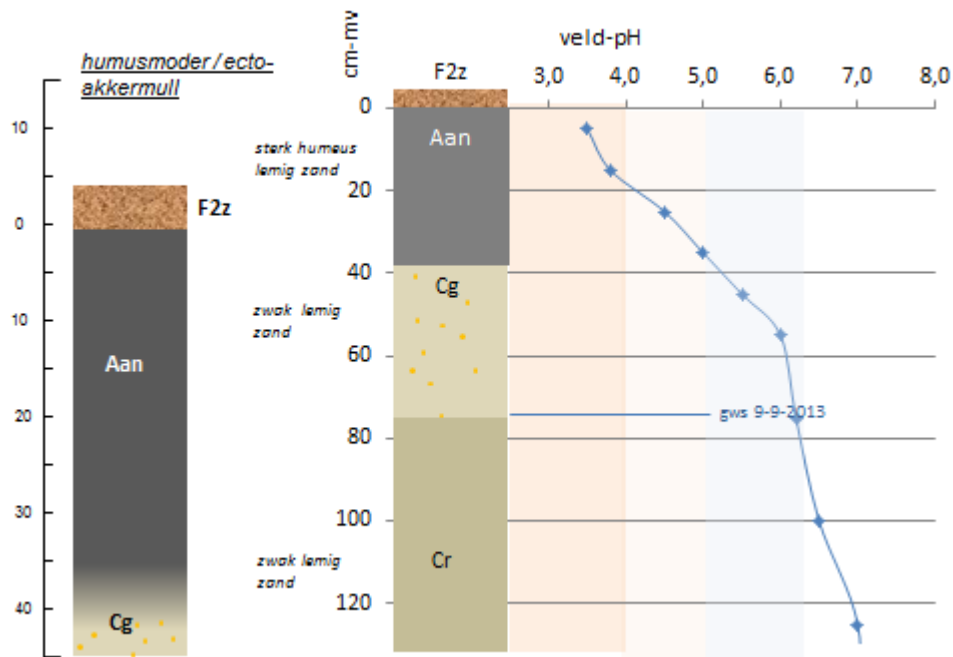
Conclusie

Bodem en vegetatie samenstelling wijzen allen in dezelfde richting, namelijk dat van een *Vogelkers-Essenbos*. Hoewel de moder-humusvorm ook bij het *Vogelkers-Essenbos* niet ongebruikelijk is wijst ze wel in de richting van enige verzuring c.q. verdroging. Het pH-profiel laat hetzelfde beeld zien.

Proefvlak UZ-02

Bodem en humusvorm

Proefvlak UZ-02 ligt iets hoger en kenmerkt zich door een dik cultuurdek. De bodem wordt op de bodemkaart aangegeven als *lage enkeerdgrond*. Het cultuurdek is 40 cm dik (Figuur B1-10) wat feitelijk te dun is voor een enkeerdgrond. Ecologisch is dit cultuurdek van belang gezien het feit dat er zich, in tegenstelling tot punt 01 in een deel van het proefvlak geen ectorganische humuslaag (*enk-akkeromull*) heeft ontwikkeld (o.a. door de relatieve nutriëntenrijkdom van het cultuurdek). Daar waar wel een ectorganische laag is aangetroffen is een *humusmoder* ontwikkeld. De invloed van het rijkere grondwater is merkbaar op 40 cm diepte (zie pH-profiel). Er zijn geen duidelijke hydromorfe kenmerken waargenomen binnen de eerste centimeters waardoor de humusvormen niet als respectievelijk hydromoder of hydroakkeromull geïdentificeerd konden worden.



Figuur B2.10: Bodem-, humus- en pH-profiel Urkenhovense zeggen 02. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Typerend voor het humus en het bodemprofiel is het 40cm dikke cultuurdek. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.10: Soil-,humus- and pH profile of UZ-02. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The 40 cm thick cultivation layer is characteristic for this site. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie classificeert als een RG Gewone braam-[Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond]. Dit bostype wordt niet vermeld in De Vegetatie van Nederland, maar wel in de Staatsbosbeheer-catalogus. Het is vaak karakteristiek voor een verdroogde bosbodem waarbij een "rijk" loofbos op minerale bodem geleidelijk verandert in een "arm" loofbos. In dit geval gaat het waarschijnlijk eerder om een rijk loofbos dat geleidelijk verandert in een (nog zeer soortenarme vorm) van het Vogelkers-Essenbos. De broekbouselementen in de vegetatie zijn vooral in de lagere rand van het opnamevlak aangetroffen.

Tabel B2.10: Vegetatie Urkenhovense zeggen 02 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.10: Vegetation Urkenhovense zeggen 02 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag
Alnus glutinosa	ld			
Betula pubescens	c			
Quercus robur	c			
Sorbus aucuparia			d	o
Fraxinus excelsior			o	f
Rubus fruticosus				f
Carex remota				r
Deschampsia cespitosa				r
Dryopteris carthusiana				r
Prunus padus				r
Ilex aquifolium				s

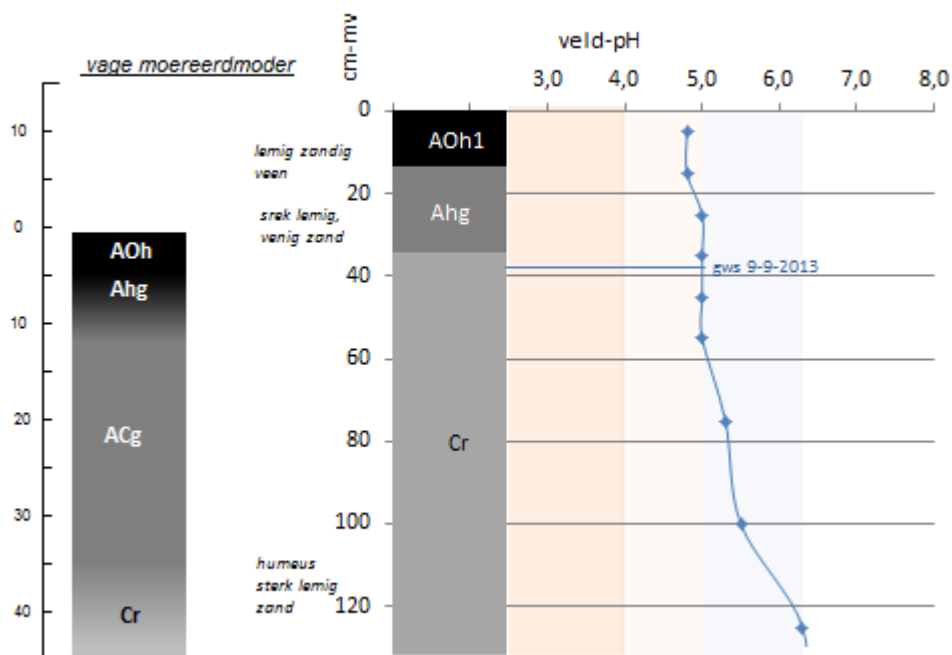
Conclusie

Humusvorm (vooral het plaatselijk ontbreken van een ectorganische laag) duidt net als de vegetatie samenstelling op een Vogelkers-Essenbos. De grondwaterstand en het pH- profiel duiden wel op een verzurende tendens. Het plaatselijk ontbreken van een ectorganisch humuslaag kan verklaard worden door vooral een hoger nutriëntengehalte van het cultuurdek en niet door een hogere basenbezetting.

Proefvlak UZ-A

Bodem en humusvorm

Proefvlak UZ-A bevindt zich in een laag deel van de dalbodem dat tegenwoordig in natte perioden kan innunderen. De bodem bestaat uit een zeer dunne laag veraard eutroof veen op een grotendeels gemineraliseerde veenrest (typisch voor verdroogde beekbegeleidende broekbossen). Dit duidt op drogere groeiplaatsomstandigheden in het recente verleden. Het leemgehalte van zowel de minerale ondergrond als de veenrest zijn hoog (> 30%). Het minerale deel van de bodem bestaat uit zeer sterk lemig matig fijn zand. De actuele grondwaterstand duidt op een grondwatertrap I of een natte variant van II.



Figuur B2.11: Bodem-, humus- en pH-profiel Urkenhovense zegen UZ-A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. De humusprofiel is typerend voor een veenrest die grotendeels gemineraliseerd is. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.11: Soil-,humus- and pH profile of UZ-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile comprises a largely mineralized peat remnant. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Proefvlak UZ-A behoort tot de RG Grote brandnetel-[Onderverbond van Els en Es]. Vermoedelijk een reeds lang verdroogd elzenbroekbos. De hoge bedekking van Grauwe wilg is waarschijnlijk een relict uit de broekbostijd en kan duiden op relatief grote verschillen in maaiveldhoogte en een (eertijds) vrij open boomlaag.

Tabel B2.11: Vegetatie Urkenhovense zeggen UZ-A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.11: Vegetation Urkenhovense zeggen UZ-A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag
Populus spec. (*)	F			
Alnus glutinosa		f		
Quercus robur (*)		f		
Salix cinerea			d	
Urtica dioica				d
Phragmites australis				a
Glechoma hederacea				f
Calystegia sepum				o
Ornithogalum umbell. (**)				o
Solanum dulcamara				o
Deschampsia cespitosa				r
Viburnum opulus				r
Angelica sylvestris				s
Iris pseudacorus				s

(*) iets hoger /droger; (**) alleen in voorjaar waargenomen vooral op het drogere deel

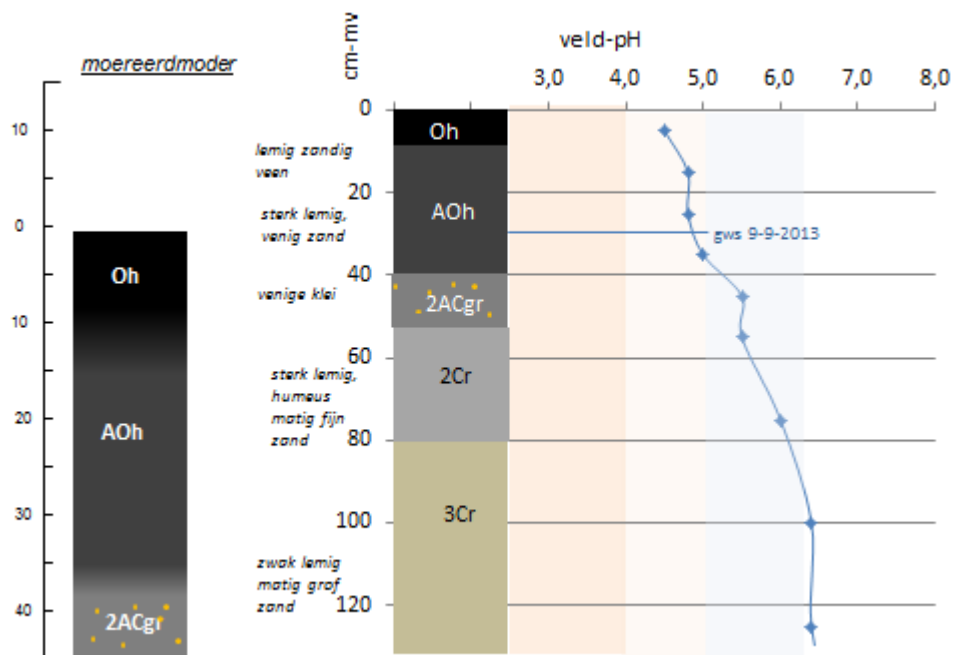
Conclusie

Hoewel de vegetatie duidt op een sterk verdroogd broekbos getuigt de grondwaterstand (in de vroege zomers zelfs aan maaiveld) en het kale grondoppervlak op tijdelijk inundatie. De standplaats lijkt momenteel te nat voor een vochtig bos en eerder te leiden tot herstel van de vroegere groeiplaatsomstandigheden voor Elzenbroekbos. Het aanpalende terreingedeelte met de weinig vitale Populier en met Zomereik is wat droger en mogelijk wel geschikt voor de ontwikkeling van vochtig bos.

Proefvlak UZ-B1

Bodem en humusvorm

Proefvlak UZ-B is verdeeld in een relatief laaggelegen deel, B1, en een hoger deel B2. Het lage deel is een iets drogere variant van A met een veenrest in de bovengrond op een zeer sterk lemige "bonte" laag (contrasterende hydromorfe vlekking), die op zijn beurt weer op een zwak lemige grofzandige gereduceerde ondergrond ligt (Figuur B1-12). Er is geen ectorganische humuslaag aanwezig.



Figuur B2.12: Bodem-, humus- en pH-profiel Urkenhovense zeggen B2. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel is typerend voor een veenrest met een dunne laag sterk veraard veen. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.12: Soil-,humus- and pH profile of UZ-B2. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile comprises a largely mineralized peat remnant with only a thin layer of amorphous peat. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie op de proefplek is te karakteriseren als een Vogelkers-Essenbos. Waarschijnlijk is hier sprake van een reeds lang verdroogd Elzenbroekbos waarin de ruigefase geleidelijk voorbij gaat en zich al enkele oud bossoorten van minerale bosbodem beginnen te vestigen (deze staan overigens op de hogere delen; op de rabatten).

Tabel B2.12: Vegetatie Urkenhovense zeggen B1 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.12: Vegetation Urkenhovense zeggen B1 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag
Alnus glutinosa	d			
Crataegus laevigata		o		
Fraxinus excelsior		o		f
Ribes rubrum			a	
Rhamnus frangula			f	
Urtica dioica				f
Carex remota				lf
Deschampsia cespitosa				o
Dryopteris dilatata				o
Molinia caerulea				o
Polygonatum multiflorum				o
Paris quadrifolia				r

Conclusies

De vegetatie en de humusvorm zijn karakteristiek voor een reeds langgeleden verdroogd broekbos. Zowel het pH-profiel als de actuele grondwaterstand wijzen in de richting van herstel van de vroegere aanwezige groeiplaatsomstandigheden voor Elzenbroekbos. Waarschijnlijk is de vernatting recent waardoor de vegetatie en het humus nog naijlen. Ontwikkeling op de langere termijn naar een broekbos is aannemelijk.

Proefvlak UZ-B2

Bodem en humusvorm

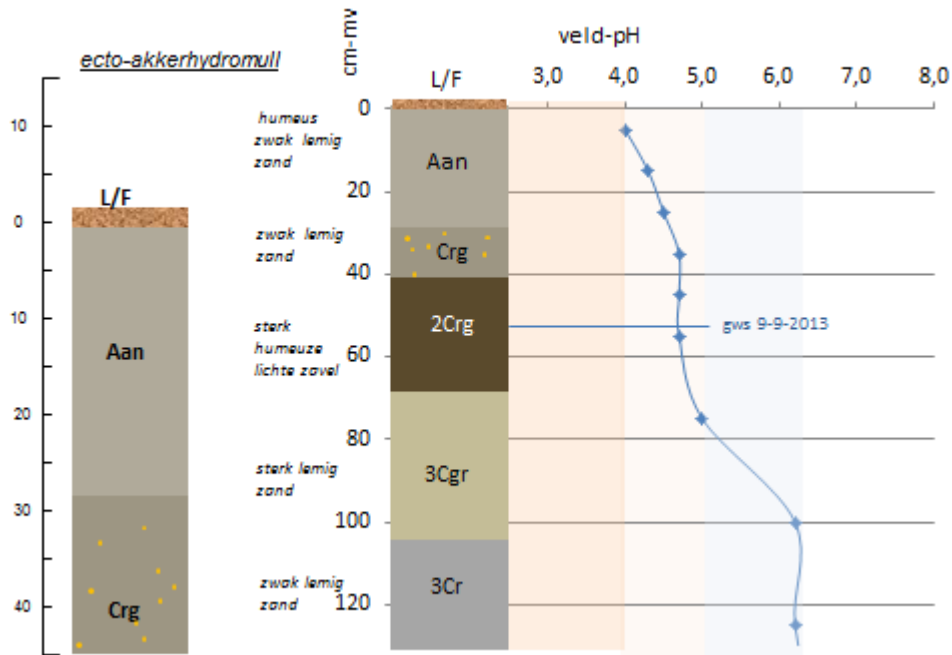
Proefvlak UZ-B2 bestaat deels uit een opgebracht matig fijnzandig cultuurdek met binnen 20 cm hydromorfe verschijnselen op een zeer sterk lemige laag die gezien de hydromorfe vlekking er boven stagnerend werkt (Figuur B2.13). De ondergrond bestaat ook hier weer uit zwak lemig matig grof zand. Het grenst aan proefplek UZ-B2. Volgens het pH-profiel reikt de invloed van het basenrijke water niet tot boven 90 cm onder maaiveld. Onder invloed van het nutriëntenrijke cultuurdek heeft zich vrijwel geen ectorganische laag ontwikkeld.

Vegetatie

Ook proefvlak UZ-B2 is te karakteriseren als een Vogelkers-Essenbos. Dit is echter beter en verder ontwikkeld dan het bos op vlak B2.

Conclusies

In tegenstelling tot proefvlak B1 zijn humusvorm, bodemtype, pH-profiel en grondwatertrap karakteristiek voor het hier voorkomende Vogelkers-Essenbos. De vernatting heeft hier een positieve invloed op het instandhouding en verdere ontwikkeling van een rijk vochtig bos.



Figuur B2.13: Bodem-, humus- en pH-profiel Urkenhovense zegen B2. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel wordt gekarakteriseerd door een bijna 30 cm dik cultuurdek. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.13: Soil-, humus- and pH profile of UZ-B2. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile is characterized by 30cm thick cultivation layer. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Tabel B2.13: Vegetatie Urkenhovense zeggen B2 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.13: Vegetation Urkenhovense zeggen B2 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
<i>Alnus glutinosa</i>	a				
<i>Fraxinus excelsior</i>	f				
<i>Quercus robur</i>	f				
<i>Ribes rubrum</i>			f		
<i>Sorbus aucuparia</i>			f	o	
<i>Lonicera periclymenum</i>			o		
<i>Prunus padus</i>			r		
<i>Polygonatum multiflorum</i>				la	
<i>Crataegus laevigata</i>				f	
<i>Rubus fruticosus</i>				lf	
<i>Agrostis stolonifera</i>				o	
<i>Dryopteris dilatata</i>				o	
<i>Dryopteris filix-mas</i>				o	
<i>Holcus lanatus</i>				o	
<i>Ilex aquifolium</i>				o	
<i>Juncus effusus</i>				o	
<i>Carex pallescens</i>				r	
<i>Deschampsia cespitosa</i>				r	
<i>Paris quadrifolia</i>				r	
<i>Quercus rubrum</i>				r	
<i>Viburnum opulus</i>				r	
<i>Polytrichum formosum</i>					o

Groote Heide

Kenschets

Groote Heide ligt op de zandrug Groote Heide/Leenderbos tussen de beekdalen van de Tongelreep en de Kleine Dommel. Het is een jonge heideontginning (ontgonnen vanaf 1906) en grotendeels beplant met naaldhout (grove den, Japanse lariks en douglas). De bovengrond bestaat uit sterk gelaagde afzettingen van goed doorlatende zanden en slecht doorlatende leem-, veen- en gyttjalagen. Voor de ontginning bestond het gebied uit heide met een groot aantal vennen. De Kleine Beekloop vormt de hoofdontwatering van het gebied. Het oorspronggebied hiervan ligt aan de rand van het bosgebied. Bij de ontginning is de Kleine beekloop doorgetrokken en door dekzandruggen gegraven om alle vennen te ontwateren.

Maatregelen

In de loop van 10 jaar zijn geleidelijk alle sloten die geen functie hebben voor de landbouw gedempt. Alleen de hoofdwaterloop, de Kleine Beekloop, is (nog) niet gedempt of verondiept. Op enkele plaatsen zijn ook rabatten geëgaliseerd. De sloten die invloed hebben op de waterhuishouding van de onderzoekslocaties zijn in 2006 gedempt. Grondwaterstandwijzigingen: Er zijn (nog) geen peilbuisgegevens beschikbaar. Op basis van veldwaarnemingen blijkt dat de grondwaterstanden in de winter tot boven maaiveld stijgen (zie foto B2.1), wat voorheen niet het geval was omdat de locaties goed gedraineerd waren.

Proefvlakken

Er zijn drie proefvlakken (GH-A, GH-B en GH-C) bemonstert en 3 niet vernatte controlelocaties (GH-01, GH-02 en GH-03). **GH-A:** Deze onderzoekslocatie ligt in laagte in een lariksbos aan de rand van een zwakgebufferd ven (Brandtorennen). In 2006 zijn afvoersloten tussen het bosperceel

en het ven gedempt. De waterstanden in het ven zijn daardoor met een halve meter gestegen en in de voorjaarssituatie loopt water over maaiveld het bos in en vult de laagte in het bos. De hoofdontwatering is nog steeds intact waardoor de grondwaterstand in de zomerperiode nog diep kan wegzakken. De vernatting is merkbaar aan vestiging van veenmossen en dubbelloof (op maaiveld). Enkele lariksen zijn omgewaaid en op de laagste delen is een dichte verjonging opgekomen van zachte berk en lariks. **GH-01** ligt 100 meter ten noorden van GH-A in dezelfde slenk maar stroomafwaarts van de plaats waar sloten gedempt zijn. Het betreft eveneens een lariksupstand. **GH-B** ligt in een voormalig ven, het Smullemansven, wat in 1906 drooggelegd is. Voor de vernatting bestond de kern van de opstand uit een 100 jaar oud beukenbos omgeven door gemengd dennen- en Amerikaanse eikenbos. In 2006 is de afvoersloot over een afstand van ruim 100 meter gedempt. In het voorjaar staat het water ongeveer 20 cm boven maaiveld. In de zomer dalen de waterstanden diep weg. De beuken en ook een deel van de eiken en dennen zijn als gevolg van de vernatting afgestorven. In de laagste delen beginnen (na 7 jaar) de eerste soorten van nattere omstandigheden op te komen: snavelzegge en veenmossen. Op de delen waar in het voorjaar water stagneert, is een dichte verjonging met grove den en berk opgekomen. Het niet-vernatte controlevlak GH-02 ligt op circa 100 meter afstand van GH-B in dezelfde laagte van dit voormalige ven. Het bos bestaat uit een open opstand van oude Amerikaanse eiken en douglas. **GH-C**: Dit proefvlak ligt in een gemengde opstand van beuk, inlandse eik en grove den aan de rand van een kleine natte laagte. De natte laagte werd ontwaterd door een sloot die door de beukenopstand liep. Deze sloot is over een lengte van ca. 50 meter gedempt. Het effect van de vernatting is onder meer zichtbaar aan een toename van de bedekking veenmossen, snavelzegge en zwarte zegge in de laagte en een verminderde vitaliteit van de bomen. Een deel van de bomen is afgestorven of omgewaaid. Controleplots GH-03/GH-04 liggen stroomafwaarts van de gedempte sloot in een jonge sparren aanplant.

Standplaatscondities; bodem en humusvorm: Het gebied van de Groote Heide wordt gekenmerkt door dekzandruggen, -vlakten en -laagten. De bodem bestaat voornamelijk uit zwak lemige veldpodzolgronden die echter op veel plekken gediëplood of op andere wijze zijn verwerkt (bijvoorbeeld door rabattering). Proefvlak A is tot een diepte 42 cm verstoord (vergraven). De eerst 90cm van het profiel bestaat uit sterk lemig, fijn zand. Oorspronkelijk is hier sprake van een veldpodzolgrond. De humusvorm bestaat uit een "vermoderde" *humusmormoder*, wat duidt op verhoogde activiteit van de kleinere bodemfauna. De hydromorfe verschijnselen zijn herkenbaar op een diepte van 55 cm. Het pH-profiel wijst op invloed van zwak bufferend grondwater op een halve meter diepte. Het controlevlak 01 bestaat uit een vrijwel ongestoorde, zwak ontwikkelde veldpodzol. De grondwatertrap is III. Het pH-verloop is zuur zonder tekenen van aanrijking van basen vanuit het grondwater. De humusvorm is een *humusmormoder*, karakteristiek voor een arm droog bos.

Proefvlak B bevindt zich in een doorgreppelde dekzandlaagte. De ondergrond is zeer sterk lemig en werkt stagnerend. Op 15 cm diepte is een moerige laag aangetroffen (Od), mogelijk een veenrest uit een natter verleden. De humusvorm (*humusmormoder*) vertoont geen tekenen van een verhoogde bioactiviteit. Proefvlak 02 bevindt zich op een rabat met een verstoorde zwak lemige veldpodgrond met hydromorfe verschijnselen op 90 cm diepte (grondwatertrap V of VI). De *bosmormoder* is hier de humusvorm typisch voor drogere, arme bossen. De ondergrond bestaat uit leem arm fijn tot matig fijn zand (Figuur 2.8.4).

Het profiel in proefvlak C is opgebouwd uit matig sterk lemig zand met een vage podzolontwikkeling. De *mormoder* humusvorm vertoont tekenen van enige vermodering (ontwikkeling naar een *bosmoder*) wat op vochtige omstandigheden kan duiden. Het pH duidt op zure omstandigheden voornamelijk beïnvloed door regenwaterachtig stagnatie- of grondwater. De bodems van proefvlakken 03 en 04 lijken sterk op elkaar. Zij bestaan uit zwak ontwikkelde natte podzolgronden in sterk tot zwak lemig zand. De dikke ectorganisch humusvormen (*bosmormoders*) hebben beiden een dunne Hh-laag.

Vegetatie

Op proefvlak A is een Kussentjesmos-Dennenbos (subassociatie van Bochtige smele) ontwikkeld. Dit type is de naaldbos-tegenhanger van de gelijknamige subassociatie in het Berken-Eikenbos. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en hoeft niet te duiden op vochtige omstandigheden. Verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig. (Buiten de opname: Gewimperd veenmos, Dubbelloof) Ook controlevlak 01 behoort tot een Kussentjesmos-Dennenbos (subassociatie van Bochtige smele) Het Berken-Eikenbos van proefvlak GH-B behoort tot de subassociatie van Pijpenstrootje. Het is een goed voorbeeld van het type, mede dankzij de frequente verjonging van Zachte berk. Het aandeel Pijpenstrootje is hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig. (buiten de opname: Snavelzegge en Gewimperd veenmos) Het controlevlak 02 is geclassificeerd als een DG Amerikaanse eik- [Zomereik-verbond]. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en hoeft niet te duiden op vochtige omstandigheden. Verder zijn er

geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig. De vegetatie van proefvlak GH-C behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. Het is een goed voorbeeld van het type net als proefvlak B, mede dankzij de frequente verjonging van Zachte berk. Ook hier is het aandeel Pijpenstrootje hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig. De boomlaag is echter heterogener dan in proefvlak B. De vegetatie van controlevlak 03 wordt tot het Berken-Eikenbos (subassociatie van Pijpenstrootje), gerekend. De vegetatie van proefvlak 04 (hier niet afgebeeld) is niet duidelijk te plaatsen. Het aandeel Pijpenstrootje is hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

Conclusies

De vegetatie geeft nog geen enkele aanwijzing voor de ontwikkeling naar een vochtig bos. Het licht vermoderde humusprofiel lijkt hier wel een voorbode van te zijn. Het pH-profiel vertoont tekenen van invloed van zwak bufferend grondwater op 45 cm diepte.

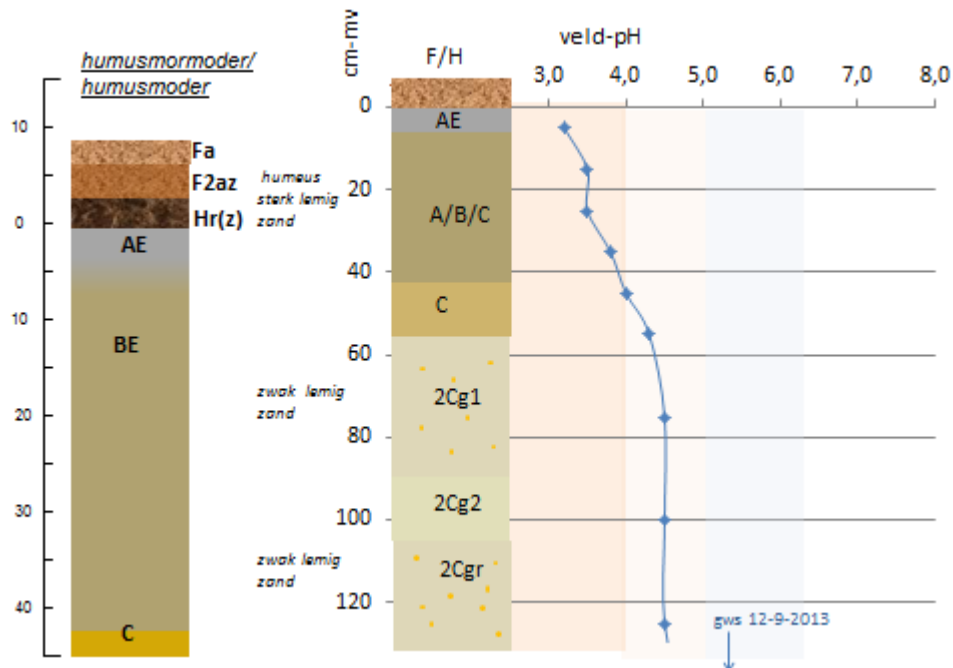
Zowel standplaats als vegetatie hebben elementen van een vochtig bos met een licht stagnerend karakter. Het voorkomen van de OAd laag in het humusprofiel duidt in ieder geval op een natter verleden. Het pH profiel past bij de ontwikkeling naar een arm, zuur vochtig bos. Het humusprofiel vertoont geen tekenen van vermodering.

Net als proefvlak B lijkt dit bos zich naar een arm vochtig bos te ontwikkelen. Hier ontbreken echter resten van een moerige laag. De matig ontwikkelde veldpodzol wijst op een minder nat verleden dan proefvlak B. Op dit proefvlak zijn wel enige tekenen van vermodering van de strooisellaag waargenomen. Proefvlak 04 heeft duidelijk een diepere grondwaterstand dan C en iets minder vermoderde humusvorm.

Proefvlak GH-A

Bodem en humusvorm

Het gebied van de Grootte Heide wordt gekenmerkt door dekzandruggen, vlakten en laagten. De bodem bestaat voornamelijk uit zwak lemige *veldpodzolgronden* die echter op veel plekken gediëplood of op andere wijze zijn verwerkt (bijvoorbeeld door rabattering). Proefvlak A is tot een diepte 42 cm verstoord (vergraven; Figuur B2.14). De eerst 90 cm van het profiel bestaat uit sterk lemig, fijn zand. Oorspronkelijk is hier sprake van een veldpodzolgrond. De humusvorm bestaat uit een "vermoderde" *humusmormoder*, wat duidt op verhoogde activiteit van de kleinere bodemfauna. De hydromorfe verschijnselen zijn herkenbaar op een diepte van 55 cm. Het pH-profiel wijst op invloed van zeer zwak bufferend grondwater op een halve meter diepte.



Figuur B2.14: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel vertoont tekenen van vermodering. Dit is een teken voor verhoogde activiteit van de bodemfauna. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.14: Soil-, humus- and pH profile of GH-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile shows signs of forming of moder particles (F2az and Hr(z)). This indicates a growing activity of small soil fauna. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Op proefvlak GH-A heeft zich is een Kussentjesmos-Dennenbos (subassociatie van Bochtige smele) ontwikkeld. Dit type is de naaldbos-tegenhanger van de gelijknamige subassociatie in het Berken-Eikenbos. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en hoeft niet te duiden op vochtige omstandigheden. Er zijn geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

Tabel B2.14: Vegetatie Groote Heide A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.14: Vegetation Groote Heide A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Larix kaempferi	d			r	
Quercus robur	o			o	
Betula pubescens	r		lf		
Castanea sativa			f		
Prunus serotina			r		
Sorbus aucuparia			r		
Deschampsia flexuosa				f	
Molinia caerulea				lf	
Dryopteris carthusiana				o	
Dryopteris dilatata				o	

Quercus rubra				r	
Campylopus introflexus					f
Hypnum jutlandicum					f
Pseudoscleropod. purum					o

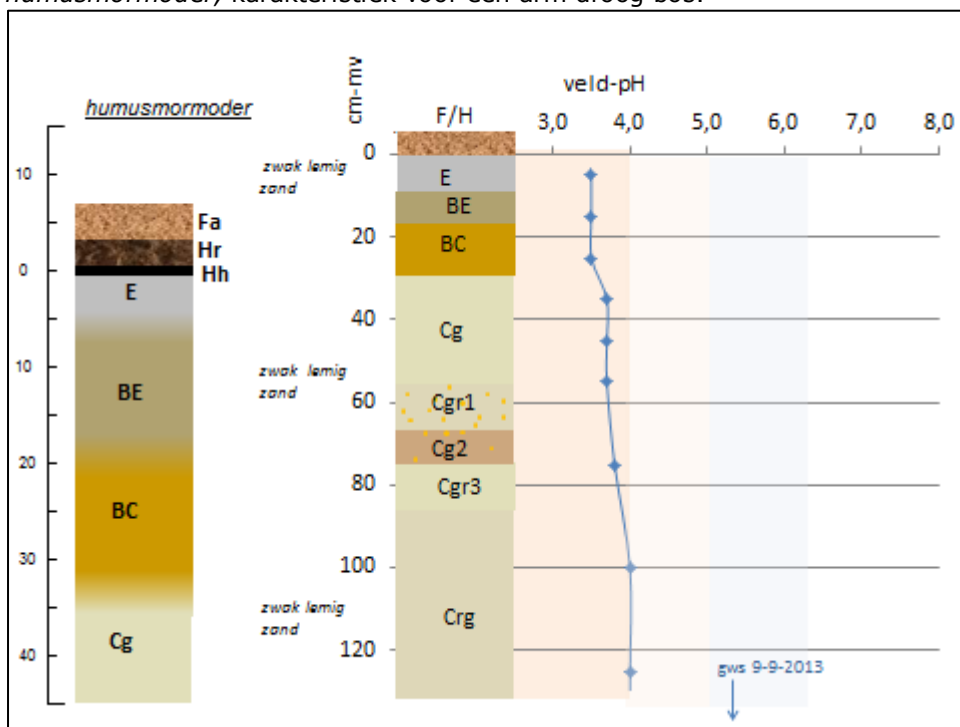
Conclusie

De vegetatie geeft nog geen aanwijzing voor de ontwikkeling naar een vochtig bos. Het licht vermoderde humusprofiel lijkt hier wel een voorbode van te zijn. Het pH-profiel vertoont tekenen van invloed van zeer zwak bufferend grondwater op 45 cm diepte.

Proefvlak GH 01

Bodem en humusvorm

Het proefvlak bestaat uit een vrijwel ongestoorde, zwak ontwikkelde veldpodzol met een duidelijk uitspoelingshorizont en een vage inspoelingshorizont (Figuur B1-15). Op ongeveer 55 cm diepte bevindt zich een bonte hydromorfe horizont. De grondwatertrap is III. Het pH-verloop is zuur zonder tekenen van aanrijking van basen vanuit het grondwater. De humusvorm is een *humusmormoder*, karakteristiek voor een arm droog bos.



Figuur B2.15: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide 01. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel vertoont geen duidelijke tekenen van vermodering. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.15: Soil-,humus- and pH profile of GH-01. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile does not show clear signs of a higher grade of moder forming.. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Proefvlak GH-01 behoort tot een Kussentjesmos-Dennenbos (subassociatie van Bochtige smele), de naaldbos-tegenhanger van de gelijknamige subassociatie in het Berken-Eikenbos. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en hoeft niet te duiden op vochtige omstandigheden. Er zijn geen vochtindicatoren aanwezig.

Conclusie

Humusprofiel, actuele grondwaterstand, het profiel verloop en vegetatie sluiten aan bij het vastgestelde bostype.

Tabel B2.15: Vegetatie Groote Heide 01 (abundantie volgens Tansley)

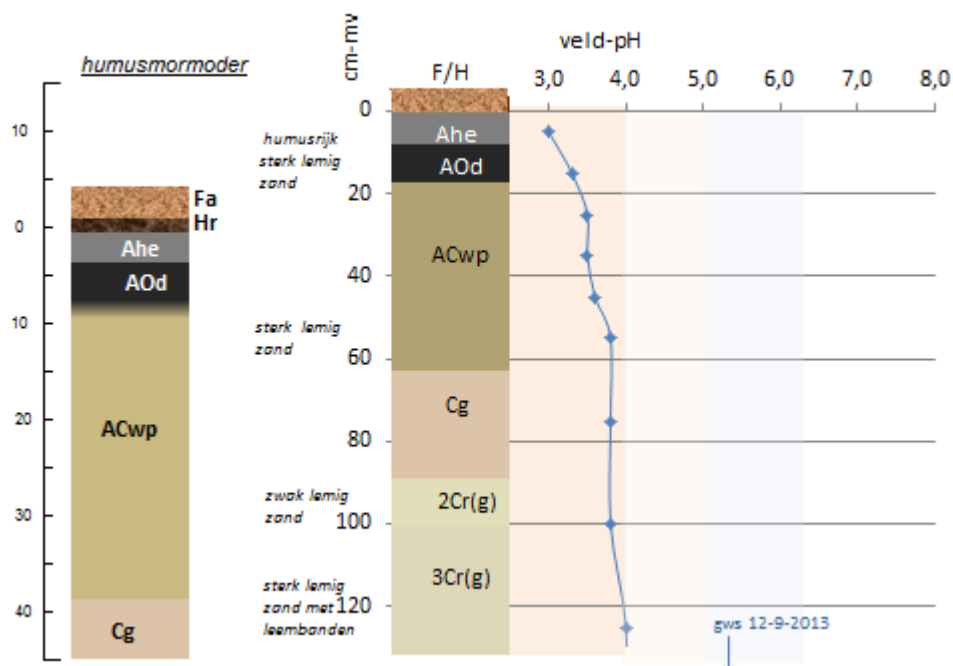
Table B2.15: Vegetation Groote Heide 01 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Larix kaempferi	d				
Pinus nigra	f				
Pseudotsuga menziesii	lf				
Quercus robur	o			O	
Prunus serotina			f	O	
Betula pubescens			o		
Rhamnus frangula			o		
Sorbus aucuparia			o		
Larix kaempferi			r	R	
Deschampsia flexuosa				D	
Dryopteris carthusiana				O	
Dryopteris dilatata				O	
Molinia caerulea				O	
Rubus fruticosus				O	
Hypnum jutlandicum					f
Pleurozium schreberi					f
Pseudoscleropod. Purum					o
Polytrichum formosum					r

Proefvlak GH-B

Bodem en humusvorm

Proefvlak GH-B bevindt zich in een doorgreppelde dekzandlaagte. De textuur van vrijwel het gehele profiel is matig sterk lemig fijn zand (Figuur B1-16). De ondergrond is zelfs zeer sterk lemig en werkt stagnerend. Op 15 cm diepte is een moerige laag aangetroffen (Od), mogelijk een veenrest uit een natter verleden. De humusvorm (*humusmormoder*) vertoont geen tekenen van een verhoogde bioactiviteit.



Figuur B2.16: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide B. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel vertoont geen teken van vermodering. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.16: Soil-,humus- and pH profile of GH-01. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile does not show clear signs of a higher grade of moder forming.. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie behoort tot het Berken-Eikenbos;subassociatie van Pijpenstrootje. Het is een goed voorbeeld van het type, mede dankzij de frequente verjonging van Zachte berk. Het aandeel Pijpenstrootje is hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

Tabel B2.16 Vegetatie Groote Heide B (abundantie volgens Tansley)

Table B2.16: Vegetation Groote Heide B (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)	dode bomen
Quercus robur	d			O		s
Pinus sylvestris	f			R		
Quercus rubra		o		R		
Ilex aquifolium			o	R		
Prunus serotina			r			
Sorbus aucuparia			r			
Molinia caerulea				D		
Betula pubescens				F		
Dryopteris dilatata				R		
Campylopus introflexus					r	
Hypnum jutlandicum					r	
Kindbergia praelonga					r	

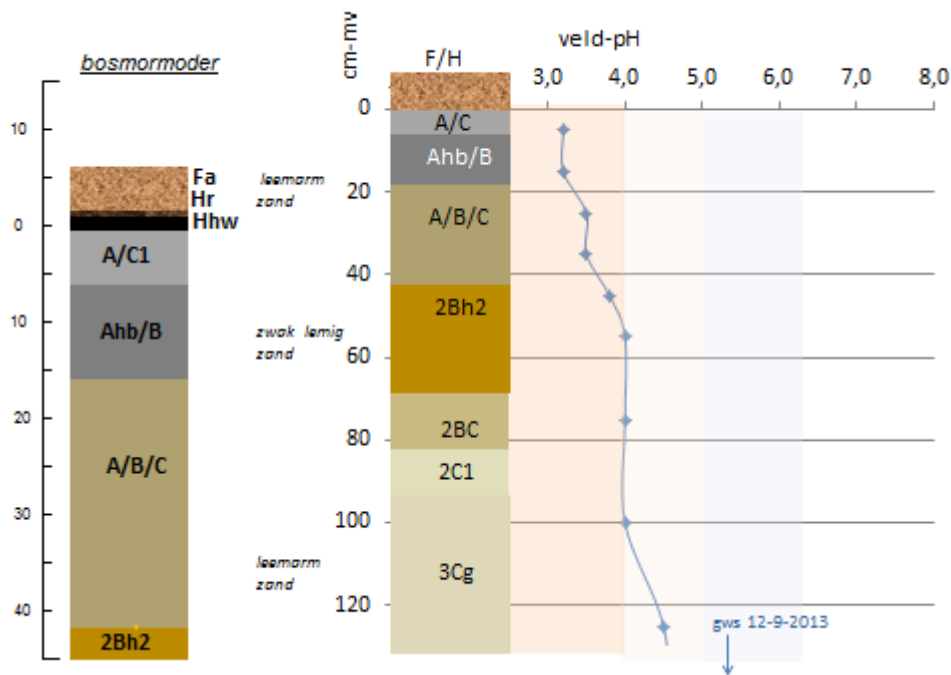
Conclusie

Zowel standplaats als vegetatie hebben elementen van een vochtig bos met een licht stagnerend karakter. Het voorkomen van de OAd laag in het humusprofiel duidt in ieder geval op een natter verleden. Het pH profiel past bij de ontwikkeling naar een arm, zuur vochtig bos. Het humusprofiel vertoont geen tekenen van vermodering.

Proefvlak Gh-02

Bodem en humusvorm

Proefvlak GH-02 bevindt zich op een rabat met een verstoorde zwak lemige veldpodgrond met hydromorfe verschijnselen op 90 cm diepte (grondwatertrap V of VI). De *bosmormoder* is hier de typische humusvorm voor drogere, arme bossen. De ondergrond bestaat uit leem arm fijn tot matig fijn zand (Figuur B2.17).



Figuur B2.17: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide 02. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel is typisch voor droge arme bossen. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.17: Soil-,humus- and pH profile of GH-B. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile is characteristic for a dry nutrient-poor forest. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Het bos is geclassificeerd als een DG Amerikaanse eik- [Zomereik-verbond]. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en hoeft niet te duiden op vochtige omstandigheden. Verder zijn er geen vochtindicatoren aanwezig.

Tabel B2.17: Vegetatie Groote Heide 02 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.17: Vegetation Groote Heide 02 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Quercus rubra	d		f	o	
Betula pubescens	o				
Picea abies	o		o	o	
Fagus sylvatica	r				
Pinus sylvestris	r				
Molinia caerulea				f	
Dryopteris carthusiana				o	
Dryopteris dilatata				o	
Pinus sylvestris				o	
Quercus robur				r	
Rubus fruticosus				r	
Campylopus introflexus					o

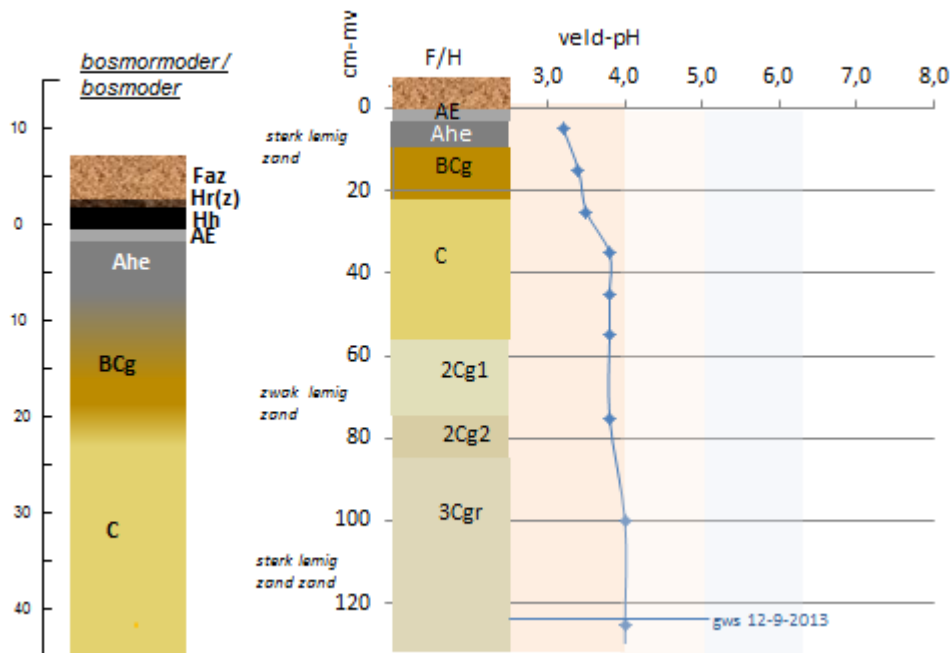
Conclusie

Humusprofiel, actuele grondwaterstand, het profiel verloop en sluiten aan bij het vastgestelde bostype.

Proefvlak GH-C

Bodem en humusvorm

Het profiel in proefvlak Gh-C is opgebouwd uit matig sterk lemig zand met een vage podzolontwikkeling (BCg; Figuur B1-18). De mormoder humusvorm vertoont tekenen van enige vermodering (ontwikkeling naar een *bosmoder*) wat op vochtige omstandigheden kan duiden. Het pH duidt op zure omstandigheden voornamelijk beïnvloed door regenwater of jong, zuur grondwater.



Figuur B2.18: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide C. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel is typisch voor droge arme bossen. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.18: Soil-,humus- and pH profile of GH-C. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profile is characteristic for a dry nutrient-poor forest. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. Het is een goed voorbeeld van het type net als proefvlak GH-B, mede dankzij de frequente verjonging van Zachte berk. Ook hier is het aandeel Pijpenstrootje hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig. De boomlaag is echter heterogener dan in proefvlak GH-B. Plekken met dominantie van Amerikaanse eik kunnen worden opgevat als (fragmenten van de) DG Amerikaanse eik- [Zomereik-verbond].

Tabel B2.18: Vegetatie Groote Heide C (abundantie volgens Tansley)

Table B2.18: Vegetation Groote Heide C (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)	dode bomen
Quercus robur	d			o		s
Quercus rubra	ld		f	o		
Betula pubescens	r		f	r		
Rhamnus frangula			f	r		
Sorbus aucuparia			o			
Fagus sylvatica			r			
Pinus sylvestris			r	r		
Molinia caerulea				d		
Dryopteris dilatata				f		
Deschampsia flexuosa				o		
Larix kaempferi				r		
Rubus fruticosus				r		
Polytrichum formosum					o	
Pseudoscleropod. purum					o	

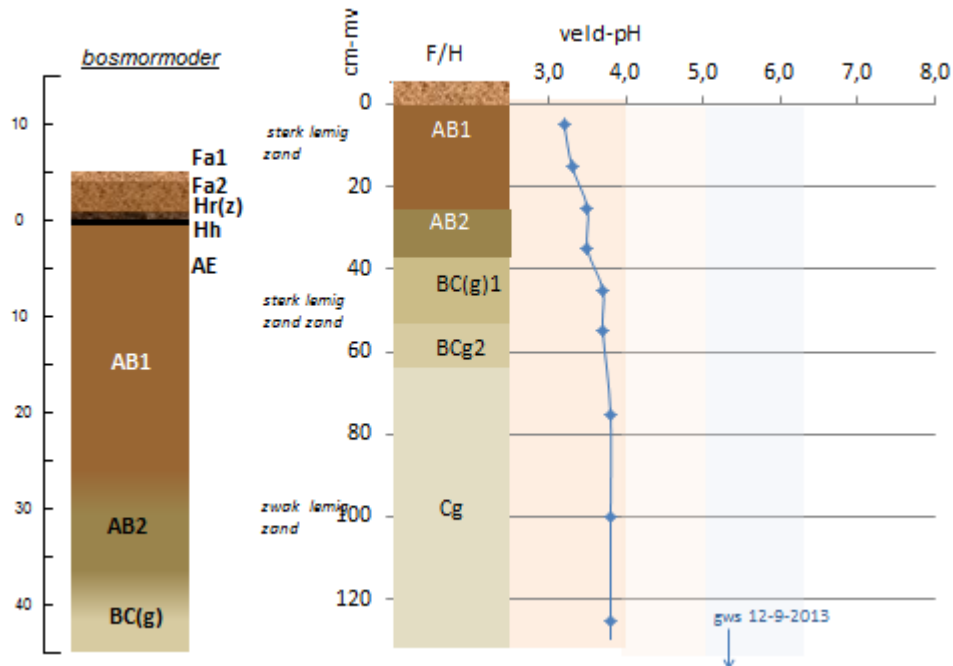
Conclusie

Net als proefvlak GH-B lijkt dit bos zich naar een voedselarm vochtig bos te ontwikkelen. Hier ontbreken echter resten van een moerige laag. De matig ontwikkelde veldpodzol wijst op een minder nat verleden dan proefvlak Gh-B. Op dit proefvlak zijn wel enige tekenen van vermodering van de strooisellaag waargenomen.

Proefvlakken GH-03 en GH-04

Bodem en humusvorm

De bodems van proefvlakken GH-03 en GH-04 lijken sterk op elkaar. Zij bestaan uit zwak ontwikkelde natte podzolgronden in sterk tot zwak lemig zand (Figuur B1-19). De dikke ectorganisch humusvormen (*bosmormoders*) hebben beiden een dunne Hh-laag. De B-horizonten zijn zwak ontwikkeld (AB, BC). In het humusprofiel van 03 (niet afgebeeld) ontbreekt de duidelijk uitspoelingslaag (E).



Figuur B2.19: Bodem-, humus- en pH-profiel Groote Heide 03 en 04. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humusprofiel en de bodem van proefvlak 03 en 04 lijken sterk op elkaar. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.19: Soil-,humus- and pH profile of GH-03 and GH-04. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus profiles and soils of Gh-03 and GH-04 are quite similar. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie van proefvlak 03 wordt tot het Berken-Eikenbos (subassociatie van Pijpenstrootje), gerekend. De vegetatie van proefvlak GH-04 (hier niet afgebeeld) is niet duidelijk te plaatsen. Waarschijnlijk is door dunning en spontane ontwikkeling een tweede boomlaag ontstaan uit gelijknamige subassociatie van het Kussentjesmos-Dennenbos. Het aandeel Pijpenstrootje is hoog maar verder zijn er geen duidelijke vochtindicatoren aanwezig.

Tabel B2.19: Vegetatie Groote Heide 03 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.19: Vegetation Groote Heide 03 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Pinus sylvestris	o		o		
Quercus robur	o				
Betula pubescens		d	f		
Picea abies		lf			
Quercus rubra		r	o	o	
Rhamnus frangula			o		
Pinus spec.			r		
Molinia caerulea				d	
Polytrichum formosum				f	
Deschampsia flexuosa				o	
Dryopteris dilatata				o	
Campylopus introflexus					r
Hypnum jutlandicum					r

Conclusie

Proefvlak 04 heeft duidelijk een diepere grondwaterstand dan C en iets minder vermoderde humusvorm. Op grond van de vegetatie zijn er geen verregaande conclusies te trekken. De standplaats eigenschappen wijzen op een matig droge arme standplaats.

Leenderbos-Laagveld

Kenschets

Het Leenderbos is een heidebebossing uit begin 20ste eeuw gelegen op een dekzandrug met overgangen naar het beekdal van de Tongelreep. Op deze gradiënt liggen droge loof- en naalddhoutaanplanten en overgangen naar natte Berkenbroeken en Elzenbroeken. Het onderzoeksgebied maakt onderdeel uit van het Laagveld; soortenrijke vochtige heide-enclaves in een groot boscomplex. Heide en bosgebied worden gedraineerd door een stelsel van diepe sloten die samenkomen in de Laagveldloop en afwateren op de Tongelreep. Ten behoeve van het herstel van de natte heide worden delen van de bossen omgevormd naar heide en de waterhuishouding hersteld.

Maatregelen

Sinds 1996 worden er al maatregelen genomen, in eerste instantie door het dempen van een groot aantal sloten. Door de onverwachte, extreme vernatting zijn de maatregelen grotendeels ongedaan gemaakt. Vanaf 2009 zijn opnieuw vernattingsmaatregelen uitgevoerd. Er zijn stuwen geplaatst in de grote waterlopen en gedurende een tweetal jaren zijn de stuwpeilen verhoogd tot de maximale hoogte (20 a 30 cm onder maaiveld). Daarnaast zijn de detailontwateringsloten afgedamd.

Grondwaterstandwijzigingen

Peilbuis B57E0224 kan redelijk representatief beschouwd worden voor de grondwaterstanden in de omgeving van de onderzoekslocaties. De meetreeks loopt van 1989 tot heden. Ten opzichte van de periode van halverwege de jaren negentig zijn zowel de hoge als de lage grondwaterstanden met circa 20 centimeter gestegen. De seizoensfluctuatie is groot en varieert van rond maaiveld tot 1,30 meter onder maaiveld.

Proefvlakken

LB-A ligt laag op de gradiënt nabij een stuw in de laagveldloop en een afgedamde zijslot. De waterhuishouding is hier complex. Aan de westzijde loopt een aanvoersloot (met beekwater) voor de visvijvers. Deze ligt hoog op de flank van en parallel aan het beekdal van de Tongelreep en werkt infiltrerend. Aan de andere zijde vindt er een diepe ontwatering plaats door de Laagveldloop

die onder bovengenoemde aanvoersloot door op de Tongelreep afwatert. Deze laagveldloop wordt nu gestuwd. Het bos waarin het proefvlak ligt is een open loofbos. Het naaldhout (fijnspar) is gekapt. Er groeit onder meer zompzegge (maaiveld) en scherpe zegge (in een greppeltje) die een aanwijzing kunnen zijn voor de vernatting die is opgetreden.

LB-B ligt enkele honderden meters stroomopwaarts van de stuw. Er zijn hier geen duidelijke aanwijzingen van vernatting. De opstuwende werking in de sloot is hier minder dan bij LB-A. De niet vernatte locatie LB-0 ligt aan de rand van het bosgebied nabij een landbouwsloot waar geen maatregelen zijn uitgevoerd.

Standplaatscondities; bodem en humusvorm

Het Leenderbos bestaat uit dekzandvlakten met bodems (*vlakvaaggronden*) die grotendeels verstoord zijn door rabattering. Proefvlak LB-A bevindt zich in een dalvormige laagte. De verwerkte bovengrond is hier tot 60 cm zeer sterk lemig. Het grondwaterniveau bevond zich in september onder de 120cm. De grondwatertrap is geschat op III. Het pH-profiel wijst niet op invloed van basenrijker grondwater. De humusvorm is een overgangsvorm van een *Bosmormoder* naar mildere *Bosmoder* (toename biologische activiteit onder invloed van verbeterde vochtvoorziening en of basenvoorziening). Proefvlak B bestaat uit matig fijnzandige leemarme zanden met op een diepte van 80 cm brokken humusrijk materiaal. Deze resten wijzen op de aanwezigheid in het verleden van een sterk ontijzerde *veldpodzol*. De huidige grondwaterstand bevond zich in september onder de 1,2 meter. Het hele pH-profiel bevindt zich in het zure traject. Het humusprofiel is een arme slecht ontwikkelde *humusmormoder* die eerder in een droog arm bos te verwachten is dan in een vochtig bos. Proefvlak LB-0 ligt op de geleidelijke overgang van een dalvormige laagte naar een dekzandvlakte. De bodem is duidelijk lemiger dan proefvlak B maar minder leemrijk als vlak A. Voor het overige lijkt deze bodem sterk op die van proefvlak B, inclusief een humusvorm die veel aangetroffen wordt in arme droge bossen.

Vegetatie

In proefvlak A is een Berken-Eikenbos (subassociatie van Pijpenstrootje) aangetroffen. Het aanwezige bos is echter niet erg representatief. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en er zijn verder geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen (vgl. LB-B). Mogelijk dat begrazing hier van invloed is. Opmerkelijk is de aanwezigheid van Vingerhoedskruid en Echte guldenroede die beide wijzen op een iets verhoogd nutriëntenaanbod. De vegetatie van proefvlak B behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. Het bos is niet erg representatief voor het vegetatietype. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en er zijn verder geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen. Proefvlak 0 wordt tot de RG Zomereik-Groot laddermos/Fijn snavelmos-[Zomereik-verbond] gerekend. Het gaat om zeer soortenarme bossen die nog de meeste overeenkomst vertonen met het Berken-Eikenbos, maar te slecht ontwikkeld zijn om op associatie-niveau te kunnen worden benoemd. Er zijn geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen.

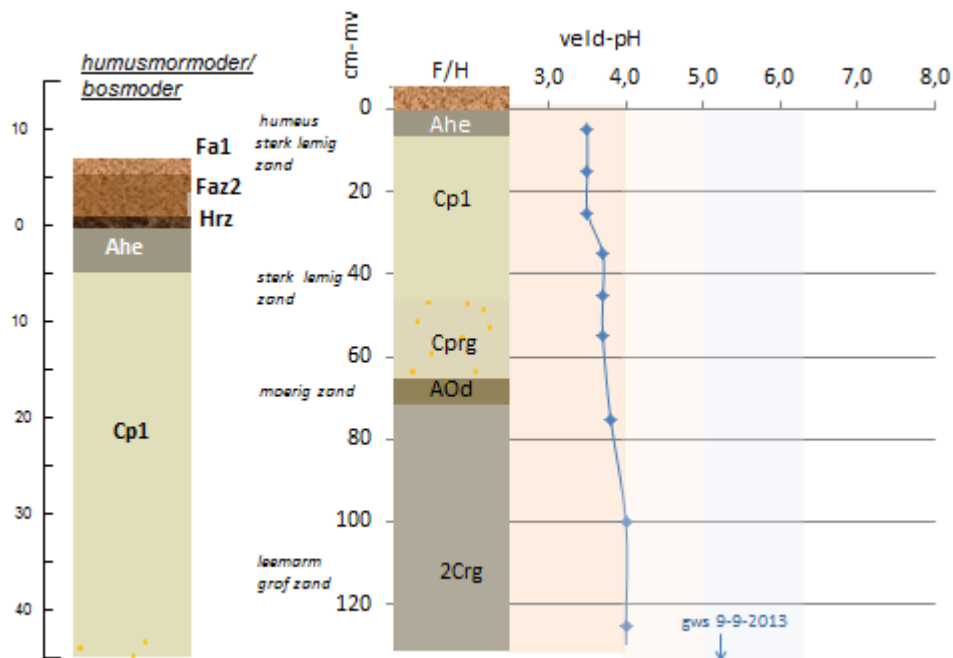
Conclusies

Bodem en de actuele grondwaterstand doen vermoeden dat er weinig in de actuele bossituatie zal veranderen. Het humusprofiel vertoont tekenen van vermodering dat echter naast vernatting kan samenhangen met de sterk lemige bovengrond. Het voorkomen van Vingershoedskruid en Echte guldenroede zal meer samenhangen met de lemige bovengrond en de begrazing in dit deel van het bos.

Proefvlak LB-A

Bodem en humusvorm

Het Leenderbos bestaat uit dekzandvlakten met bodems die grotendeels verstoord zijn door rabattering. Proefvlak A bevindt zich in een dalvormige laagte. De verwerkte bovengrond is hier tot 60 cm zeer sterk lemig (Figuur B2.20). Op 70cm bevindt zich sterk humeuze laag (Cg/AOd). Dit is mogelijk een oude, minerale of een gemineraliseerde moerige, bovengrond. Het is een aanzienlijk vochtiger bodem dan het volgende proefvlak mede door het leemgehalte. De ondergrond bestaat zoals ook andere beekdalen in deze regio uit grof zand. Het grondwaterniveau bevond zich in september onder de 120cm. De grondwatertrap is geschat op III. Het pH-profiel wijst niet op invloed van basenrijker grondwater. De humusvorm is een overgangsvorm van een *Bosmormoder* naar mildere *Bosmoder* (toename biologische activiteit onder invloed van verbeterde vochtvoorziening en of basenvoorziening).



Figuur B2.20: Bodem-, humus- en pH-profiel Leenderbos LB-A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het bodemprofiel is tot dieper dan 60 cm geroerd. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.20: Soil-,humus- and pH profile of LB-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The soil is disturbed to a depth of more then 60 cm. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

In proefvlak A is een Berken-Eikenbos (subassociatie van Pijpenstrootje) aangetroffen. Het aanwezige bos is echter niet erg representatief. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en er zijn verder geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen (vgl. LBB). Mogelijk dat begrazing hier van invloed is. Opmerkelijk is de aanwezigheid van Vingerhoedskruid en Echte guldenroede die beide wijzen op een iets verhoogd nutriëntenaanbod.

Tabel B2.20: Vegetatie Leenderbos A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.20: Vegetation Leenderbos A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag
Quercus robur	d			o
Betula pubescens	o			r
Prunus serotina		D		f
Quercus rubra		R		
Ilex aquifolium			o	
Sorbus aucuparia			o	f
Picea abies			r	
Rhamnus frangula			r	
Molinia caerulea				o
Rubus fruticosus				o
Digitalis purpurea				r
Solidago virgaurea				r

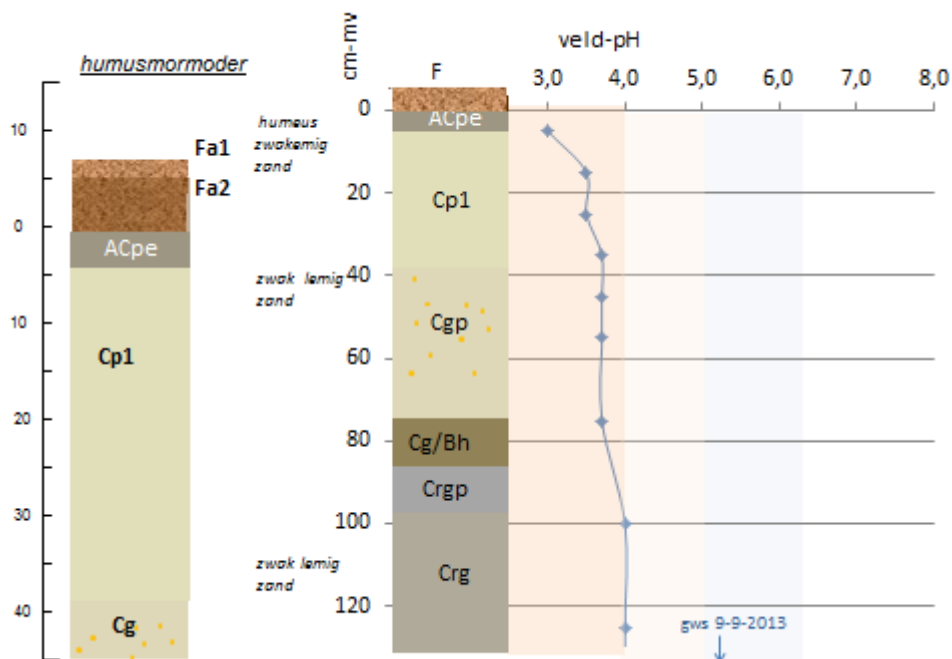
Conclusies

Bodem en de actuele grondwaterstand doen vermoeden dat er weinig in de actuele bossituatie zal veranderen. Het humusprofiel vertoont tekenen van vermodering dat echter naast vernatting kan samenhangen met de sterk lemige bovengrond. Het voorkomen van Vingershoedskruid en Echte guldenroede zal meer samenhangen met de lemige bovengrond en de begrazing in dit deel van het bos.

Proefvlak B

Bodem en humusvorm

Proefvlak B bestaat uit matig fijnzandige leemarme zanden die tot 55 cm diepte verstoord zijn. Op een diepte van 80 cm bevat de verstoorde bodem brokken die humusrijk materiaal bevatten (Cg/Bh). Deze resten wijzen op de aanwezigheid in het verleden van een sterk ontijzerde veldpodzol. De oorspronkelijke horizonten zijn door aanleg van rabatten met elkaar gemengd. De huidige grondwaterstand bevondt zich in september ver onder de 1,2 meter. Het hele pH-profiel bevindt zich in het zure traject. Het humusprofiel is een arme slecht ontwikkelde *humusmormoder* die eerder in een droog arm bos te verwachten is dan in een vochtig bos.



Figuur B2.21: Bodem-, humus- en pH-profiel Leenderbos B. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het bodem profiel is leemarm en zuur en tot dieper dan 80 cm geroerd. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.21: Soil-,humus- and pH profile of LB-B. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The soil is poor on loam with a low pH and is deeply disturbed. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie van proefvlak B behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. Het bos is niet erg representatief voor het vegetatietype. Het aandeel Pijpenstrootje is relatief laag en er zijn verder geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen.

Tabel B2.21: Vegetatie Leenderbos B (abundantie volgens Tansley)

Table B2.21: Vegetation Leenderbos B (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Betula pubescens	d		o		
Picea abies	f		o		
Molinia caerulea				F	
Prunus serotina				R	
Polytrichum fomosum					f
Dicranum scoparium					o
Hypnum jutlandicum					o
Eurynchium striatum					r
Plagiothecium laetum					r

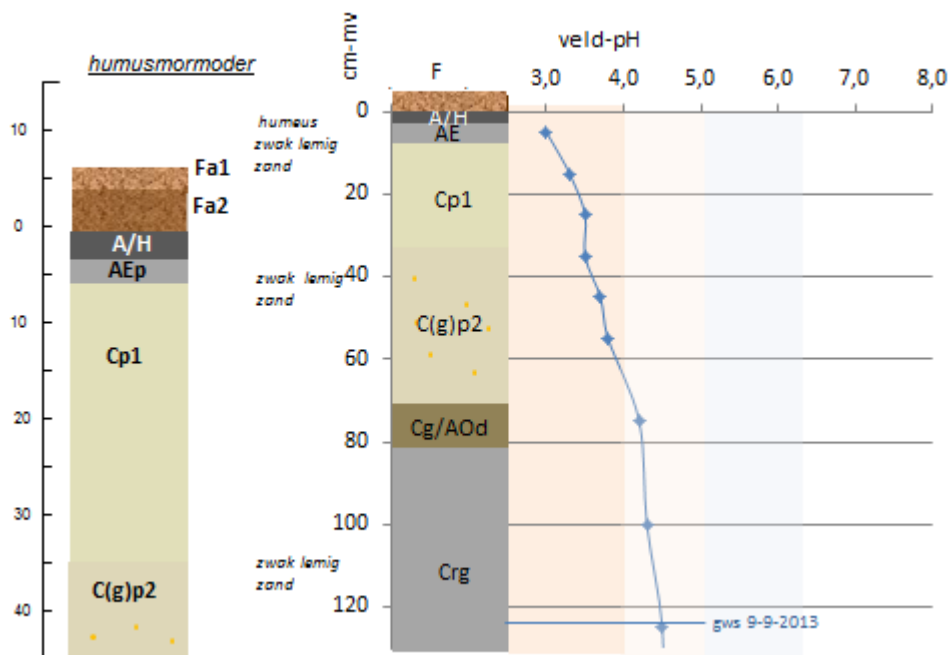
Conclusie

Zowel de abiotische veldkenmerken als de vegetatieontwikkeling wijzen niet op een ontwikkeling naar een vochtig bos maar naar een droger arm bos.

Proefvlak 0

Bodem en humusvorm

Dit proefvlak ligt op de geleidelijke overgang van een dalvormige laagte naar een dekzandvlakte. De bodem is duidelijk lemiger dan proefvlak B maar minder leemrijk als vlak A. Voor het overige lijkt deze bodem sterk op die van proefvlak B, inclusief een humusvorm die veel aangetroffen wordt in arme droge bossen.



Figuur B2.22: Bodem-, humus- en pH-profiel Leenderbos 0. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het profiel is leem arm en zuur, en tot dieper dan 80 cm geroerd. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermeld datum aangegeven.

Figure B2.22: Soil-, humus- and pH profile of LB-B. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The soil is poor on loam with a low pH and is deeply disturbed. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Proefvlak 0 wordt tot de RG Zomereik-Groot laddermos/Fijn snavelmos-[Zomereik-verbond] gerekend. Deze in de Staatsbosbeheer-catalogus vermelde rompgemeenschap is niet opgenomen in De Vegetatie van Nederland. Het gaat om zeer soortenarme bossen die nog de meeste overeenkomst vertonen met het Berken-Eikenbos, maar te slecht ontwikkeld zijn om op associatieniveau te kunnen worden benoemd. Er zijn geen soorten aanwezig die duidelijk op vochtige omstandigheden wijzen.

Tabel B2.22: Vegetatie Leenderbos 0 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.22: Vegetation Leenderbos 0 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Betula pubescens	d		F		
Rhamnus frangula			O		
Picea abies			R	O	
Dryopteris dilata				O	
Ilex aquifolium				O	
Prunus serotina				O	
Quercus robur				O	
Agrostis capillaris				R	
Quercus rubra				R	
Campylopus introflexus					o
Hypnum jutlandicum					o
Kindbergia praelonga					o
Polytrichum formosum					o

Conclusie

Noch de abiotische veldkenmerken noch de vegetatieontwikkeling wijzen op een ontwikkeling naar een vochtig bos.

Weerterbos

Kenschets

Het Weerterbos is een oud bosgebied. Daarvoor was het een moerasgebied omgeven door heide en moeras. Het wordt gekenmerkt door een gecompliceerde bodemopbouw met leemarm en lemig dekzand en lokale veenontwikkeling. Op geringe diepte liggen slecht doorlatende kalkarme leem- en kleilagen waardoor schijngrondwaterspiegels ontstaan. De laagste delen worden tevens gevoerd door regionale kwel. De soortenarme dennenaanplanten die lang in sterke mate het aanzien van het terrein bepaald hebben worden geleidelijk omgevormd naar loofbossen. Op natte delen, in slenken en geïsoleerde laagtes staat relatief zuur berkenbroekbos. Op verschillende locaties in deze laagten worden (zwak gebufferde) vennen hersteld. De verdroging van het Weerterbos wordt veroorzaakt door een zeer dicht net van lossingen die gekoppeld zijn aan hoofdwatervlossingen. Door het Limburgs landschap worden sinds de jaren 90 maatregelen uitgevoerd om het gebied te vernatten maar als gevolg van het versnipperd eigendom verloopt dit proces maar langzaam.

Maatregelen

Een groot deel van de detailontwatering wordt sinds circa 1990 niet meer onderhouden. Hierdoor is het gebied lokaal geleidelijk natter geworden. Recent (2012) zijn een aantal sloten gedempt of afgedamd. Dit is onder meer gebeurd In Den Vloed waar de proefvlakken liggen.

Grondwaterstandwijzigingen

Bij WB-A staat een peilbuis (B57F0207). De meetreeks loopt van 1991 tot heden. Er is een verhoging van de laagste grondwaterstand opgetreden van circa 50 centimeter die omstreeks 1998 begint. De GHG verandert nauwelijks omdat die wordt afgetopt omdat de grondwaterstanden in winter boven maaiveld uitstijgen. De grondwaterstand in de zomer is gestegen van ruim één meter naar circa 60 centimeter diepte.

Proefvlakken

WB-A: Dit proefvlak is gelegen in een rabattenbos in het deelgebied In Den Vloed. Het is een gemengde opstand van berk en eik met een dicht ondergroei van pijpenstrootje. Aanwijzing voor vernatting is het verspreid optreden van sterfte in de boomlaag. In de greppels groeien veenmossen maar dat kan voor de vernatting ook het geval geweest zijn. Op korte afstand van het proefvlak ligt ruigteveldje in het bos met een populatie van spiegeldikkopje.

WB-0: De controleplot ligt in het zelfde bosperceel stroomopwaarts van dam. De opstuwende werking van de dam is hier niet merkbaar in een peilverhoging. De boomlaag is aanmerkelijk vitaler dan in WB-A.

Beschrijving van de standplaatscondities (bodem, humusvorm)

De proefvlakken in het Weerterbos liggen beiden in een vlakte van ten dele verspoeld dekzand. Beide bodems (op de bodemkaart aangegeven als bekeerdgronden maar door verstoring feitelijk vlakvaaggronden) liggen op smalle rabatten en zijn tot een diepte van 40 cm verwerkt. Bij WB-A bevindt zich op 70 cm diepte een stagnerende leemlaag van 30cm dikte met duidelijke hydromorfe vlekking. Deze zone met reductiekleuren weerspiegelt waarschijnlijk de vroegere nattere situatie. De actuele grondwaterstand bevond zich in september onder deze gereduceerde zone. De humusvorm bestaat uit een *humusmormoder* die enige tekenen vertoont van ontwikkeling naar een *humusmoder*. Dit is een aanwijzing van toename van de activiteit van de kleine bodemfauna. Proefvlak WB-0 is aanzienlijk droger dan WB-A. De lemige stagnerende laag en de geschatte actuele grondwaterstand liggen aanzienlijk dieper dan bij A. De humusvorm is goed ontwikkeld (*Bosmormoder*).

Vegetatie

De vegetatie van het Weerterbos A behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. De opname is zeer representatief voor het type. Er zijn geen soorten aanwezig die wijzen op een ontwikkeling naar vochtiger omstandigheden. Proefvlak WB-0 hoort tot een droger type Berken-Eikenbos; subassociatie van Bosbes.

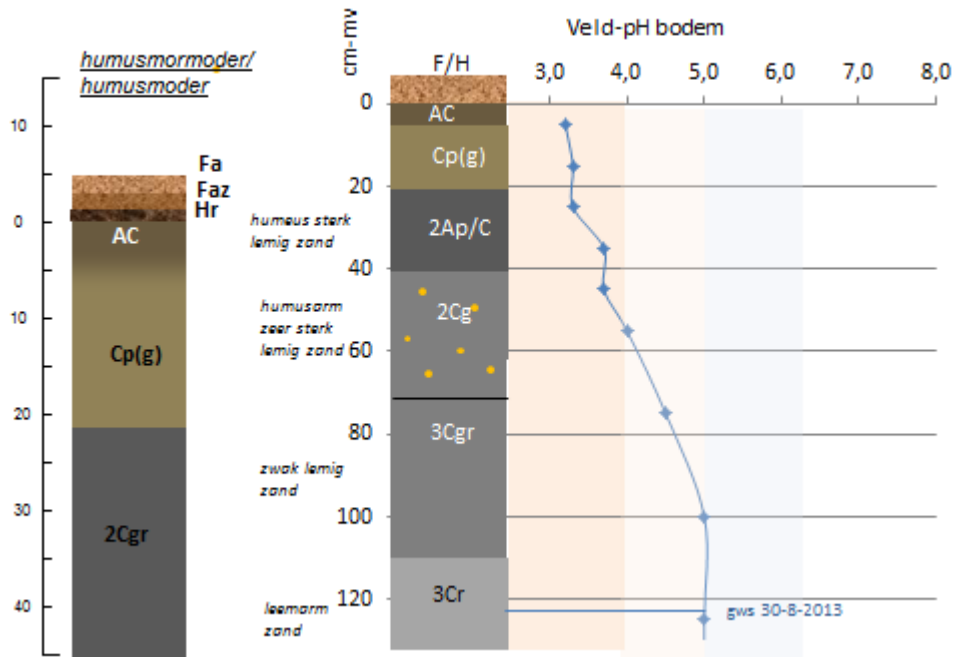
Conclusie

De humusvorming wijst heel voorzichtig in de richting van een vochtiger bos met een betere strooiselomzetting door een toegenomen activiteit van de bodemfauna. De diepe greppels in combinatie met de smalle rabatten spelen een negatieve rol in de vochthuishouding.

Proefvlak WB-A

Bodem en humusvorm

De waarnemingsvlakken in het Weerterbos liggen beiden in een vlakte van ten dele verspoeld dekzand. Beide bodems liggen op smalle rabatten en zijn tot een diepte van 40 cm verwerkt. De oorspronkelijk grondwatertrappen behoorden volgens de bodemkaart tot III maar lijken in de situatie van voor de vernatting eerder tot V of misschien VI behoort te hebben. Vlak A bestaat uit een verwerkte bovengrond van sterk lemig matig fijn zand (Figuur 2.3.1). Op 70 cm diepte bevindt zich een stagnerende leemlaag van 30cm dikte met duidelijke hydromorfe vlekking. De ondergrond lijkt grotendeels gereduceerd en is gevormd in zwak-lemig fijn zand. Deze zone met reductiekleuren weerspiegelt waarschijnlijk de vroegere nattere situatie. De actuele grondwaterstand bevondt zich in september onder deze gereduceerde zone. De humusvorm bestaat uit een *humusmormoder* die enige tekenen vertoont van ontwikkeling naar een *humusmoder*. Dit is een aanwijzing van toename van de activiteit van de kleine bodemfauna.



Figuur B2.23: Bodem-, humus- en pH-profiel Weerterbos A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het licht moderachtige karakter van de half verteerde Faz-laag duidt enigszins op de ontwikkeling van een vochtiger standplaats. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.23: Soil-, humus- and pH profile of WB-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The slightly moder-like character of the half decomposed Faz-layer indicates slight development into a more humid site. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

De vegetatie van het Weerterbos A behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. De opname is zeer representatief voor het type. Er zijn geen soorten aanwezig die een overgang naar een natter bostype indiceren.

Tabel B2.23: Vegetatie Weerterbos A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.23: Vegetation Weerterbos A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)	dode bomen
Quercus robur	d			r		1
Betula pubescens	o	f	f	r		1
Sorbus aucuparia		a	o	r		
Rhamnus frangula		f	f	r		
Molinia caerulea				d		
Vaccinium myrtillus				ld		
Rubus fruticosus				o		
Amelanchier lamarckii				r		
Prunus serotina				s		
Brachytecium rutabulum					f	
Hypnum jutlandicum					r	

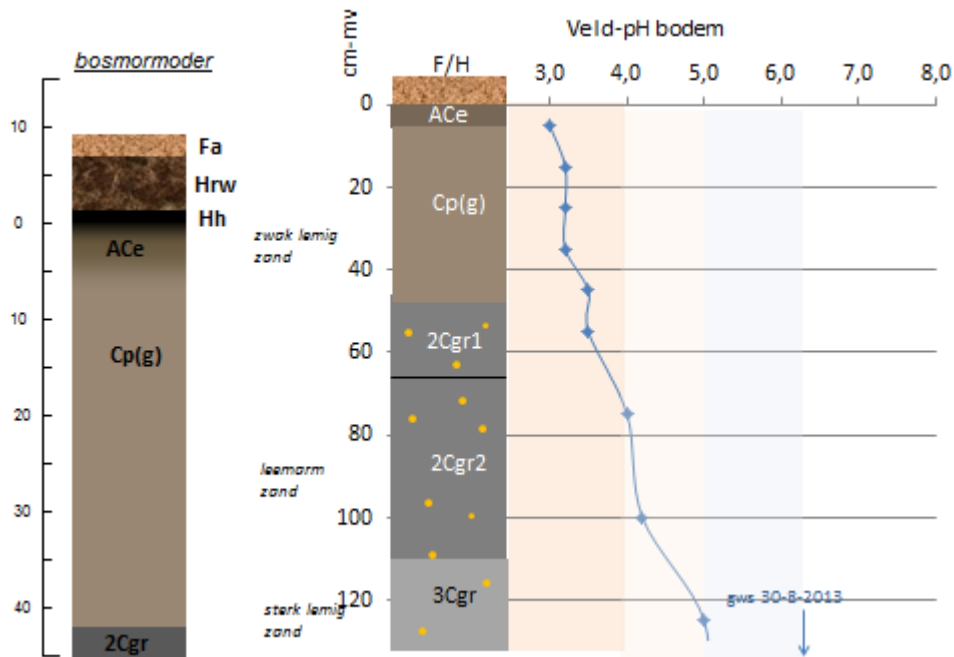
Conclusie

De humusvorming wijst heel voorzichtig in de richting van een vochtiger bos. De vegetatie indiceert echter geen ontwikkeling naar vochtiger omstandigheden. De grondwatertrap lijkt representatief voor een drogere variant van een vochtig bos. Er treedt wel een lichte vorm van stagnatie op, die echter teniet lijkt te worden gedaan door de diepe greppels die de smalle rabatten flankeren.

Proefvlak WB-0

Bodem en humusvorm

Proefvlak 0 is aanzienlijk droger dan punt A. De lemige stagnerende laag en de geschatte actuele grondwaterstand liggen aanzienlijk dieper dan bij A. De bovengrond vertoont tekenen van uitloging; de hydromorfe vlekking bevindt zich echter hoger dan bij het vorige waarnemingspunt. De humusvorm is goed ontwikkeld (*Bosmormoder*) met een zwarte Hhi (amorfe humus met bijmenging van zandkorrels).



Figuur B2.24: Bodem-, humus- en pH-profiel Weerterbos 0. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. Het humus profiel is typisch voor een droog arm bos zonder een hoge activiteit van de bodemfauna. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.24: Soil-,humus- and pH profile of WB-0. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus form shows no signs of a high activity of the soil fauna and is characteristic for a nutrient poor dry forest. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Ook in proefvlak 0 hoort het bos tot het type Berken-Eikenbos; subassociatie van Bosbes. Op grond van de hoge boomlaag is de opname intermediair tussen de Klasse van de naaldbossen en de Klasse van de arme loofbossen. De soortensamenstelling van de tweede boomlaag geeft aan dat de ontwikkeling richting loofbos verloopt. Er zijn geen soorten aanwezig die een overgang naar een natter bostype indiceren.

Tabel B2.24: Vegetatie Weerterbos 0 (abundantie volgens Tansley)

Table B2.24: Vegetation Weerterbos 0 (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Pinus sylvestris	c				
Quercus robur	c	f			
Betula pubescens		r			
Rhamnus frangula		f	f		
Sorbus aucuparia			o		
Vaccinium myrtillus				d	
Molinia caerulea				a	
Amelanchier lamarckii				o	
Hypnum jutlandicum					d
Kindbergia praelonga					f
Brachythecium rutabulum					r
Pleurozium schreberi					r

Conclusie

Zowel humusvorm als vegetatie zijn eerder typerend voor een vrij droog en arm bos dan voor een vochtig bos. De enigszins stagnerende laag zit te diep om duidelijke invloed op de wortelzone te hebben. Net als bij het proefvlak A spelen hier de diepe greppels in combinatie met de smalle rabatten een negatieve rol in de vochthuishouding.

Witteveen

Kenschets

Witte veen is een hoogveenrestant wat gedeeltelijk ontgonnen en bebost is. Het onderzoeksterrein is een 30 ha groot boscomplex in het zuidelijk deel van het natuurreserveaat. Het is jonge heideontginning beplant met naaldhout (Japanse lariks, grove den en fijnspar). Lokaal heeft het bos landgoedkarakter door aanplant van rhododendron en hazelaar. Het gebied is van oorsprong zeer nat door ondiepe slecht doorlatende keileemlagen en tertiaire kleien waarop zich schijnwaterspiegels vormden en hoogveen heeft kunnen ontstaan. Het bosgebied wordt ontwaterd door een sloot die vanaf het hoogveenrestant door het bos naar de Buurserbeek loopt.

Maatregelen

In 1990 is de door het bosgebied lopende hoofdwaterloop gedempt. Afvoer van oppervlaktewater vindt sindsdien over maaiveld plaats. In de laagste delen stagneert water op maaiveld.

Grondwaterstandwijzigingen:

B34F1590 ligt dichtbij de proefvlakken. De meting is echter pas in 2004 gestart. De grondwaterstand stijgt in de winter gedurende enkele maanden tot aan maaiveld en daalt eind zomer tot 80 centimeter onder maaiveld. B34F1518/19 liggen wat verder weg van de proefvlakken maar zijn sinds 1989 opgenomen. De waterstand is na 1990 met 20 a 30 centimeter gestegen. Dit correspondeert met de tijd dat de maatregelen uitgevoerd zijn.

Proefvlakken

WV-A en WV-B liggen in een slenk die sterk vernat is door het dempen van de sloot. WV-B ligt iets hoger op de gradiënt waardoor hier de vernatting minder sterk heeft doorgewerkt. Er is geen geschikte locaties gevonden voor een controlevlak omdat het hele bosgebied evenredig door het dempen van de sloot is beïnvloed.

Standplaatscondities (bodem, humusvorm)

De onderzoekslocatie bestaat uit een vereffeningsrestvlakte met compacte tertiaire leem die grotendeels bedekt zijn met gedeeltelijk verspoeld dekzand. Proefvlak WV-A heeft een sterk stagnerende bodem (Vlakvaaggrond) bestaande uit een 55 cm dikke laag zwak lemig dekzand op een compacte laag tertiaire leem. In natte perioden kan hier het grondwater tot aan het maaiveld staan om na droge perioden in de zomer ver onder de 1,2 meter weg te zakken (Gt V). De humusvorm (*boshydromoder*) wordt duidelijk beïnvloed door het stagnerende water. WV-B bevindt zich op een rabat die bestaat uit deels vergraven dekzand op tertiaire leem. Het grote verschil met A is gelegen in het verschil in diepte van de stagnerende leemlaag (circa 110cm beneden maaiveld). De invloed van de stagnerende laag is zowel wat betreft de bodemkenmerken als de humusvorm niet merkbaar in de bovengrond. In het dekzand heeft zich oorspronkelijk een sterk ontijzerde veldpodzolgrond gevormd. De humusvorm (*ruwmormoder*) vertoont nog geen tekenen van een toename van de vochtinvloed of verhoging van de basenstatus. De humusvorm is vooral beïnvloed door het strooisel van Larix.

Vegetatie

Het huidige bos van WV-A behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. De opname bevat een aantal soorten die min of meer atypisch zijn voor bovengenoemd bostype. De aanwezigheid van Hazelaar en Thujamos wijst op een relatief goede basenhuishouding, het grote aandeel Hennegras in de kruidlaag en de aanwezigheid van Zwarte els in de struiklaag op een overgang (ruimtelijk dan wel temporeel) naar een natter bostype (droger elzenbroekbos). Het proefvlak WV-B behoort tot het Beuken-Eikenbos; subassociatie van Adelaarsvaren. Ondanks het relatief hoge aandeel naaldbomen is dit bos een redelijk representatief voorbeeld van bovenstaand type.

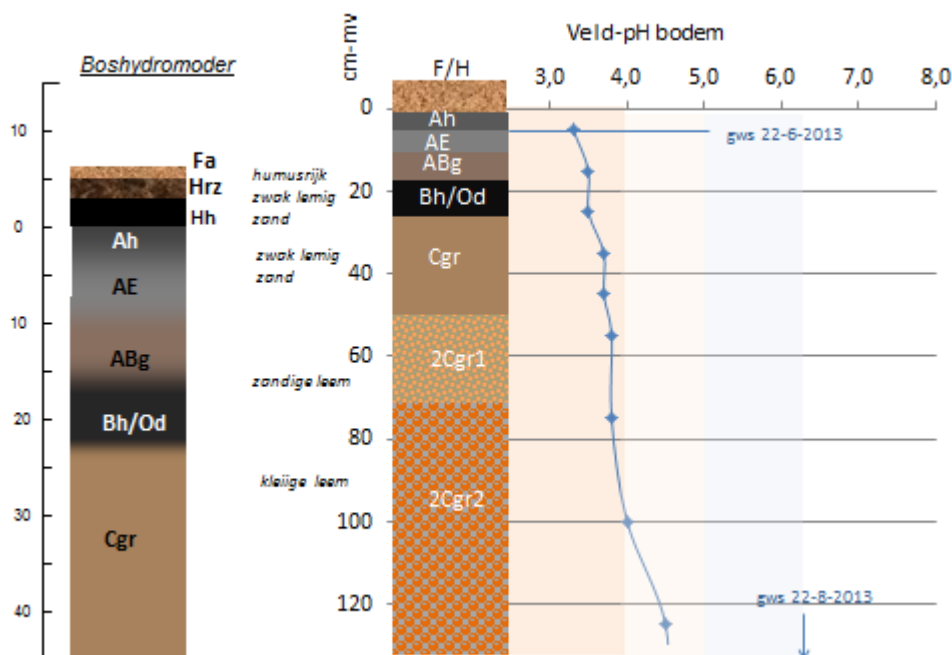
Conclusie

Sommige elementen uit de ondergroei duiden op een niet al te lage basenvoorziening. Dit wordt bevestigd door de aanwezigheid van een moderachtige Hr-horizont. Het pH-profiel bevestigt dit beeld echter niet. De zwak lemig bovengrond is zuur maar blijktbaar wordt er vanuit de zure tertiaire leemlaag voldoende basen nageleverd om wat rijkere soorten een standplaats te bieden.

Proefvlak WV-A

Bodem en humusvorm

De onderzoekslocatie bestaat uit een vereffeningstvlakte met compacte tertiaire lemen die grotendeels bedekt zijn met gedeeltelijk verspoeld dekzand. Proefvlak A heeft een sterk stagnerende bodem bestaande uit een 55 cm dikke laag verspoeld zwak lemig dekzand op een compacte laag tertiaire leem (Figuur 2.2.1). In de minerale bovenlaag heeft zich een uitgeloopte AE-horizont en een zeer zwakke inspoelingshorizont (BC) ontwikkeld. Daaronder bevindt zich een humusrijke zwarte laag, die als een begraven semiterrestrische gliedelaag (Od) en niet als een inspoelingshorizont geïnterpreteerd moet worden. De duidelijk hydromorfe vlekking net boven en in de stugge leemlaag zijn een bevestiging van het sterke stagnerende karakter van de bodem. In natte perioden kan hier het grondwater tot aan het maaiveld staan om na droge perioden in de zomer ver onder de 1,2 meter weg te zakken (Gt V). Het zure, tot matig zure pH-profiel toont aan dat van verrijking van basen vanuit de leemlaag nauwelijks sprake is. Wat dit aspect betreft vertonen de profielen van zowel A als B grote overeenkomst met de meeste keileembodems in Drenthe en Friesland. De humusvorm (*boshydromoder*) wordt duidelijk beïnvloed door het stagnerende water. Van ontwikkelingen naar een hydromull, wat zou wijzen op een vernatting met een duidelijk verbetering van de basenstatus, lijkt hier echter geen sprake.



Figuur B2.25: Bodem-, humus- en pH-profiel Witte Veen A. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. De goed verteerde fijne humuslaag (HrZ) vertoont tekenen van een verhoogde activiteit van de kleinere bodemfauna. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.25: Soil-,humus- and pH profile of WV-A. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The well decomposed HrZ-layer indicates a higher activity of the small soil fauna. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Het huidige bos behoort tot het Berken-Eikenbos; subassociatie van Pijpenstrootje. De opname bevat een aantal soorten die min of meer atypisch zijn voor bovengenoemd bostype. De aanwezigheid van Hazelaar en Thujamos wijst op een relatief goede basenhuishouding, het grote aandeel Hennegras in de kruidlaag en de aanwezigheid van Zwarte els in de struiklaag op een overgang (ruimtelijk dan wel temporeel) naar een natter bostype (droger elzenbroekbos).

Tabel B2.26: Vegetatie Witte Veen A (abundantie volgens Tansley)

Table B2.26: Vegetation Witte Veen A (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)	dode bomen
Quercus robur	d					
Betula pubescens	o					o
Pseudotsuga menziesii	o					
Rhamnus frangula			d			
Sorbus aucuparia			o			
Alnus glutinosa			r			o
Amelanchier lamarckii			r			
Coryllus avellana			r			
Calamagrostis canescens				lf		
Dryopteris dilatata				o		
Molinia caerulea				o		
Rubus fruticosus				o		
Rubus ideaus				o		
Kindbergia praelonga					o	
Polytrichum formosum					o	
Thuidium tamariscinum					o	

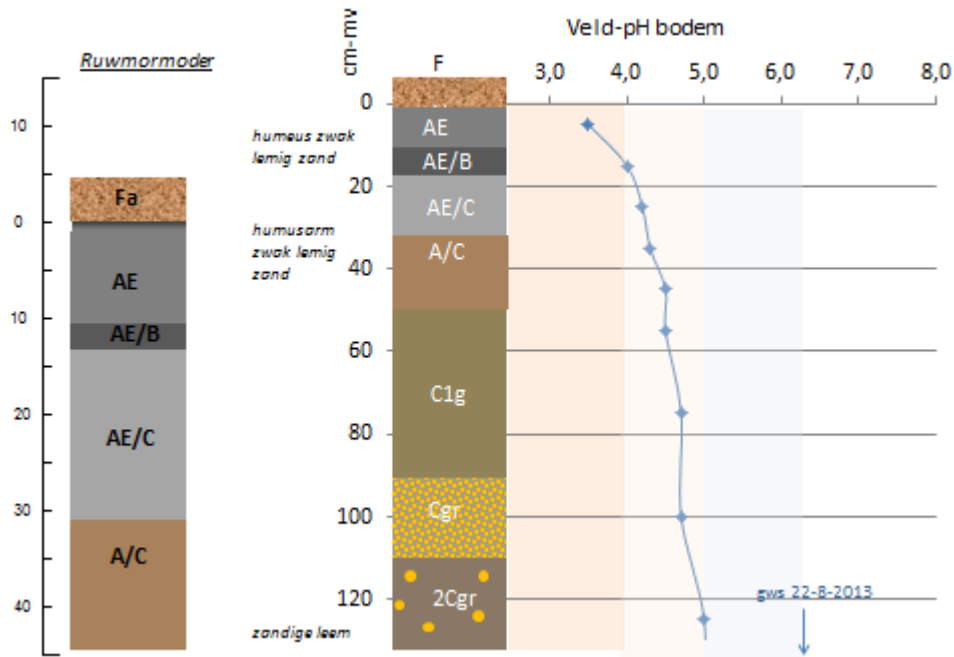
Conclusie

Zowel de grondwaterniveaus als de bodem wijzen op een sterk stagnerende standplaats, gekenmerkt door een afwisseling van hoge (schijn)grondwaterstanden en zeer diepe grondwaterniveaus in droge perioden. Deze fluctuaties zijn typisch voor vochtige keileem- en oude kleibossen. Sommige elementen uit de ondergroei duiden op een niet al te lage basenvoorziening. Dit wordt bevestigd door de aanwezigheid van een moderachtige Hr-horizont. Het pH-profiel bevestigt dit beeld echter niet. De zwak lemig bovengrond is zuur maar blijikbaar wordt er vanuit de zure tertiaire leemlaag voldoende basen nageleverd om wat rijkere soorten een standplaats te bieden. Aan de (natte) rand van het proefvlak verschijnt een enkele broekbosachtige soort. Het valt echter te bezien of vernatting leidt tot de vorming van een "echt" broekbos (hooguit een "vedroogde" vorm).

Proefvlak WV-B

Bodem en humusvorm

Dit vlak bevindt zich op een rabat die bestaat uit deels vergraven dekzand op tertiaire leem. Grote verschil met A is gelegen in het verschil in diepte van de stagnerende leemlaag (circa 110cm beneden maaiveld; zie Figuur 2.2.2). De invloed van de stagnerende laag is zowel wat betreft de bodemkenmerken als de humusvorm niet merkbaar in de bovengrond. In het dekzand heeft zich oorspronkelijk een sterk ontijzerde veldpodzolgrond ontwikkeld die tot op een diepte van een halve meter vergraven is. Restanten van de oorspronkelijk uitlogings- en inspoelings-horizont (resp. AE en Bh-horizont) zijn in het profiel duidelijk te herkennen (AE/B). Net boven de stagnerende leemlaag is het zwak lemige dekzandprofiel sterk gevlekt (hydromorfe vlekking). De humusvorm (*ruwmormoder*) vertoont nog geen tekenen van een toename van de vochtinvloed of verhoging van de basenstatus. De humusvorm is vooral beïnvloed door het strooisel van Lariks.



Figuur B2.26: Bodem-, humus- en pH-profiel Witte Veen B. Links de humusprofiel, rechts respectievelijk het bodemprofiel en het pH-profiel. De aard van de humus duidt noch op vernatting noch op verhoging van de basen status. Met de afkorting "gws" is de actuele grondwaterstand op de vermelde datum aangegeven.

Figure B2.26: Soil-, humus- and pH profile of WV-B. On the left the humus profile, on the right respectively the soil- and the pH-profile. The humus form does not indicate more humid circumstances nor a raised level of base saturation. The abbreviation "gws" stands for the actual groundwater level at the indicated date.

Vegetatie

Het proefvlak B behoort tot het Beuken-Eikenbos; subassociatie van Adelaarsvaren. Ondanks het relatief hoge aandeel naaldbomen is dit bos een redelijk representatief voorbeeld van bovenstaand type. Er zijn geen soorten aanwezig die een overgang naar een natter bostype indiceren.

Tabel B2.26: Vegetatie Witte Veen B (abundantie volgens Tansley)

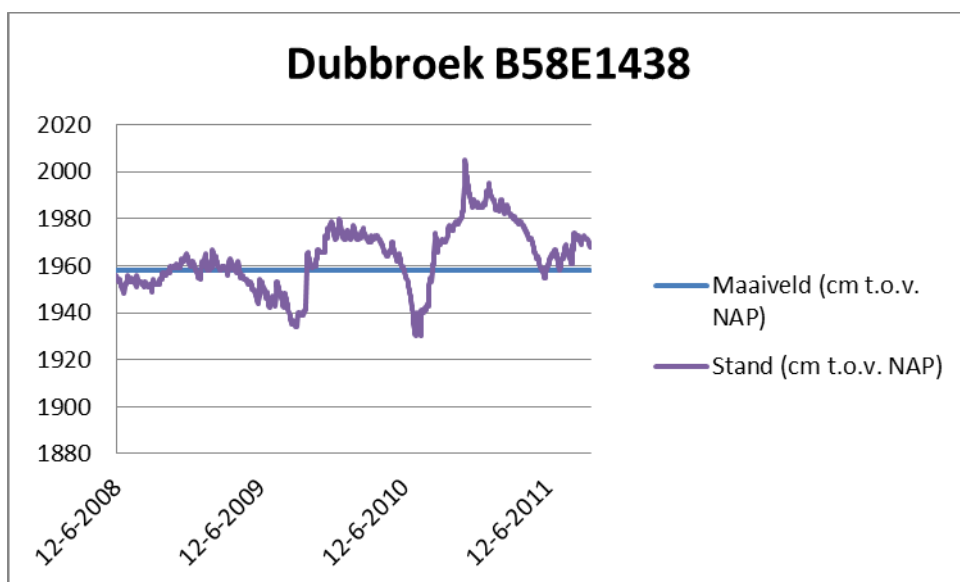
Table B2.26: Vegetation Witte Veen B (abundance according to Tansley)

	boomlaag (hoog)	boomlaag (laag)	struiklaag	kruidlaag	moslaag (terr.)
Quercus robur	A				
Pseudotsuga menziesii	F				
Betula pubescens	O				
Larix kaempferi	O				
Picea alba	O				
Ilex aquifolium			o	o	
Sorbus aucuparia			o	o	
Coryllus avellana			r		
Rhamnus frangula			r		
Pteridium aquilinum				d	
Dryopteris dilatata				f	
Molinia caerulea				o	
Amelanchier lamarckii				r	
Prunus serotina				r	
Dicranum scoparium					o
Hypnum jutlandicum					o

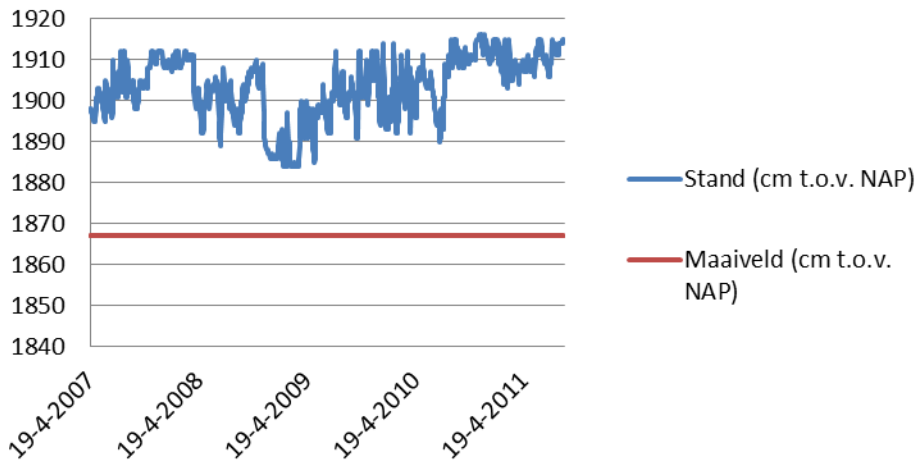
Conclusie

Zowel de humusvorm als de vegetatie de humusvorm wijzen in de richting van een vochtig bos. Blijkbaar zit de stagnerende leemlaag te diep om het basenarme stagnatie water lang genoeg in de wortelzone van de kruidvegetatie te houden. Van enige basenverrijking van uit het stagnerende water lijkt geen sprake. De situatie is vergelijkbaar met veel drogere arme keileembossen in o.a. Drenthe.

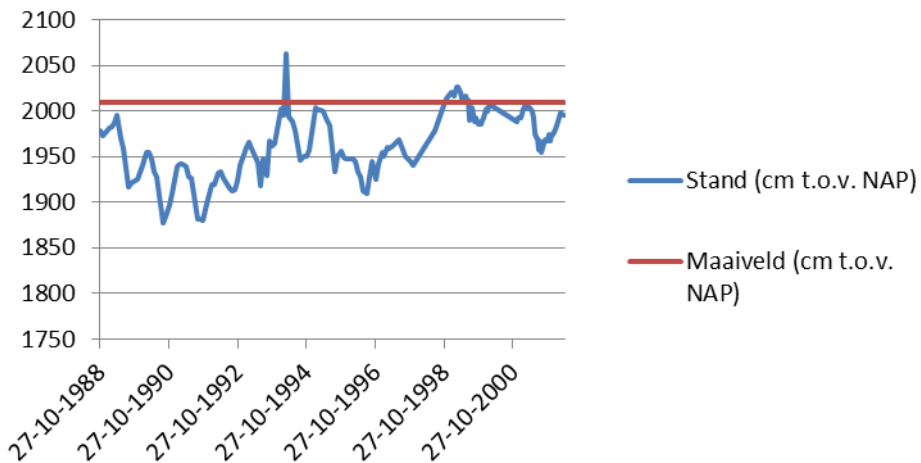
Bijlage 3. Peilbuisgegevens

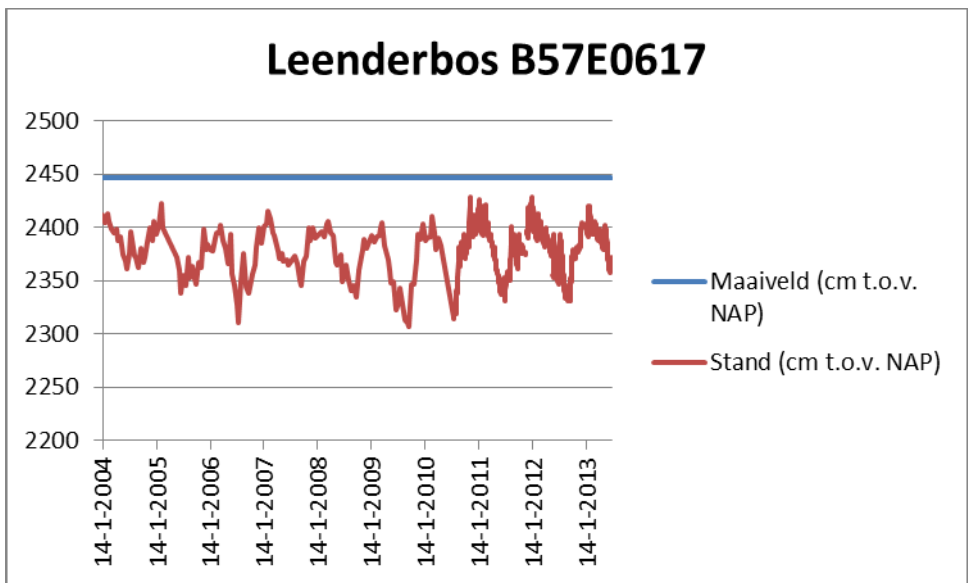
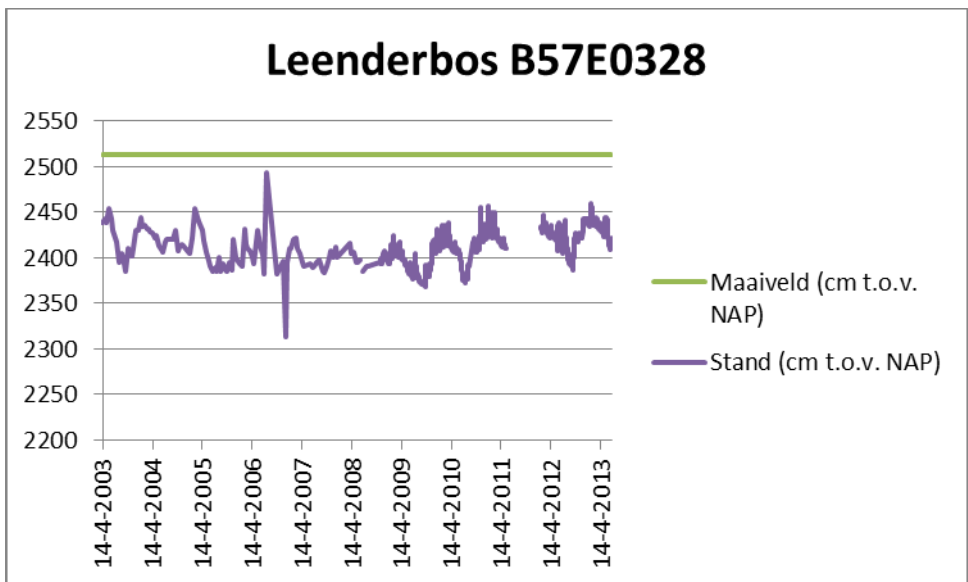
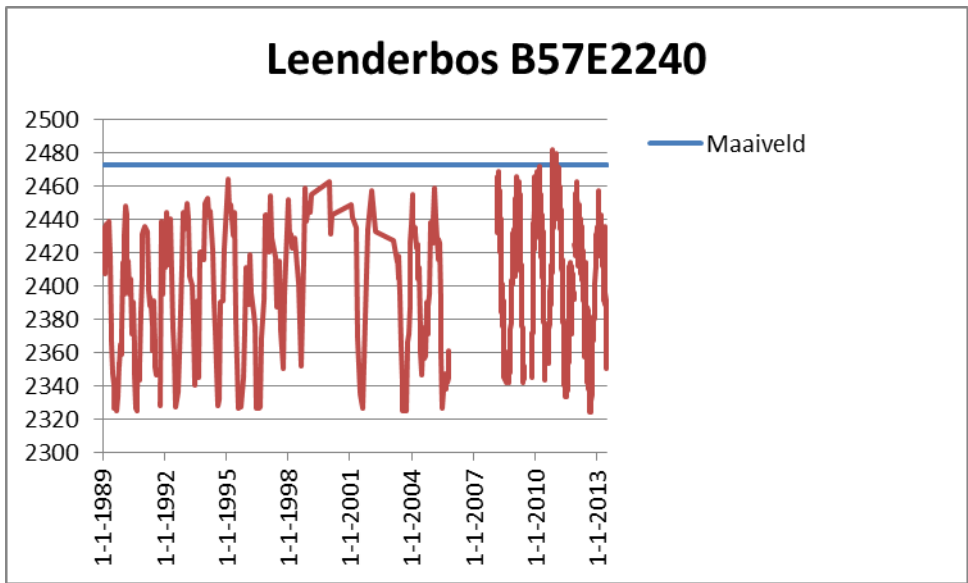


Koelbroek B52G2982001

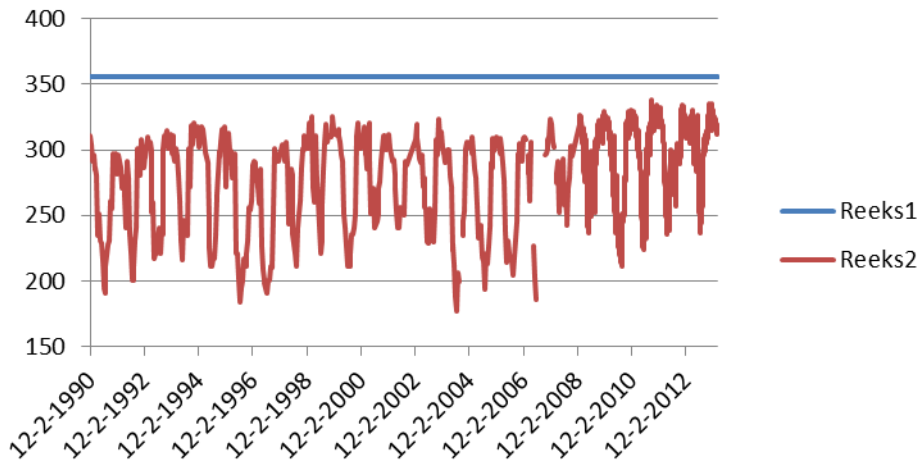


Koelbroek B52G1315

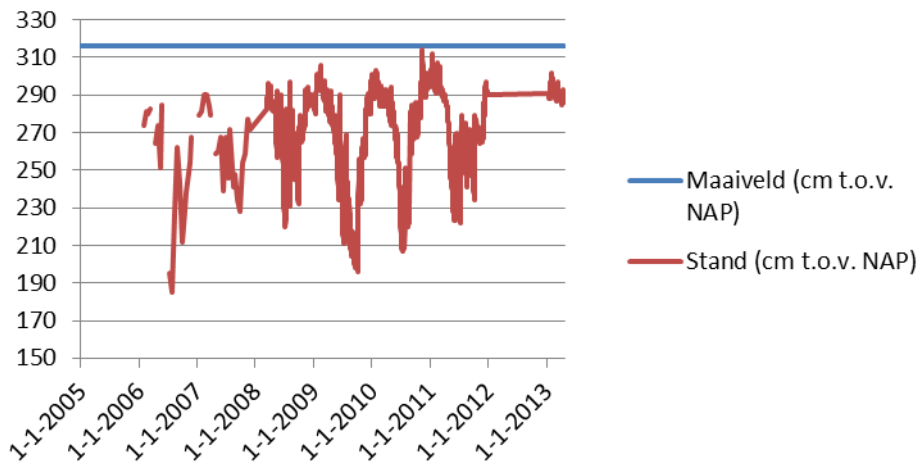




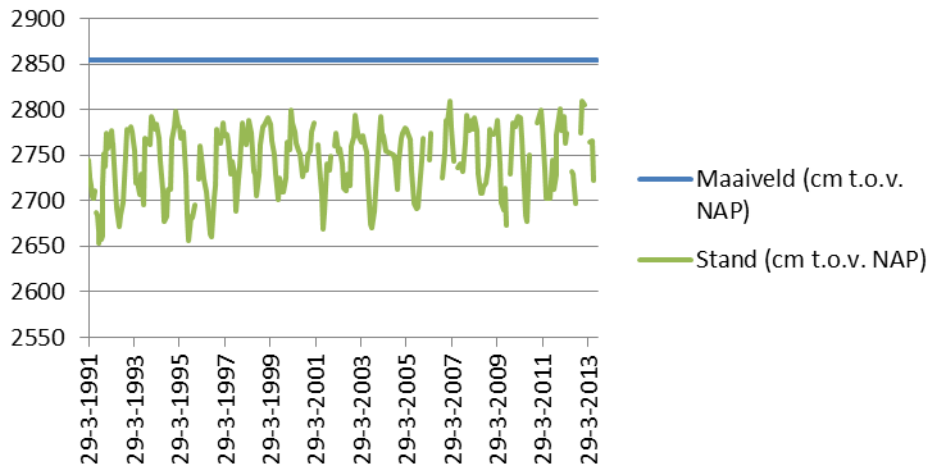
Ulvenhoutse bos B50B0545



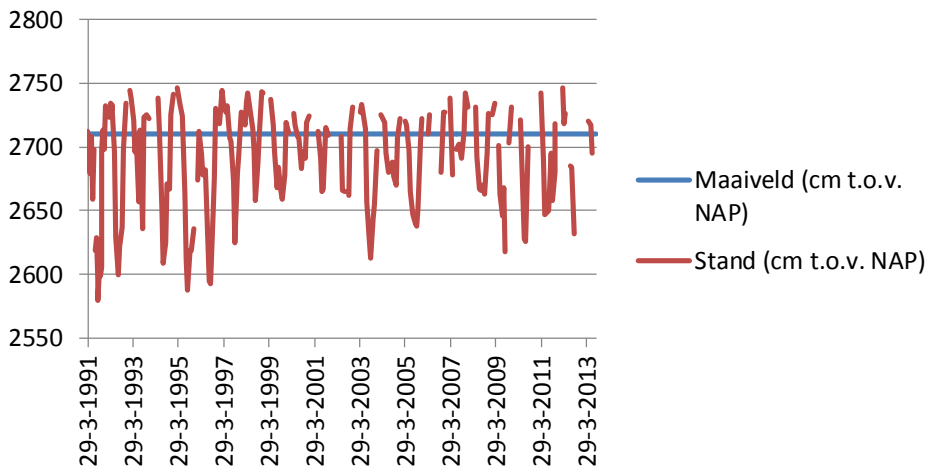
Ulvenhoutse bos B50B0561



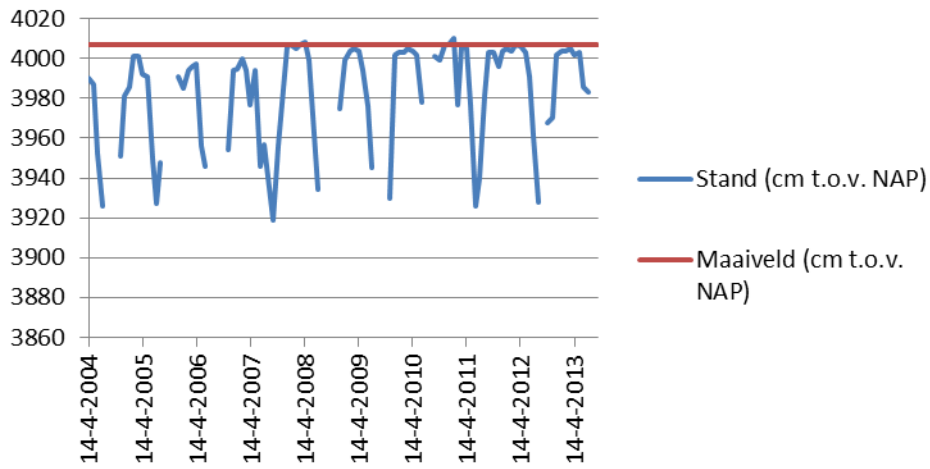
Weerterbos B57F0213



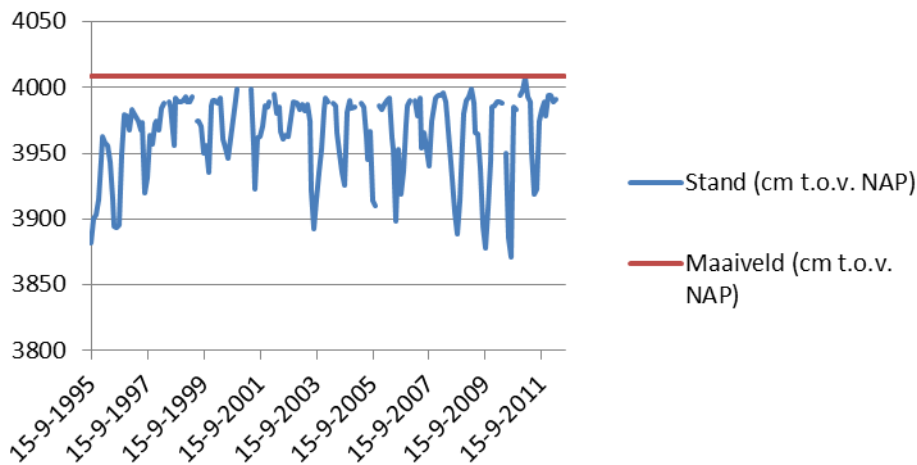
Weerterbos B57F0207



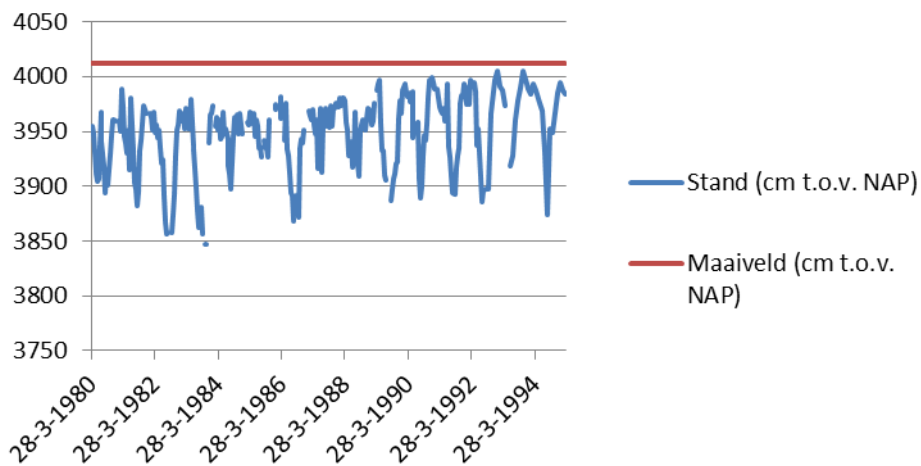
Witte veen B34F1590



Witte veen B34F1519



Witteveen B34F1518

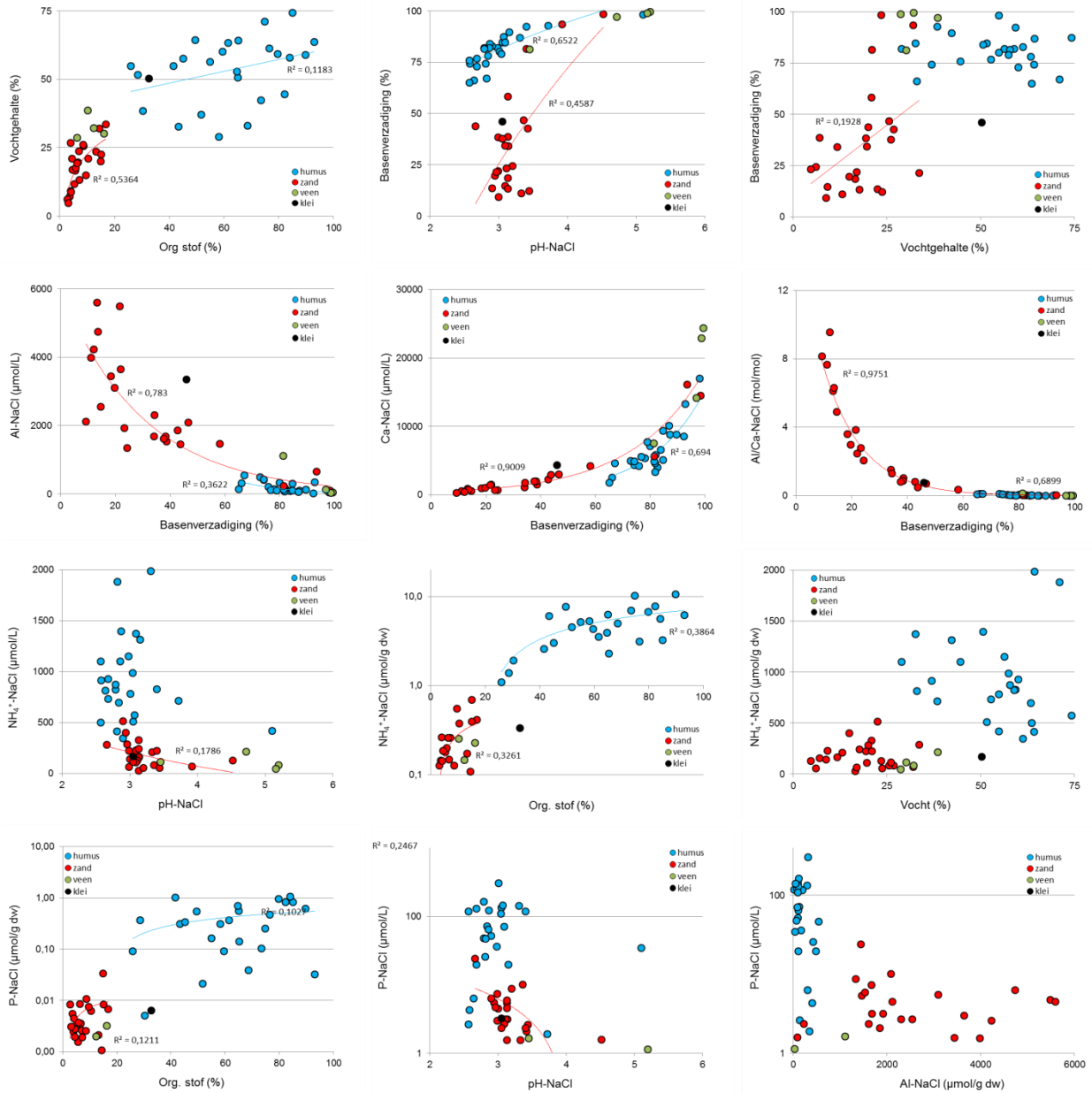


Bijlage 5. Correlaties tussen bodemchemische factoren

Correlaties tussen verschillende bodemparameters binnen één bodemtype, waarbij de verschillende bodemtypen inzichtelijk zijn gemaakt met verschillende symbolen, zijn gegeven in figuur 1. Uit deze figuur blijkt dat de het vochtgehalte van de minerale laag positief correleert met het organisch stofgehalte van de zandlaag. Verder blijkt dat verzuring een rol speelt in vochtige bossen. Zowel voor de humuslaag als de onderliggende zandlaag is een positieve correlatie tussen de pH-NaCl en de basenverzadiging. Bij een lagere basenverzadiging is er meer Al en minder Ca aan het bodemcomplex gebonden. Dit is met name het geval in de zandbodem. Tevens is er positieve correlatie tussen het organisch stofgehalte en de concentratie NH_4^+ die gebonden is aan het bodemcomplex. Met name in de humuslaag zit veel NH_4^+ gebonden. Verder is er een negatieve correlatie tussen de pH-NaCl en de concentratie NH_4^+ die gebonden is in de zandlaag. De positieve correlatie tussen het organisch stofgehalte en de concentratie P die gebonden is aan het bodemcomplex is minder sterk. Met name in de humuslaag is relatief veel P gebonden. Wellicht spelen hier ook andere processen een rol, bijvoorbeeld de mobilisatie van P uit Al-P complexen onder invloed van een lage pH.

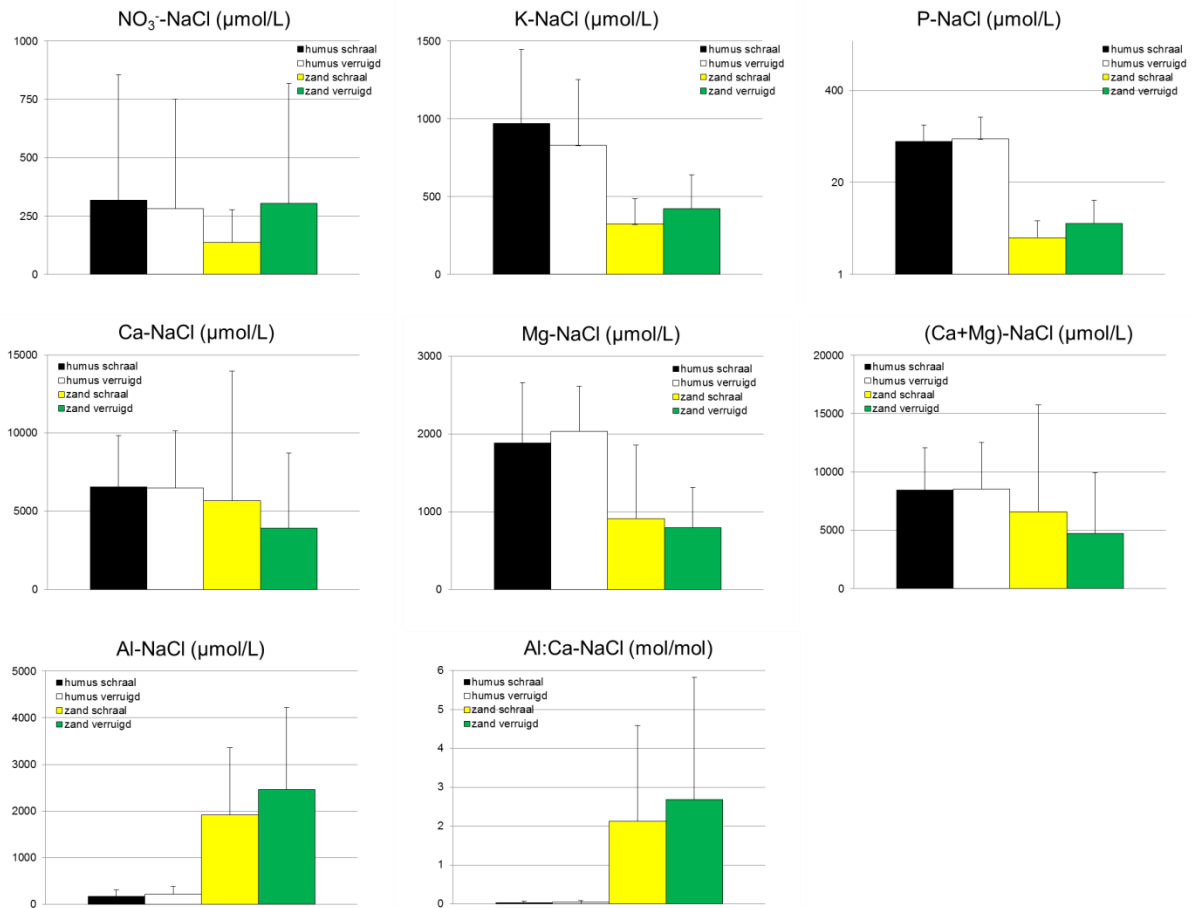
Staafdiagrammen van parameters die op het oog verschilden tussen verruigde en niet verruigde locaties, zijn zowel voor de humuslaag als de zandlaag inzichtelijk gemaakt in figuur 2. Hierbij is zowel de gemiddelde waarde als de standaarddeviatie gegeven als maat voor de spreiding. Uit de figuur blijkt dat er aan de humuslaag meer K, P en Mg gebonden is dan aan de zandlaag. Daarentegen is er minder Al gebonden. De hoeveelheid N en Ca die gebonden is komt ongeveer met elkaar overeen. Het bodemcomplex van de zandlaag van verruigde locaties lijkt veel rijker te zijn aan NO_3^- . Het verschil met andere nutriënten (K en P) lijkt beperkter. Verder heeft de verruigde zandlaag ook maar zeer beperkt lagere concentraties aan de bodem gebonden Ca en Mg. Anderzijds is ook de concentratie gebonden Al slechts zeer beperkt lager. Het lijkt er dus op dat nitraat een belangrijke rol speelt in de verruiging van vochtige bossen.

Staafdiagrammen van parameters die op het oog verschilden tussen locaties waar wel en geen hydrologische maatregelen getroffen zijn, zijn zowel voor de humuslaag als de zandlaag inzichtelijk gemaakt in figuur 3. Hieruit blijkt dat het bodemcomplex van locaties waar hydrologische maatregelen getroffen zijn een betere bezetting van basen heeft (o.a. K, Ca, Mg). Anderzijds bevat deze minder Al. De concentratie P die gebonden is aan het bodemcomplex verschilt niet tussen locaties waar wel en geen hydrologische maatregelen getroffen zijn. Echter, het bodemcomplex van locaties waar hydrologische maatregelen getroffen zijn was wel rijker bezet met K en NO_3^- . Aangezien NO_3^- verruiging in de hand lijkt te werken (figuur 2) is het van belang te achterhalen of en zo ja hoe vernatting leidt tot hogere nitraatgehalten aan het bodemcomplex.



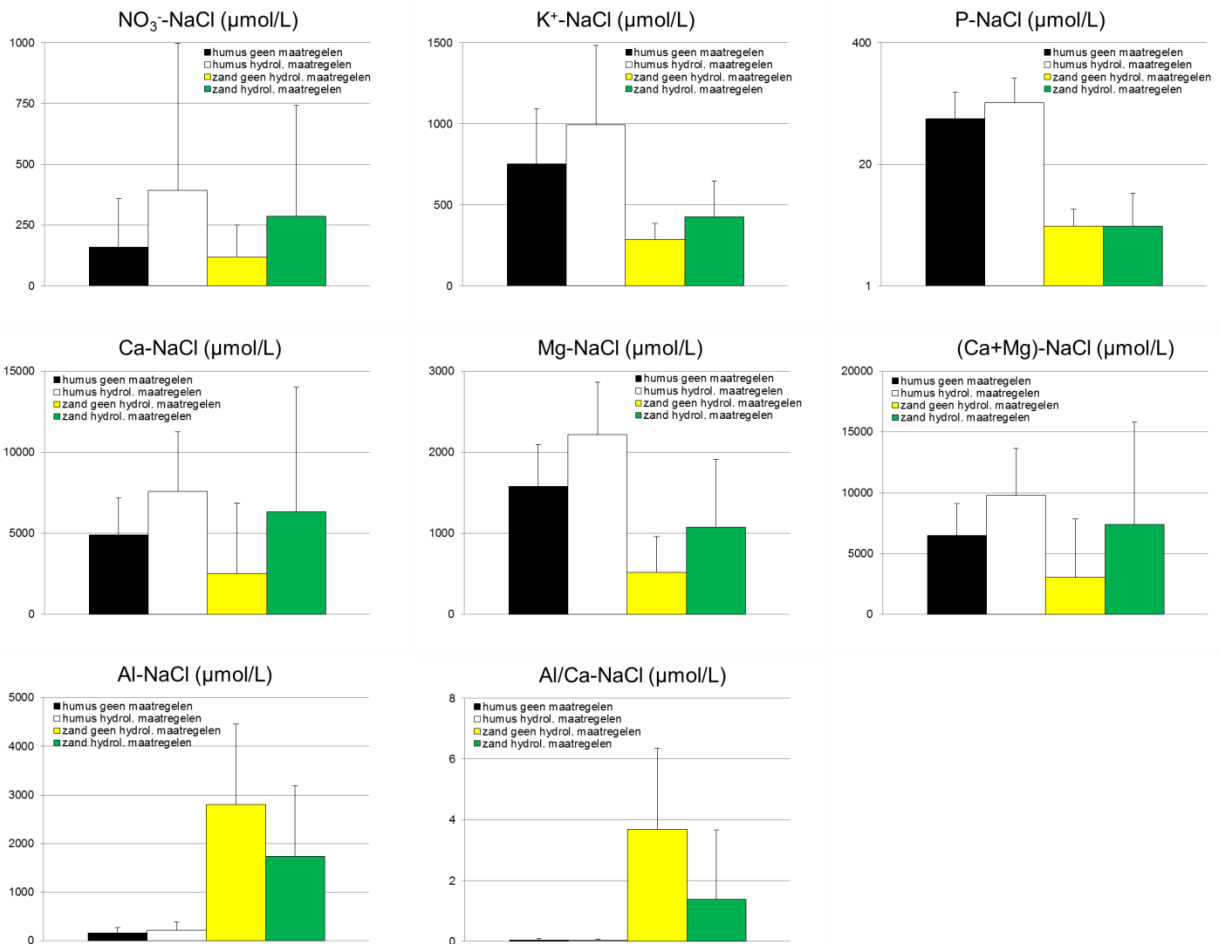
Figuur B5.1: Correlatie tussen bodemparameters binnen één textuurtype. Verschillende textuurtypen zijn gegeven met verschillende symbolen. Indien geen R^2 waarde is gegeven is er geen of een zeer zwakke correlatie ($R^2 < 1$) binnen dat textuurtype.

Figure B 5.1: correlation between soil parameters within a single texture type. Different texture types are marked with different symbols. If no R^2 value is given, there is no or a very weak correlation ($R^2 < 1$) within that texture type.



Figuur B5.2: Staafdiagrammen van parameters die op het oog verschilden tussen verruigde en niet verruigde locaties voor zowel de humuslaag als de zandlaag zijn gegeven. Gemiddelde waarden en standaard deviatie zijn gegeven. Overige gemeten parameters (zie materiaal en methoden) toonden geen trend.

Figure B 5.2: Bar charts of parameters that differed in roughness of the vegetation for both the humus layer as the sand layer. Mean values and standard deviation are given. Other measured parameters (see materials and methods) showed no trend.



Figuur B5.3: Staafdiagrammen van parameters die op het oog verschilden tussen locaties waar wel en geen hydrologische maatregelen getroffen zijn. Data van zowel de humuslaag als de zandlaag zijn gegeven. Gemiddelde waarden en standaard deviatie zijn gegeven. Overige gemeten parameters (zie materiaal en methoden) toonden geen trend.

Figure B 5.3: Bar charts of parameters that differed between waterlogged en not waterlogged locations for both the humus layer as the sand layer. Mean values and standard deviation are given. Other measured parameters (see materials and methods) showed no trend.

Bijlage 6. Waargenomen paddenstoelen in de bestudeerde plots

0 = alleen aan de rand van plots waargenomen. * = alleen in greppels waargenomen. 1 = 1-9 vruchtlichamen. 2 = 10-99 vruchtlichamen. 3 = 100-999 vruchtlichamen.

	DB-A	DB-B	GH-01	GH-01	GH-03	GH-04	GH-A	GH-B	GH-C	KB-1	KB-2	LB-0	LB-A	LB-B	LH-1	LH-2	LH-2a	UB-01	UB-02	UB-A	UB-A2	UZ-01	UZ-02	UZ-A	UZ-B	WB-0	WB-A	WB-1	WB-2	
Agaricus comtulus																1								1						
Alnicola bohemica																						1		1	1					
Alnicola escharoides	2														2*						3			1		3				
Alnicola salicis																								1						
Alnicola scolecina	3																									3			0	
Amanita citrina															0															
Amanita fulva								0				1			1	2	1										1*	1	2	
Amanita muscaria															0															
Amanita rubescens			1											0	1								1							
Asterophora spp.		1																						1						
Auriscalpium vulgare								1																						
Baeospora myosura				1				1																						
Boletinus cavipes						1																								
Boletus badius				1	0							0		1		1							1						1	
Boletus parasiticus																													0	
Ciboria batschyana													2							1				1						
Clavaria falcata																										1				
Clavulina cristata	2								1*												2			0		1				
Clitocybe albofragrans																												1		
Clitocybe candicans																1														
Clitocybe clavipes				1																							1			
Clitocybe diatreta sl.				2																										
Clitocybe gibba											1																			
Clitocybe metachroa																											1	1	1	
Clitocybe spec.									1	2																				
Clitocybe vibecina					1							1		2		1											3	1		
Collybia amanitae							2	1	1			1																		
Collybia butyracea		1				1								1	2	1					2							1	1	
Collybia cookei																										2				
Collybia dryophila												1			1	2	1							1					1	
Collybia peronata																		1												
Coprinus spec.																1														
Cordyceps ophioglossoides												1		2																
Cortinarius "groep32"																													1	
Cortinarius anomalus		2														1				1	1	0					1	1		
Cortinarius bibulus sl.	1														1*														0	
Cortinarius casimiri																				2	1	1	1							
Cortinarius cf erythrinus																1														
Cortinarius paleaceus																1												1		
Cortinarius saniosus																														
Cortinarius uliginosus																														
Crepidotus variabilis s.l.														1													1		1	
Cystolepiota seminuda																							0							
Elaphomyces granulatus												1		1																
Entoloma conferendum									1							1											1		1	
Entoloma euchroum																1														
Entoloma sericatum/nidorosum																2*								0	2					
Entoloma sordidulum																										3				
Galerina hypnorum/calyprata			1		1		1	1	2				1	1									1	1				2		
Galerina stylifera			1			1		1								1														
Galerina vittaeformis				1				1	1												1							1		
Geoglossum spec.																1														
Hebeloma birrus								1																						
Hebeloma mesophaeum																													1	
Hebeloma pusillum	1																										1			
Hebeloma velutipes																												1	2	
Helvella lacunosa																	1													
Helvella macropus																	1													
Hygrophoropsis aurantiaca			1	2	0		2	1																					1	
Inocybe geophylla																														
Inocybe lanuginosa																								1					1	
Inocybe napipes			1		1				1				1																	
Inocybe rimosa																					1									
Inocybe sindonia																												1		
Inocybe squarrosa																									1	1				
Laccaria amethystina			1		1				0													0	1					2		
Laccaria laccata	1							2*	1*			1	1	1	2	2	1				3	1	2	1	1	2	1*	1	2	1*
Laccaria proxima					2			2	2																	1	1	1		
Laccaria tortilis																1*														
Lacrymaria lacrymabunda																										2				
Lactarius aspideus																														
Lactarius glyciosmus						1																								

	DB-A	DB-B	GH-01	GH-02	GH-03	GH-04	GH-A	GH-B	GH-C	KB-1	KB-2	LB-0	LB-A	LB-B	LH-1	LH-2	LH-2a	UB-01	UB-02	UB-A	UB-A2	UZ-01	UZ-02	UZ-A	UZ-B	WB-0	WB-A	WW-1	WW-2	
Lactarius helvus																													0	
Lactarius hepaticus			1	1	0	1	1	1																		1*				
Lactarius necator							0		0																		1			
Lactarius obscuratus	1																				1									
Lactarius quietus					1		1	1				1	1	1					1		1			1	1	1		1	0	
Lactarius rufus							2																							
Lactarius theiogalus			2		1		1	1	2			2	1	2	2	2			3	1	1	1	1	2			1	1	2	1
Lamprospora crec'hqueraultii																									2					
Leccinium scabrum sl.												1		1		2											1	1		
Leotia lubrica																2*											2		1*	
Lycoperdon foetidum															1															
Macrotyphula juncea									2			1																		
Marasmiellus tricolor																									1					
Marasmiellus vaillantii															1	1					2									
Marasmius androsaceus			1	0	1		3	2						1																
Marasmius bulliardii																				1										
Marasmius quercophilus												2																		
Marasmius ramealis										1																				
Marasmius rotula																									1					
Marasmius setosus														1										1					1	
Megacollybia platyphylla					1					1																			1	1
Melanoleuca melaleuca																	1													
Mycena abramsii?															1															
Mycena acicula	1															1*									1					
Mycena adscendens	1													0			1							1	1	1*				
Mycena amicta				1			0																							
Mycena cinerella			2	1	2	2		2	2					2												2	1			
Mycena epipterygia				1			1							1												2				
Mycena fuscopurpurea							1																							
Mycena galopus			2	2	2	1	2	2	1	1		1	1	2	1	1			1				2	2		2	1	2		
Mycena metata (incl. filopes)				1			1	1	1																					
Mycena polyadelfa					1																				2					
Mycena pura															1	2	2											2		
Mycena rorida			1			1		2	1			1	1	1								1				1	1			
Mycena sanguinolenta			1													2														
Mycena smithiana					1				2																1					
Mycena speirea	2																								1	2	1*		1	
Mycena stylobates																1														
Mycena vitilis	1			2	1		1	1					1	2	1	1					2		2	2	1	1	1	2	2	1
Otidea onotica	1																													
Paecilomyces farinosus	1											0*	1		1			1	1					1					1	
Paxillus involutus		1		1	1							2		1		1			1				1	1				0	1	0
Peziza michelii																	1													
Pluteus atricapillus																1						1								
Poculum firmum								1																						1
Psathyrella artemisiae								1						1		1														1
Psilocybe aeruginosa																														1
Psilocybe cf. fimetaria													1																	
Psilocybe elongata							1*		1*																		1*			
Psilocybe subericea	1																								1					1
Psilocybe uda									1*		0*																			
Rickenella fibula				2	1		2	1	1							2				1		1					1	2	2	
Russula betularum									1			1		1		1							1	0			1	1	1	
Russula claroflava												0*				2														
Russula densifolia																			1					1		1				
Russula emetica			1				2	1	1						1															
Russula fragilis															1								1							0
Russula nigricans		1																												
Russula nitida															1															
Russula ochroleuca			2	1	0		0	1	0			1	1	1		1							1	0			1			
Russula paludosa							1																							
Russula parazurea																				1										
Russula undulata								1													1									0
Russula velenovski																1	1													
Russula vesca																														0
Scleroderma areolatum											1								1		1									
Scleroderma citrinum					1			1	1		1		1		2	2		0	1		1							2	1	
Suillus bovinus																											3			
Suillus grevillei							2																							
Tephroclype ambusta								1																						
Tephroclype tylicolor							1									1														
Thelephora terrestris																1*														
Uromyces																1														
Typhula erythropus																						1			2	2				
Typhula phacorrhiza															1										1	1				
Typhula setipes														1											1	1				