

Bossen van de keileemgronden

Bossen van de keileemgronden

Betekenis van stagnerend grondwater voor de ontwikkeling van humusprofiel en vegetatie

R.W. de Waal

R.J. Bijlsma

Alterra-rapport 804

Alterra, Wageningen, 2003

REFERAAT

Waal, R.W. de en R.J. Bijlsma, 2003. *Bossen van de keileemgronden; Beteknis van stagnerend grondwater voor de ontwikkeling van humusprofiel en vegetatie*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 804. 68 blz.; 22 fig.; 4 tab.; 37 ref.

De keileembossen behoren tot de soortenrijkste bossen in Nederland. Aan de hand van eigenschappen van de humusprofielen, het grondwater en de vegetatie en hun onderlinge relaties zijn drie keileembossen beschreven: Smoddebos, Grevenmaat en Achter de Voort. Het grondwater is voor het grootste gedeelte niet afkomstig van grote kwelsystemen maar bestaat uit door het keileem aangerijkt regenwater. De drie keileembossen verschillen in soortensamenstelling, en in mate van verdroging en in mesoreliëf. In het Smoddebos en de Grevenmaat is de gradiënt gebonden aan de terreinelling en het voorkomen van greppels. In Achter de Voort zijn de gradiënten te vinden op de overgang van de eilandjes naar de slenken. Deze eilandstructuur zo blijkt in vergelijking met buitenlandse referentiebeelden typerend te zijn voor min of meer natuurlijke keileembossen.

Trefwoorden: Humusontwikkeling, vegetatie, humusprofielen, grondwater, keileem, stagnatie, basenverzadiging

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 804. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Beschrijving referentieplekken veldonderzoek	13
2.1 Smoddebos	13
2.2 Grevenmaat	15
2.3 Achter de Voort	17
3 Werkwijze	19
3.1 Watermonsters en waterkwaliteit	19
3.2 Bemonstering bodem en humus	20
3.3 Vegetatiegegevens	21
4 Resultaten veldonderzoek	23
4.1 Waterkwaliteit	23
4.2 Grondwaterstanden	28
4.3 Humusprofielen	28
4.4 Bosstructuur en vegetatie	34
4.5 Groeivorm vaatplanten	41
4.6 Patronen	42
4.7 Humus en vegetatie	45
5 Grenswaarden van bodemchemie en humusprofiel	51
6 Aandachtspunten voor beheer en regionaal beleid	55
6.1 Het belang van het mesoreliëf	55
6.2 Het belang van verticale heterogeniteit van het humusprofiel	56
6.3 Het belang van seizoensdynamiek van grondwater	58
Literatuur	59

Woord vooraf

Er rustte geen zegen op het onderzoek naar “humusvorm en vegetatieontwikkeling onder invloed van verdroging en verandering in waterkwaliteit in bosccosystemen”. In 2001 waren de rugzakken al gepakt toen mondenklauwzeer het landelijk gebied trof. Ter preventie werden de meeste natuurgebieden gesloten voor alle be- en onderzoekers. Ook de drie onderzoeksobjecten van dit project waren in het voorjaar verboden terrein voor veldonderzoekers. De door een groot aantal soorten voorjaarsbloeiërs gekenmerkte vegetaties maakten onderzoek later dat jaar onmogelijk. Ook watermonsters van het grondwater in het begin van de groeiperiode moesten een jaar later genomen en geanalyseerd worden.

Voordat echter in 2002 de uitwerking en rapportage goed op gang gekomen was werd de projectleider langdurig ziek en hervatte pas in het voorjaar 2003 zijn werkzaamheden. Hoewel het enthousiasme voor het onderzoeksonderwerp bleef, was het langdurige uitstel van de rapportage niet bevorderend voor een efficiënte uitvoering van het project. Het onderzoeksteam dankt programmaleider Kees Hendriks en de leden van de begeleidingscommissie dan ook voor hun vertrouwen en geduld.

Peter Mekking heeft het bodemkundig veldwerk uitgevoerd. Hij beschreef de humusprofielen en nam bodem- en watermonsters. Annemieke Ouwehand heeft de vegetatie en de bosstructuur opgenomen en deze gegevens beschikbaar gemaakt voor analyse. Rolf Kemmers heeft samen met Peter Mekking, deels op basis van de voor dit onderzoek benodigde gegevens, deels op basis van speciaal verzamelde gegevens een analyse gemaakt van de nutriëntenhuishouding in de transecten van het Smoddebos (Alterra-rapport 739). Peter Jansen heeft de grondwateranalyses geïnterpreteerd op grond van de herkomst. De analyses werden uitgevoerd door *Giesen & Geurts Biologische projecten*. Dank gaat ook uit naar de medewerkers van Staatsbosbeheer, Stichting Landschap Overijssel en Natuurmonumenten voor hun enthousiaste medewerking.

Samenvatting

Bossen met stagnerend grondwater op keileemgronden in Nederland behoren tot de bossen met de soortenrijkste ondergroei in ons land. Binnen kleine oppervlakken zijn aansprekende soorten als Eenbes, Slanke sleutelbloem, Dalkruid, Witte klaverzuring, Muskuskruid, Heelkruid, Boszegge, Grote muur, Gele Dovenetel, Bosanemoon en Salomonszegel te vinden. Ook uit waarneming in Denemarken en Duitsland blijken de keileembossen tot de soortenrijkste bossen te behoren. Ondanks deze soortenrijkdom is nog maar weinig onderzoek gedaan naar de relatie tussen abiotiek en vegetatiesamenstelling in deze boscosecosystemen. In dit rapport is aan de hand van veldgegevens en chemische analyses uit drie keileembossen in Twente meer over deze relatieduidelijk geworden. Hierbij is informatie ontleend aan enkele vegetatietransecten, de boshistorie, het humusprofiel, het grondwater, de samenstelling van de vegetatie en de wortelstrategie van enkele kenmerkende soorten. Van de drie onderzochte bossen zijn het Smoddebos en Achter de Voort bosreservaten. Het Smoddebos en de Grevenmaat zijn in het verleden in gebruik geweest als vloeiveide.

De drie bossen worden gekenmerkt door de aanwezigheid van stugge, slecht doorlatende keileembodems waarin het grondwater gedurende lange tijd van het jaar tot boven of net onder het maaiveld stagneert en in de droge periode verwegzakt in het bodemprofiel. Het stagnerende water bestaat grotendeels uit door de keileem aangerijkt regenwater en deels uit van regionale kwelsystemen afkomstig grondwater en door landbouw beïnvloed water. Het is daarbij opvallend dat de waterkwaliteit van het door keileem aangerijkt regenwater op enkele plekken grote overeenkomst vertoont met het lithocliene water uit regionale kwelsystemen. Plaatselijk speelt echter de oxidatie van pyriet (door verdroging) en landbouwwater grote rol (delen van Grevenmaat en Achter de Voort) en wijkt het water wat meer af van het lithocliene type. In het Smoddebos is de buffering van het bodemwater het grootst op de laagst gelegen plek en in de van een rabattensysteem deel uitmakende greppels. Daar zijn ook soorten als Gulden boterbloem en Slanke sleutelbloem aan te treffen. In de Grevenmaat is alleen in sommige greppels voldoende nalevering van het matig basenrijke bodemvocht. In Achter de Voort is een meer natuurlijk mesoreliëf van eilandjes en slenken aangetroffen. De goed gebufferde zones komen vooral in de slenken en op de flanken van de eilandjes voor. Opvallend is de samenhang tussen humusontwikkeling, de vegetatiesamenstelling en de invloed van het stagnerende bodemwater. In het Smoddebos gaat in het laagste gedeelte de rijke soortensamenstelling samen met het voorkomen van endorganische (inwendige) mull-achtige humusprofielen. In het hoger gelegen drogere en zuurdere deel van het transect zijn humusprofielen met een dikke ectorganische laag ontstaan. Ze zijn van het modertype waarop alleen humus- en zuurtolerante soorten als Witte klaverzuring en Dalkruid voorkomen. In de Grevenmaat, een zuurder en droger keileembos, is een vergelijkbare maar soortenarmere gradiënt te vinden. Bijzonder is daar het effect van de boomsoort in het lage gedeelte op humus- en vegetatieontwikkeling. Onder Iep is een dunne kruimige minerale bovenlaag gevormd (zure Hydromull) onder

invloed van het rijke, snel verteerbare, voor de macrobodemfauna aantrekkelijke strooisel. De kruidlaag bestaat hier uit Muskuskruid, Witte klaverzuring en Grote muur. Enkele meters verderop onder Eik en Haagbeuk is het strooisel minder verteerbaar en heeft zich een dunne ectorganische humuslaag gevormd (Hydromoder). In de iets zuurdere omstandigheden verdwijnen Muskuskruid en Grote muur uit de kruidlaag.

Het fraaiste voorbeeld van een gradiëntrijk keileembos is te vinden in Achter de Voort. Op enkele meters afstand van elkaar liggen daar drie verschillend ecosystemen bij elkaar. Midden op het hoogste gedeelte van de eilandjes bij de stam van de Zomereik ligt een wereld van Kamperfoelie, Dalkruid, Witte klaverzuring en Salomonszegel met dikke ectorganische humusprofielen (Holtzeromoder). Op de flank van de eilandjes op de overgangen naar de meestentijds natte slenken is de soortenrijke wereld te vinden van Eenbes, Slanke sleutelbloem, Heelkruid, etc. Gedurende een groot deel van het groeiseizoen heersen hier vochtige, goed gebufferde omstandigheden, die zich kenmerken door goed verterende humusprofielen. Hier wordt geen tot nauwelijks een permanente strooisellaag aangetroffen (humusprofielen variërend van ecto-wormmull tot hydromull). In de slenken zijn de omstandigheden meestentijds zo nat dat soorten als Moeraszegge en Dotterbloem domineren. De humusprofielen bestaan hier uit hydromulls met een dun moerig dek. De eilandenstructuur die Achter de Voort kenmerkt, wordt ook in de voorbeelden van keileembossen in Denemarken en Duitsland aangetroffen.

In het rapport zijn op grond van bodemchemische analyses de gradiënten binnen de keileembossen beschreven in termen van o.a. pH, calciumverzadiging, C/P- en H/Ca verhoudingen. Met behulp van deze parameters en de humusprofielen zijn grenswaarden bepaald voor de belangrijkste soorten van het keileembos. Uit deze analyse blijken Slanke sleutelbloem en Gulden Boterbloem de meest enge marge aan de basenrijke kant van de gradiënt te vertonen. Ectorganische humusprofielen en deze soorten sluiten elkaar uit. Aan de arme kant van de gradiënt blijkt Dalkruid alleen daar voor te komen waar dikke humusprofielen tot ontwikkeld zijn gekomen. Soorten als Witte Klaverzuring en Gele Dovenetel en in minder mate Grote muur hebben een veel grotere amplitudo. Het opvallende daarbij is dat Witte klaverzuring ectorganisch strooisel op prijs stelt en de andere twee soorten een voorkeur hebben voor de afwezigheid van ectorganische humusprofielen. Het gedrag van de verschillende soorten ten opzichte van de humusvormen lijkt veel te maken hebben met de bewortelingsstrategie van de soorten. Zo blijkt Witte klaverzuring bij voorkeur in de de strooisellaag te wortelen en Gele dovenetel het liefst in de minerale bovengrond wortelt.

Het rapport eindigt met het aangeven van het belang van de bijzondere bodem- en humusprofiel eigenschappen en ruimtelijke patronen voor het beheer van de stagnerende keileembossen.

1 Inleiding

In het onderzoek naar het functioneren van boscosecosystemen gaat steeds meer belangstelling uit naar de rol van het humusprofiel. De intermediaire rol van het humusprofiel ten opzichte van bodem en vegetatie maken deze geschikt als indicator voor tal van processen in boscosecosystemen. Ook binnen het onderzoeksprogramma van Bosreservaten wordt meer aandacht besteed aan de dynamische rol van de humus. Daarbij gaat het niet langer meer om pure inventarisatie van het humusprofiel maar om onderzoek naar specifieke relaties tussen humus en bosvegetatie. In 2001 verscheen de resultaten van het eerste onderzoek in dit kader naar de “Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems” (De Waal et al. 2001). In dit onderzoek wordt de aandacht gericht op de rol van de humus in grondwatergevoede bossen. Over deze rol is weinig bekend. In het kader het Boscosecosystemenproject is het een-en-ander over humus in grondwatergevoede beekdalen gepubliceerd (Stortelder et al. 1997). In de reeks OBN onderzoeken is aandacht besteed aan het de humusontwikkeling in bronbossen in het Springendal (De Waal et al. 1999).

Over een derde type grondwatergevoed bos, dat van stagnerende natte keileembossen, is nog niets gepubliceerd. Hoewel in de meeste natte keileembossen het grondwater niet afkomstig is van grote regionale grondwatersystemen, zoals bij bronbossen en kwelkrijke beekdalen, gaat het toch om grondwatergevoede bossen vanwege de grote overeenkomsten in kwaliteit en functie van het grondwater. Enkele zeer interessante voorbeelden van deze bossen zijn opgenomen in het bosreservatenprogramma namelijk het Smoddebos bij Losser en Achter de Voort bij Ootmarsum. Als derde onderzoeksobject is de Grevenmaat bij De Lutte toegevoegd, die overigens geen bosreservaatstatus bezit. Deze bossen kenmerken zich door een grote diversiteit aan ondergroei en een groot aantal beschermde soorten. Zij zijn in Nederland optimale voorbeelden van een nat type boscosestroom dat kenmerkend is voor een groot deel van ons land (o.a. Drenthe, Twente en de oostelijke Achterhoek). Ook buiten ons land is dit type bos regelmatig aan te treffen (o.a. Benthimer Wald in Duitsland en Draved Skov in Denemarken). Verscheidene bijzondere soorten gaan in aantal achteruit in de natte keileembossen (Bijv. Slanke sleutelbloem in het Smoddebos en Achter de Voort). Deze systemen zijn veelal klein en geïsoleerd en daarom gevoelig voor lokale ingrepen, in negatieve en positieve zin. Dat betekent dat ingrijpen door beheerders een optie is. Hiervoor is kennis van het boscosestroom op beheersniveau des te belangrijker.

In dit rapport is een korte beschrijving opgenomen van de onderzochte terreinen waarbij vooral de beheersgeschiedenis onder de aandacht wordt gebracht. Vervolgens worden de inventarisatie van de terreinen beschreven met als belangrijkste elementen de vegetatie en de humusprofielontwikkeling geplaatst in een hydrologische context. Speciale aandacht wordt besteed aan het micro- en mesoreliëf van de terreinen en de gevolgen hiervan voor vegetatie en humusontwikkeling. Bewortelingseigenschappen van enkel kenmerkende plantensoorten voor de keileembossen worden kort

beschreven. In hoofdstuk 4 wordt afgesloten met een paragraaf over de relatie tussen humusvorming en de vegetatieontwikkeling in de drie gebieden. Er worden in hoofdstuk 5 bodemchemische grenswaarden gepresenteerd voor de belangrijkste kenmerkende plantensoorten van de keileembossen. In het afsluitende hoofdstuk worden beschreven wat de uitkomsten van dit onderzoek betekenen voor het beheer van keileembossen.

2 Beschrijving referentieplekken veldonderzoek

Er zijn drie kleine boscomplexen op stagnerende keileemgronden geselecteerd, namelijk het Smoddebos, de Grevenmaat en Achter de Voort. Deze onderzoekslocaties liggen in Twente. Het Smoddebos en een groot deel van Achter de Voort zijn bosreservaten.

2.1 Smoddebos

Het Smoddebos is een klein terrein in de buurt van Losser. Het 5 hectare beslaande bosgedeelte is in het bezit en beheer van de Stichting Landschap Overijssel. Het is gelegen in een flauw hellende komvormige flank van de stuwwal van Oldenzaal. De stuwwal is ter plaatse opgebouwd uit keileem en tertiaire klei met een in dikte wisselende laag dekzand. Het natte en vochtige bos dat hier het onderzoeksobject vormt, is de kern van het Smoddebos. Het vochtige bos helt licht van het zuidwesten naar het noordoosten. In het lage noordoostelijke gedeelte ligt de keileem vrijwel aan de oppervlakte. Ten zuidwesten van de kern is de keileem bedekt met sterk lemig zandlaag die antropogeen verstoord is. Mogelijk is dit deel in het verleden bezand en in de periode daarna door een combinatie van bodembewerking (mogelijk ten behoeve van de aanleg van eikenbos) en biologische activiteit gehomogeniseerd. Het antropogene dek is wat grauwer van kleur en zandiger dan de bovengrond in het vroegst beboste deel van het Smoddebos. Bovendien bevat de bodem hier en daar wat artefacten zoals baksteenresten. De oude kern is aan twee zijden omgeven door ondiepe oude beeklopen (waarschijnlijk restanten van een bevoeiingssysteem). Beekwater speelt al lange tijd geen rol meer in de hydrologie van de natte boskern. Door de stagnerende werking van de ondiepe leemlagen is een geïsoleerd lokaal hydrologisch systeem ontstaan waarin de kwaliteit van het geaccumuleerde regenwater in belangrijke mate bepaald wordt door de eigenschappen van de keileem. Door regionale of intermediaire hydrologische systemen gevoede bronnen zoals plaatselijk in de stuwwal van Ootmarsum is hier nergens sprake. De seizoensmatige fluctuaties in waterbeschikbaarheid van dit lokale systeem zijn dan ook zeer groot. Door de hele boskern is een rabattensysteem met greppels aangelegd.

Het bos behoort overwegend tot het type Eiken-Haagbeukenbos. Het oudste deel (kadastrale kaart 1832) bestaat uit een wal met hakhout in de noordwestrand van het huidige bos. Langs de Snoeijinksbeek in de noordrand van het huidige reservaat ligt een perceel opgaand bos. De wal begrenst twee percelen weiland die bevoeid zijn geweest. De omwalde vloeiweide is al te vinden op de Hottingerkaart uit 1783 (figuur 1). Wal en weilandpercelen zijn in 1832 omgeven door heide (Bakker & Van Tweel-Groot 1998), waarschijnlijk heide met opslag of struiken. In 1850 (Topografische en Militaire Kaart: TMK) zijn zowel het kleinste weilandperceel als de direct aangrenzende heidepercelen omgezet in bos. Een groot perceel grenzend aan de zuidrand van dit bos (in 1832 heide) wordt aangeduid als heide met hakhout of



Figuur 1. Smoddebos zichtbaar (aangeduid met kruis) als omwalde vloeiveide op de Hottingerkaart 1783 (uit Versfelt, 2003)

bomen. Rond 1920 (Bonnekaart) is ook het grootste weilandperceel omgezet in bos en is een brede strook voormalige heide ten oosten van de kern ontgonnen tot bos met een flink aandeel naaldhout. De Snoeijinksbeek is niet als waterloop gekarteerd maar aangegeven als een brede moerassige strook (figuur 2). In de westrand van het

huidige reservaat loopt een (onverharde) weg die nog steeds herkenbaar is in het reservaat. De huidige Veldmatenweg dateert van na 1920.

De kernvlakte van het bosreservaat ligt in het voormalige perceel weiland dat als eerste is ontgonnen (tussen 1832 en 1850). Dit deel en het aangrenzende bos richting Snoeijinksbeek zijn rijk aan bijzondere bosplanten, met o.a. Bosanemoon, Boswederik, Boszegge, Gele dovenetel (de zeldzame ondersoort galeobdolon), Heelkruid, Muskuskruid, Ruige veldbies, Schaafstro en Slanke sleutelbloem. In het rond 1900 beboste weilandperceel zijn deze soorten (nog) niet aanwezig. De kruidlaag bestaat hier vooral uit Witte klaverzuring, Grote muur en pleksgewijs Dalkruid. Zie Bakker & Van Tweel-Groot (1998) en Van Dort & Clerkx (2003) voor meer informatie m.b.t. historie en vegetatie.



Figuur 2. Smoddebos op de Bonnekaart van omstreeks 1920. De Snoeijinksbeek is als moerassige laagte aangegeven (uit Wieberink 1990)

2.2 Grevenmaat

De Grevenmaat is in totaal 9 ha groot en in bezit van Vereniging Natuurmonumenten. Het terrein maakt geen deel uit van het bosreservaten-programma. Het terrein bestaat uit een klein geïsoleerd bos langs één van de meanderende bovenloopjes van de Luttermolenbeek die op de flanken van de

stuwwal van Oldenzaal ontspringt. De beek is diep ingesneden. Het bos is ontstaan op een door houtwallen omgeven voormalige vloeiveide. In het midden van de negentiende eeuw werd de vloeiveide op rabatten gezet en van greppels voorzien en werden Zomereik, Beuk en Es aangeplant. Het onderzoeksobject wordt gevormd door de vochtige bossen op de voormalige vloeiveiden. De bodem is opgebouwd uit een vrij dunne laag al dan niet verspoeld dekzand op stagnerende keileem of tertiaire klei op 50 cm tot 1 m diepte. Het dekzand is door bevoeiing bedekt met een dikke laag stugge beekleem die eveneens slecht doorlatend is. Langs de de noordoever van de beek is een zandige, droge oeverwal ontstaan. In het noordoostelijk gedeelte stagneert regenwater op de ondiepe leemafzettingen. Hier wordt de kwaliteit van het stagnerend water evenals in het Smoddebos beïnvloed door de bovenliggende beekleem en de onderliggende Tertiaire klei. Evenals in het Smoddebos is hier nu sprake van een lokaal, geïsoleerd stagnerend systeem, dat slechts bij uitzondering voor een deel overstroomd werd vanuit de beek. Van door grotere hydrologische systemen gevoede bronnen is hier geen sprake.



Figuur 3. De Grevenmaat zichtbaar (aangeduid met kruis) als vloeiveide op de Hottingerkaart van 1783 (uit Versfelt, 2003)

De voormalige vloeiveide is op de Hottingerkaart van 1783 herkenbaar als een geïsoleerd liggende, omwalde ontginning boven de “Postweg van Deventer op

Benthem” (Fig. 3) juist beoosten de ontginningen van de Heilige Holt (als zodanig op TMK). Op de TMK van rond 1850 is de Grevenmaat te vinden als een grasland omringd door een tamelijk brede strook bos, gelegen in moerassige heide. Rond 1920 (na de aanleg van de spoorlijn “van Oldenzaal naar Salzbergen”) blijkt het grasland bebost (volgens Gids NM aangelegd omstreeks 1870). In de westzijde loopt een halfverharde weg, komende vanaf de Postweg richting spoorlijn. Aan de noord- en zuidzijde is naaldbos zichtbaar (thans weer grasland). De oostzijde grenst aan moerassige heide met opslag.

Evenals het Smoddebos, met een vergelijkbare historie, bestaat de Grevenmaat voornamelijk uit Eiken-Haagbeukenbos. Het is echter minder rijk aan soorten met o.a. Bleke zegge, Bosanemoon, Gele dovenetel (de zeldzame ondersoort *galeobdolon*), Groot springzaad, Muskuskruid en Slanke sleutelbloem. Op de oude wal in de noordrand van het bos komen Adelaarsvaren en de oud-bosbraam *Rubus pedemontanus* voor. Adelaarsvaren groeit ook op de oeverwal van het beekje door de Grevenmaat, samen met Dalkruid.

2.3 Achter de Voort

Achter de Voort ligt in een breed droog dal aan de voet van de stuwwal van Ootmarsum. Het terrein is in totaal 13 ha groot en in bezit van Staatsbosbeheer. Achter de Voort omvat zowel een laaggelegen gedeelte met een broekboskarakter waarin de keileem en ander oude lemen dicht aan het oppervlak komen als iets hoger gelegen gedeelten waar de oude lemen overdekt zijn met een dunne laag dekzand. In tegenstelling tot de vorige twee onderzoekslocaties wordt Achter de Voort gedeeltelijk gevoed door lokale stagnatiesystemen, regionale kwelstromen en oppervlaktewater uit het naburig landbouwgebied of het kanaal Almelo-Nordhorn. De door eutroof water en de door stagnatie en kwelstromen van de stuwwal beïnvloede locaties verschillen sterk in groeiplaats en vegetatie. De hogere zandige gedeelten bestaan voornamelijk uit veldpodzolen. De lagere natte plekken kenmerken zich door een laag leemrijke amorfe humus overgaand in stugge keileem. Ondanks de aanwezigheid van kwelstromen vindt er toch een sterke fluctuatie in grondwater-niveau plaats. Het terrein ligt niet op rabatten en wordt slechts hier en daar doorsneden door greppels. Gedeeltelijk heeft het natte gebied een eilandstructuur zoals die van nature in stagnatiebossen ontstaat en o.a. aangetroffen wordt in zeer oude bossen op oude leem als het Bentheimer Wald in Duitsland (Clerkx et al. 2002) en Draved Skov in Denemarken (Hommel & De Waal 2003). De kern van de eilandjes wordt daarbij gevormd door oude bomen (meestal Zomereik of Es).

Op de Hottingerkaart van 1783 zijn ten westen van de weg Ootmarsum-Oldenzaal (via “de Duystere Voorde”) en ten oosten van de ontginningen bij het latere West-Agelo (TMK: De Broekmaten) enkele grillige stroken bos zichtbaar precies ter hoogte van het huidige bosreservaat Achter de Voort. De kadastrale kaart van 1832 (Bakker & Van Tweel-Groot 1998: 55) geeft hier struweel temidden van heide en heide met broekgrond. Op de TMK (ca. 1850) is er een strook moerasbos getekend



Figuur 4. Achter de Voort (Aa-broek) op de Topografische en Militaire Kaart van ca 1850 (uit Wolters-Noordhoff Atlasproducties, 1990)

(het Aa-broek) (Fig. 4). Rond 1910 is deze strook met grillig begrensde bos ook nog zichtbaar, juist boven het inmiddels aangelegde kanaal Almelo-Nordhorn. Het huidige scherp begrensde bosgebied omvat vrijwel alle bosvlekken op de Bonnekaart. Diverse percelen zijn in particulier bezit en de zuidoosthoek wordt nog beheerd als hakhout met overstaanders. De zeer fraaie, oorspronkelijke eilandenstructuur maakt een vegetatiekundige toekenning aan dit bos lastig. Het betreft overwegend Eiken-Haagbeukenbos (hoewel haagbeuk hier ontbreekt!), maar in de lagere delen komen ook het Vogelkers-Essenbos en Elzenbroekbos voor. Zie Bakker & Van Tweel-Groot (1998) voor meer informatie m.b.t. historie en vegetatie.

3 Werkwijze

De onderzoeksterreinen zijn onderzocht op humus- en vegetatieontwikkeling. Daarvoor zijn per gebied enkele transecten geselecteerd aangevuld met enkele puntwaarnemingen buiten deze transecten.

Vegetatie en bodem en humus zijn respectievelijk beschreven juist buiten transecten van 1 m breed. In het Smoddebos zijn twee transecten opgenomen, transect 1 in de kernvlakte in de voormalige vloeiveide die als eerste is bebost en transect 2 in het voormalig graslandje dat als laatste is bebost (zie Figuur 1). De ligging van de transecten is met GPS vastgelegd in RD-coördinaten op 6-10 m nauwkeurig (Tabel 1). De precieze ligging kan worden afgeleid uit de inmeting van stamvoeten en kroonprojecties van de bomen in en juist buiten het transect (zie 4.4).

De humusprofielen zijn bemonsterd en geanalyseerd op basentoestand (aanhangel I) en nutriëntentoestand. De nutriëntentoestand is beschreven in een apart rapport (Kemmers & Mekink 2003). Daarnaast zijn op enkele punten watermonsters in de gebieden genomen in het begin van het groeiseizoen (Aanhangel II). Deze zijn geanalyseerd op hun basen- en nutriëntensamenstelling.

Tabel 1 Ligging en lengte van transecten. Begin- en eindpunten transecten in RD-coördinaten: x/y(nauwkeurigheid)

transect	begin transect	einde transect	lengte (m)
Smoddebos I	264159/477966(6)	264167/477944(7)	21
Smoddebos II	264050/477892 (8)	264051/477891	10
Grevenmaat	263830/480713 (6)	263818/480715(6)	10
Achter de Voort	257162/488976(9)	257167/488950(9)	24

3.1 Watermonsters en waterkwaliteit

Daar waar humusprofielen zijn opgenomen zijn in het boorgat tevens de actuele waterstanden bepaald. Voor sommige punten is de pH en het Elektrisch Geleidings Vermogen in het veld bepaald met behulp van een EGV/pH-meter. Elders zijn watermonsters uit het boorgat genomen en geanalyseerd. De gehalten van de volgende ionen zijn vastgesteld:

- Ca^{2+} ;
- SO_4^{2-} ;
- PO_4^{2-} ;
- K^{+} ;
- Mg^{2+} ;
- Na^{+} ;
- Ca^{2+} ;
- HCO_3^{-} (bicarbonaat);
- NO_3^{2-} .

Bovendien zijn de pH en EGV bepaald. De analyse uitslagen zijn gebruikt om het bodemwater te karakteriseren met behulp van STIFF-diagrammen (Hem 1995; figuur 5, 6, 7) en een karakterisering naar herkomst (Jansen 2001; figuur 8,9,10).

3.2 Bemonstering bodem en humus

Veldopnamen

De humusprofielen zijn beschreven op grond van dikte en aard van humushorizonten, waarbij in principe alleen de eerste 40cm van het minerale bodemprofiel met de daarop liggende uitwendige strooisellagen nauwkeurig zijn opgenomen. Daarbij is de methode gevolgd zoals die door Van Delft en De Waal zijn ontwikkeld (2002). Bij de classificatie is het laatste concept van de indeling van Van Delft en De Waal gehanteerd (Kemmers et al. 2002, Van Delft en De Waal, 2002).

Bij de humusbeschrijving is naast in de eerste 40 cm gekeken naar de textuur (korrelgrootteverdeling), structuur, mate van omzetting van het organisch materiaal, dikte der lagen, overgangen van de lagen, beworteling en kleur en hydromorfe vlekking (gley en ijzervlekking) gekeken. De beschreven humusprofielen zijn op schematische wijze opgenomen in (figuur 11 en 12).

Analyses

Voor de bodemchemische analyse analysering zijn monsters genomen van de eerste 0-5cm van de minerale bovengrond (de meest indicatieve laag voor recente veranderingen) en een mengmonster van de laag 5 tot 25cm (min of meer overeenkomend met de potentiële dikte van wortelzone van de kruidlaag). Plaatselijk is bij wijze van referentie ook een diepere laag (80-100cm) bemonsterd. Geanalyseerd zijn:

- pH (KCl);
- organisch stofgehalte (gloeiverlies: Kjeldahl-destructie);
- N- en P totaalgehalte(Kjeldahl destructie);
- P-anorganisch gehalte (extractie met zoutzuur);
- CEC (kation-uitwisselingscapaciteit);
- Ca-,K-,Mg-,Na-gehalte (Bascomb extractie bij pH(KCl) 8,1);
- H⁺ -verzadiging(Bascomb extractie bij pH(KCl) 8,1);
- Fe-totaal gehalte (Oxalaat- extractie);

Als afgeleide parameters van deze analyses zijn berekend:

- Ca-,K-,Mg-,Na-, en H⁺-verzadiging aan het bodemcomplex;
- C/N en C/P getallen (maat voor beschikbaarheid van resp. N- en P);
- H/Ca-getal (verhouding H⁺-verzadiging en calciumverzadiging: goede maat voor het zuurbufferend vermogen van de bovengrond);
- Het organisch P-gehalte (nodig om het C/P-getal te bereken).

De analyseresultaten zijn in sterk verkorte vorm opgenomen in aanhangsel I.

Voor de analysemethoden wordt verwezen naar de toelichting bij de analyse resultaten (Giesen & Geurts 1999).

3.3 Vegetatiegegevens

Voor de transecten is op schaal 1:50 een kaart gemaakt van stamvoeten en kroonprojecties van bomen (dikker dan 5 cm dbh) met kronen die boven het transect aanwezig zijn. Op grond van deze informatie kan worden ingeschat welke boomsoorten qua strooisel bijdragen aan de opbouw van het humus-profiel. De kaarten zijn gedigitaliseerd en bewerkt in ArcView. Voor het Smoddebos transect I is gebruikt gemaakt van bosstructuurgegevens van de kernvlakte, opgenomen in 1998. De kroonprojectiekaarten zijn deels opgenomen in 4.4. De vegetatie (kruiden en zaailingen van bomen en struiken) van alle transecten is in mei 2002 op schaal 1:5 ingetekend op millimeterpapier, zowel eenheden bestaande uit soortencombinaties met karakteristieke aandelen als meer geïsoleerd optredende voorkomens per soort. Deze kaarten zijn uitgewerkt tot staafdiagrammen per soort waarin over de lengte van het transect voor elke 20 cm langs de basislijn van het transect (een plot van 20x100 cm) is aangegeven of de betreffende soort er voorkomt of niet. De staafdiagrammen zijn opgenomen in 4.4.

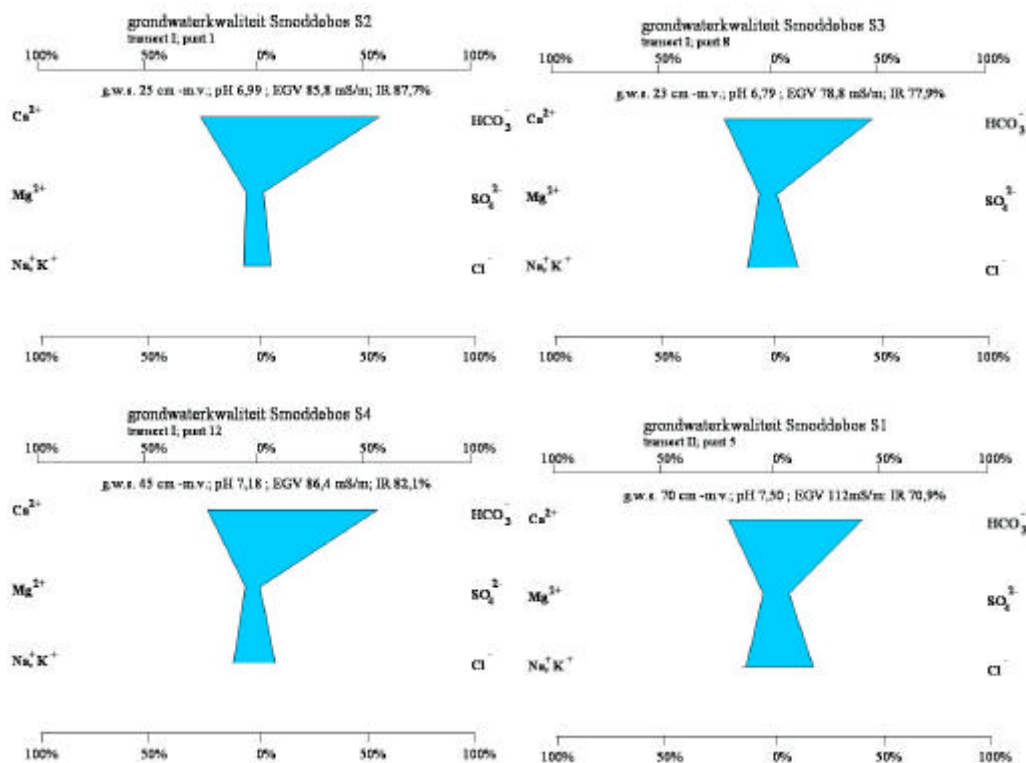
Aansluitend op de monsterpunten van humusprofiel en bodem, genomen langs de basislijn juist buiten het transect, zijn in het transect vegetatieopnamen gemaakt van de kruidlaag in plots van 60x30 cm, dus grofweg in een halve cirkel met een straal van 30 cm rond het monsterpunt. In het Smoddebos en de Grevenmaat is in juni 2003 voor de belangrijkste kruiden globaal nagegaan hoe de beworteling samenhangt met horizonten van het humusprofiel. Hiertoe zijn per soort enkele individuen voorzichtig uitgegraven en nadien weer op dezelfde plek teruggezet.

4 Resultaten veldonderzoek

4.1 Waterkwaliteit

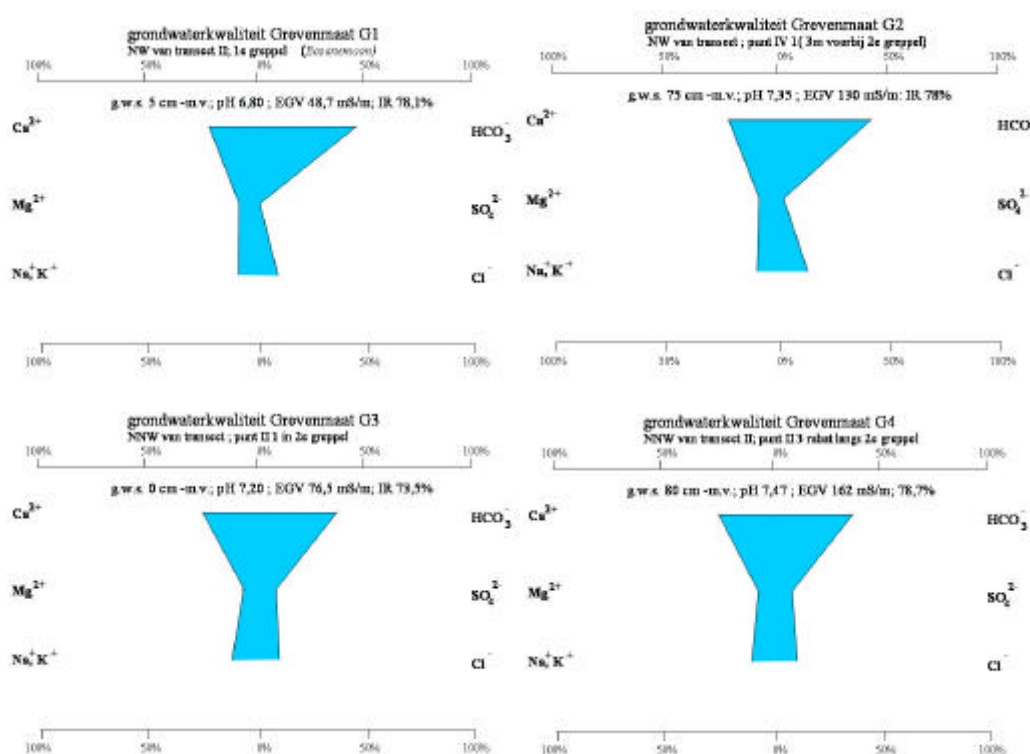
Voor de drie onderzochte bossen is de waterkwaliteit op verschillende plekken gemeten (aanhangsl II). Het zijn eenmalige metingen laat in het voorjaar verricht. In het Smoddebos zijn drie monsters genomen in de eerste raai bij punten 1, 8 en 12, en in de tweede bij punt 6 (zie figuur 13 en 15). In de Grevenmaat zijn monsters buiten het transect genomen in en nabij greppels en buiten de greppels (zie figuur 15). In Achter de Voort zijn bij punt 1, 8 en 13 uit het eerste transect figuur 15) monsters genomen en bij het tweede kleine transect punt 1 en 3.

Uit alle vier STIFF-diagrammen in het Smoddebos (figuur 5) blijkt een waterkwaliteit met een hoog gehalten aan calcium (Ca^{2+}) en bicarbonaten (HCO_3^-) in vergelijking met de concentraties aan Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ en SO_4^{2-} . Dit duidt in eerste instantie op een ionensamenstelling die sterke overeenkomst vertoont met onvervuild lithoclien water. Blijkbaar wordt door de stagnatie van regenwater op de keileem dit water zo aangerijkt dat een lithoclien watertype ontstaat. De absolute



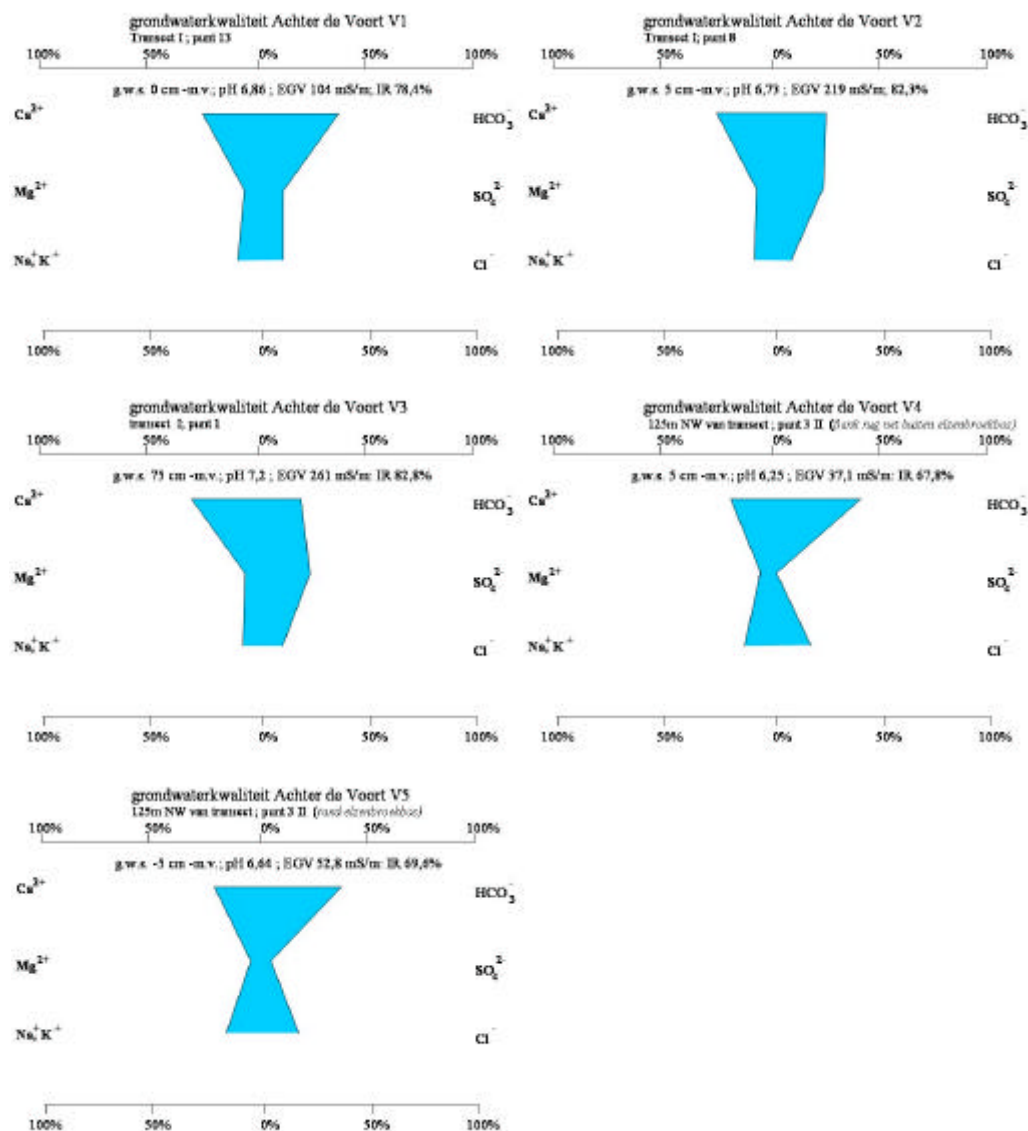
Figuur 5 Waterkwaliteit in het Smoddebos uitgedrukt als percentage-aandeel van de belangrijkste ionen weergegeven doormiddel van STIFF-diagrammen (Hem 1956)

gehalten van SO_4^{2-} -ionen, ijzergehalte (aanhangel I) en de EGVwaarden zijn echter te hoog voor onbeïnvloed lithoclien water. De EGV's zijn in vrijwel alle locaties hoog (meer dan 70 mS/m; figuur 6,7,8). Voor de Grevenmaat G3 en G4 en Achter de Voort V1, V2 en V3 zijn de Ca^{2+} -, SO_4^{2-} - en Cl^- gehalten zeer hoog (aanhangel II). Deze hoge waarden houden waarschijnlijk verband met oxidatie van pyriet (FeS_2). De oxidatie houdt verband met verdroging (mond.med. P.C. Jansen 2003). Pyriet kan op deze wijze de zuurhuishouding (verzuring) en fosfaathuishouding (eutrofiëring) ernstig verstoren (mond.med Kemmers 2003). Op de processen en precieze gevolgen wordt hier in het rapport niet verder ingegaan.



Figuur 6 Waterkwaliteit in het de Grevenmaat uitgedrukt als percentage-aandeel van de belangrijkste ionen weergegeven doormiddel van STIFF-diagrammen (Hem 1956)

Twee watermonsters V2 en V3 laten verhoudingen zien waarbij de concentratie aan bicarbonaten (HCO_3^-) voorbijgestreefd wordt door de SO_4^{2-} -gehalten. Deze watermonsters (figuur 7) geven de boven geschetste pyrietproblematiek het best weer al is hier nog geen sprake van substantiele verzuring. De waterkwaliteit op de overgang van het keileembos naar het broekbos (V4 en V5) is duidelijk meer van het lithocliene type dan de drie andere monsters. In het humusprofiel wordt hier een hogere concentratie anorganisch P aangetroffen dan elders (aanhangel I). Mogelijk dat landbouwwater uit de omgeving hier invloed heeft. Volgens Broekhuis (1990) kan bij piekafvoeren vanuit het omliggende landbouwgebied voedselrijk water het gebied in stromen; dat is waarschijnlijk hier het geval.

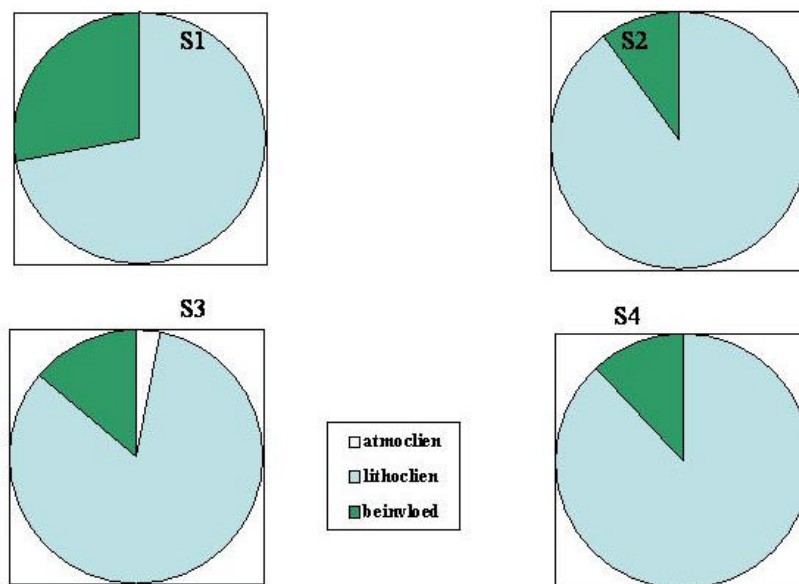


Figuur 7 Waterkwaliteit in Achter de Voort uitgedrukt als percentage-aandeel van de belangrijkste ionen weergegeven doormiddel van STIFF-diagrammen (Hem 1956)

De watermonsters zijn ook geanalyseerd op herkomst (zie ook aanhangsel II). De samenstellende herkomsttypen zijn met percentages aangegeven (Jansen 2001). In figuren 8, 9 en 10 is dit weergegeven. Er is ook een aandeel beïnvloed water aangegeven. Dit is water met een ionenverhouding dat afwijkt van het lithocliene of het atmocliene watertype (Jansen 2001). Lithoclien water (grondwater met een lange verblijftijd in de ondergrond) kenmerkt zich door een hoge verhouding aan calciumionen ten opzichte van chloride-ionen (ionenratio) een pH tussen 6 en 7 en een hoog gehalte aan bicarbonaten en een vrij hoge EGV-waarde. Het atmocliene watertype kenmerkt zich door een vrij lage pH (4 tot 5), lage absolute concentraties aan ionen en een lage ionenratio (Van Wirdum 1980). De afwijking van de twee

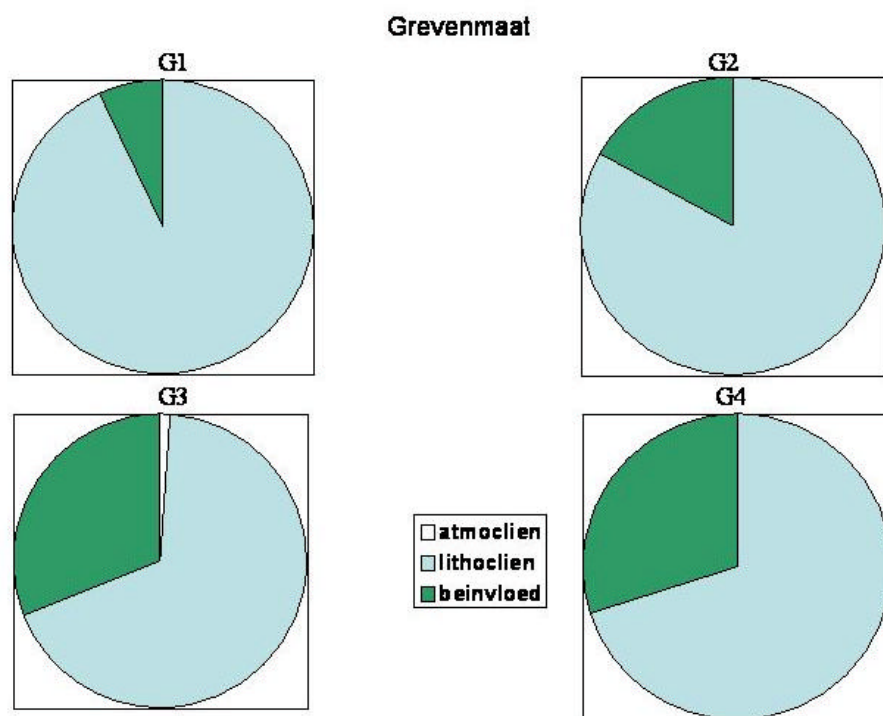
genoemde watertypen kan door vervuiling veroorzaakt zijn of door een intern veranderingsproces in de bodem (bijvoorbeeld oxidatie van pyriet). In vrijwel alle monsters is de invloed van atmosfeerisch water beperkt (minder dan 10%).

Smoddebos

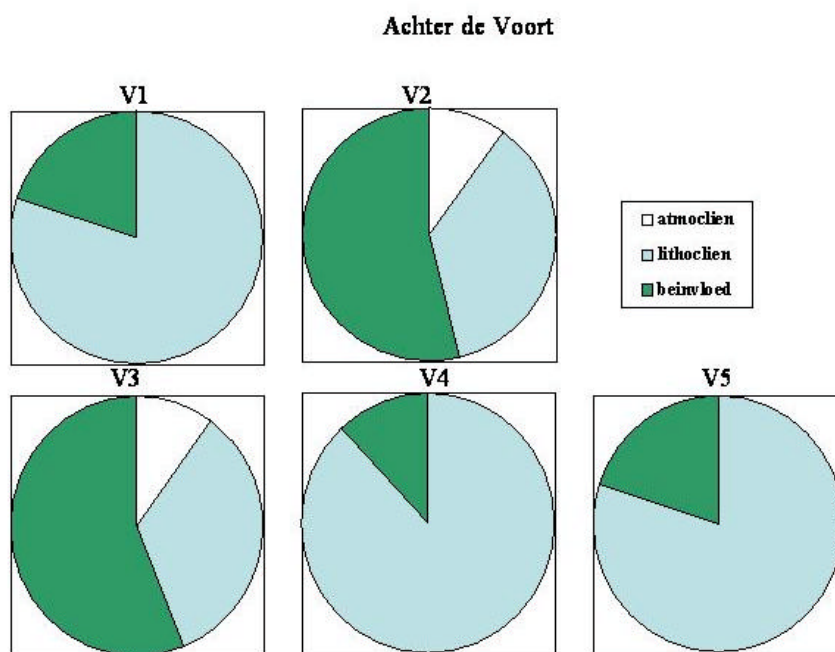


Figuur 8 Herkomst grondwater in het Smoddebos (naar Jansen 2001)

Enkele monsters hebben een hoog percentage aan beïnvloed water (S1, G3, G4 en V2 en V3). Hier wijst de samenstelling van de watermonsters met een hoog SO_4^{2-} -gehalte gecombineerd met hoge Ca^{2+} -concentraties en een hoog ijzergehalte in de bodem (aanhangel I) op een ontwaterde kwelplek in moedermateriaal met een hoog pyrietgehalte (FeS_2). Bij oxidatie van pyriet komt $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en sulfaat vrij (Scheffer und Schachtschabel 1973). Pyriet komt van nature in de bodem voor maar het gehalte aan pyriet wordt waarschijnlijk ook door inundatie of atmosferische depositie beïnvloed. Dit kan gepaard gaan met een sterke pH-daling. Die is echter in dit soort milieus beperkt door de bufferende werking van de calcium-ionen (Runhaar, 1999). De samenstelling wijst er dus op dat het transect in Achter de Voort in het verleden nog veel natter is geweest. Het ontbreken van hoge SO_4^{2-} -gehalten bij monsterpunt V5 (het elzenbroekbos) duidt op minder oxidatie en dus een natter milieu. Voor broekbosbegrippen is dit bos echter een verdroogd type (Stortelder et al., 1998).



Figuur 9. Herkomst grondwater in de Grevenmaat (naar Jansen 1994)



Figuur 10. Herkomst grondwater in Achter de Voort (naar Jansen 1994)

4.2 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden in de drie onderzoeksgebieden worden alle beïnvloed door de aanwezigheid van slecht doorlatende leemlagen, ondiep in het bodemprofiel. Dit heeft als gevolg een groot verschil in grondwaterstand in perioden met een hoog neerslagoverschot en perioden met een neerslagtekort dus een groot verschil in GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) en GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand).

In het Smoddebos staat het grondwater in de natste periode in raai I grotendeels boven of nabij maaiveld. In het begin van het groeiseizoen zijn de greppels nog gevuld met water en de rabatten grotendeels verzadigd met water. Aan het eind van het groeiseizoen is het grootste deel van het stagnerende water verdampt of afgevoerd via de greppel naar de Snoeijinksbeek waarbij het grondwater tot diep onder maaiveld daalt (GLG > 120cm). In transect II voeren in de natste periode alleen de greppels water en bereikt het grondwater nimmer het maaiveld. Invloed van de nabijgelegen beken is verdwenen. Vroeger was het Smoddebos onderdeel van een bevoeiingssysteem vanuit de Snoeijinksbeek.

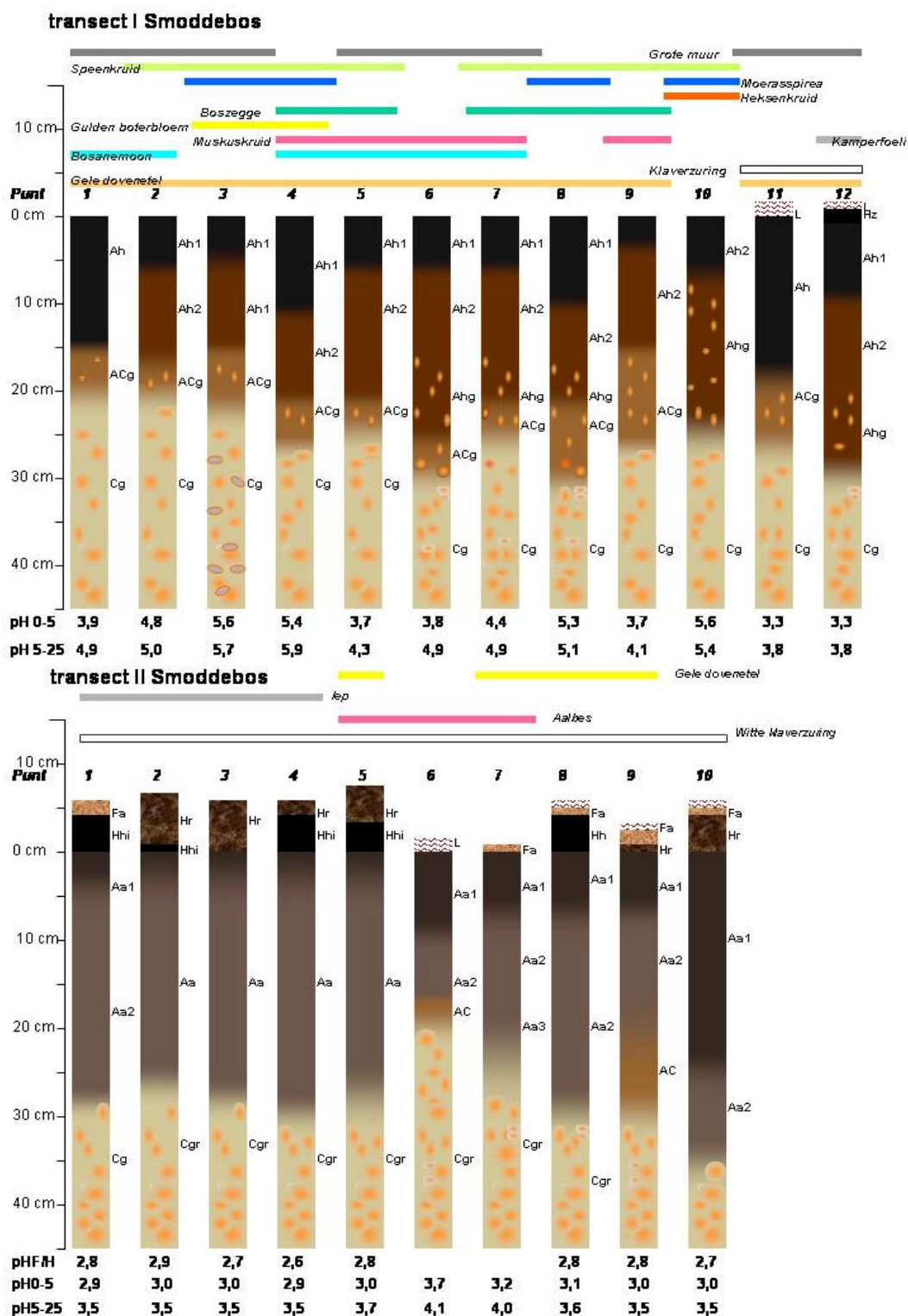
De Grevenmaat is gemiddeld droger dan de onderzochte transecten in het Smoddebos. Door stagnatie zal aan het begin van het groeiseizoen het grondwater, vooral in het noordoostelijk gedeelte, tot aan maaiveld staan. Al vrij vroeg in het groeiseizoen verdwijnt het water uit de meeste greppels. Aan het eind van het seizoen zal op de meeste plekken van de leemlaagte die vroeger vanuit de beek bevoeid werd het grondwaterpeil diep onder maaiveld wegzakken. Het grondwaterpeil in de oeverwal is het hele jaar door laag. Alleen bij extreme aanvoer van beekwater kan korte tijd de oeverwal overspoeld worden waarna het water weer snel diep in het profiel zal wegzakken. De lemige laagte in de Grevenmaat kan periodiek vanuit het noordoosten kort vanuit de beek overstromen.

Achter de Voort kent minder extreme schommelingen in het grondwaterpeil. Zowel in de slenken van het eilandjesbos als in het broekbos zal de grootste tijd van het jaar het water boven of net onder maaiveld staan. Aan het eind van de zomer zal door invloeden van kwelstromen vanuit de struwwal en het kanaal het grondwater niet zo diep wegzakken als in de andere gebieden. Aan de humusprofielen in de slenk en de broekboslaagten zijn moerige bovengronden ontwikkeld die in ieder geval op natte situaties in het nabije verleden wijzen. Zulke semiterrestrische lagen zijn in het Smoddebos en de Grevenmaat niet aangetroffen.

4.3 Humusprofielen

Smoddebos

De humusprofielen in het natte traject van het Smoddebos kenmerken zich door het ontbreken van duidelijk strooisellagen (figuur 11). De hydromorfe verschijnselen



Figuur 11. Humusprofielen in transect I en II van het Smoddebos. Boven de profielen is het voorkomen over het transect van de enkele karakteristieke soorten weergegeven. Onder de profielen is de pH(KCl) van de ectorganische laag (F/H), eerste 5 cm en van de laag 5-25 cm weergegeven

komen overal hoog in het profiel voor. De vertering op de rabatten en in de greppelflanken is onder invloed van het rijke bodemleven (regenwormen, potwormen etc.) van het mulltype. Hierbij wordt geleidelijk de verteerde humus gemengd met de humusrijke lemige bovengrond waarbij humuskleicomplexen ontstaan. Hierbij ontstaat een iets kruimige minerale bovengrond. In de greppel vindt een meer anaërobe vertering plaats, waarbij een meer compacte laag ontstaat. De onder invloed van het bodemleven ontstane bovengrond (Ah1 en Ah2) is 15 tot 20 cm dik. Het humusgehalte in deze bovengrond vermindert van boven naar beneden geleidelijk van 4 tot 2%. De kleur verloopt van bijna zwart naar donker grijsbruin. De wortelactiviteit is vooral groot in de eerste 5 tot 10 cm (overeenkomend met de donkere, kruimige Ah1). De Ah2 dankt zijn donkere kleur mede aan vertering van de keileem. De wortelactiviteit in deze laag is aanmerkelijk minder door een hoge doordringings weerstand. De pH (KCl) van de eerste 5 cm verloopt op de rabatten van 3,7 tot 3,9 (overeenkomend met een pH water van ongeveer 4,4 tot 4,6). In de rest van de wortellaag (5-25 cm) loopt de pH op van 4,3 tot 4,9. In het algemeen begint de hydromorfe vlekking al in de onderkant van de Ah2. Daar waar de hydromorfe grens onder de 15 cm ligt, zijn de humusprofielen op de rabatten geklassificeerd als Zure wormmulls en in nattere situaties als Beekhydromulls. In de greppels komen de hydromorfe verschijnselen logischerwijs hoger voor en is er sprake van Beekhydromulls. De pH in de greppels en de flanken van greppels is door de grotere grondwaterinvloed aanmerkelijk hoger dan op de rabatten. Met een waarde van 5,3 tot 5,6 is de pH vergelijkbaar met die van het bodemwater. Aan de droogste zijde van het natte traject is op de rabatten een begin van een semi-permanente strooisellaag op de minerale bodem waar te nemen. Er is hier sprake van dunne, amorfe tot moderachtige strooisellagen met een geleidelijke overgang naar de humusrijke minerale bovengrond (Hz). Het betreft hier een Ecto-Wormmull of een dunne Wormmoder. Ook is hier de niet permanente strooisellaag (L) persistenter dan op de lagere locaties. De pH op de rabatten aan de drogere kant daalt tot 3,3 in de eerste 5 cm en tot 3,8 in de wortellaag. De analysegegevens (aanhangsel II) tonen dezelfde tendens. De calcium-verzadiging is het hoogst in de greppels (tegen de 100%) en is het laagst op de hoogste rabatten. Een omgekeerde tendens geldt voor de verhouding tussen H^+ - en calciumionen (de H/Ca-waarde). In de greppel in het hogere transect is er geen verschil in pH en calciumverzadiging met de greppels in de lage kern waargenomen. Voor de nutriëntentoestand in het Smoddebos wordt verwezen naar het rapport van Kemmers en Mekink (2003).

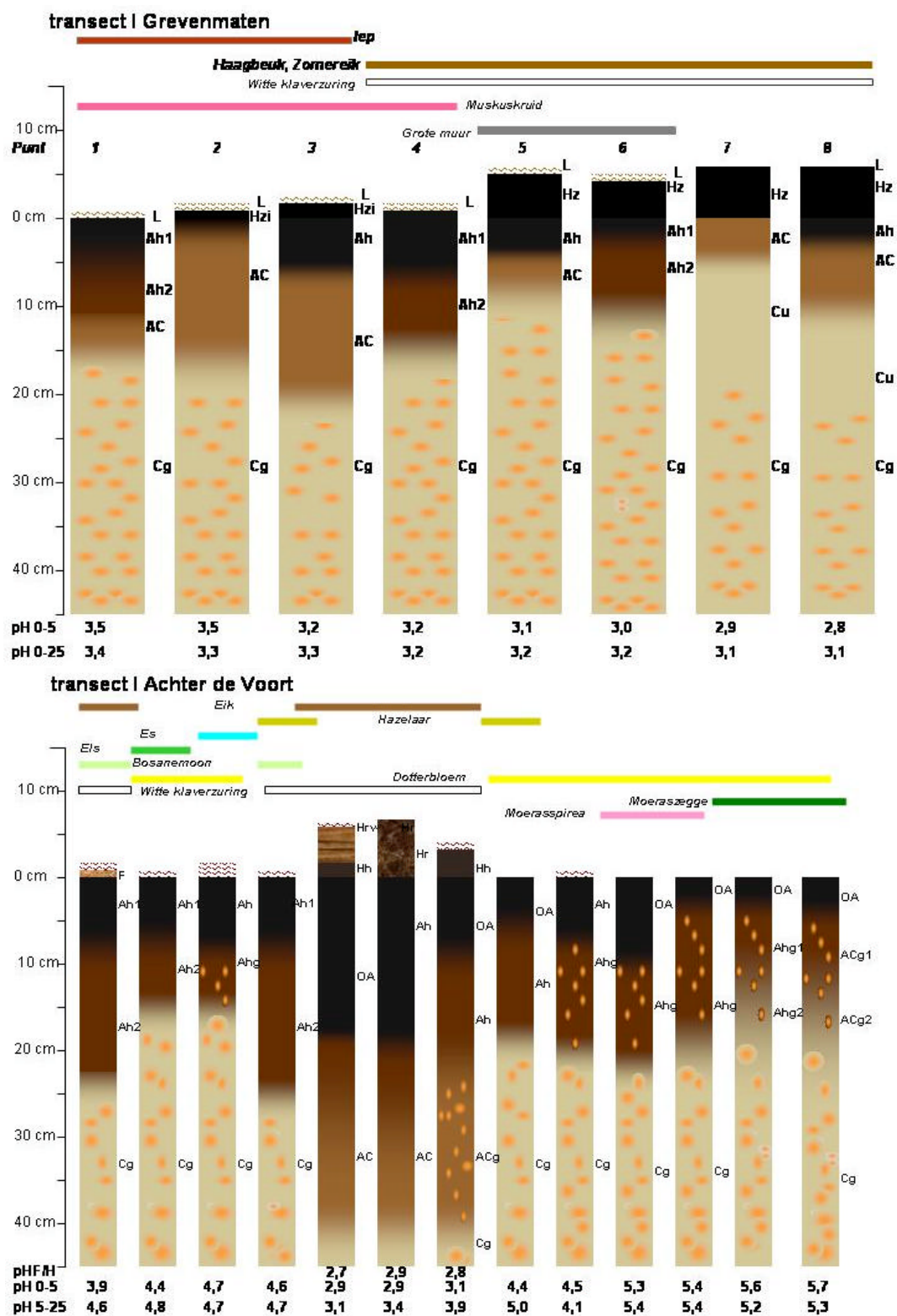
Transect II van het Smoddebos (figuur 11) wordt gekarakteriseerd door humusprofielen met enkele cm dikke ectorganische humuslagen. Alleen in en op de flanken van de greppels zijn deze lagen zeer dun of afwezig. De pH in de bovenste laag van de minerale bovengrond (0 – 5 cm) is met een gemiddelde waarde van 3,0 aanzienlijk zuurder dan in transect I. Alleen in en op de flanken van de greppel is de pH hoger (resp. 3,7 en 3,2). Op het eerste rabbat van het transect ontbreekt bij een deel van de waarnemingspunten een duidelijk F-laag. De profielen bestaan uit een Hr-laag (een mengsel van amorfe humus en nog herkenbare planteresten) en een volledig amorfe Hh-laag met enige bijmenging van minerale delen (Hri). Op het tweede rabat zijn de H-lagen dunner, maar is altijd een F-laag aanwezig. In het gehele transect ontbreekt een echte minerale Ah-laag. De minerale bovengrond bestaat hier

uit een kleine 30cm dik goed gehomogeniseerd dek van humeuze zandige leem dat waarschijnlijk gedeeltelijk is opgebracht (Aa-laag). De humusprofielen worden op grond van deze antropogeen beïnvloede laag tot de Akkerxeromullmoders gerekend. De profielen tonen ecologisch grote overeenkomst met de mormoders van de arme bossen. De pH van de wortelzone in deze Aa (5-25 cm) varieert van 3,5 tot 3,7 op de rabatten en rond de 4,0 in en langs de greppel. De calciumverzadiging van de minerale bovengrond is onder de 10% en de H/Ca-verhouding meestal boven de 20. De C/P-verhouding van de laag 0-5 cm ligt tussen 150 en 250; die van de diepere laag (5-25cm) rond de 100. De C/P waarden zijn wat laag gezien de lage pH-waarden. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het landbouwkundig verleden (Kemmers en Mekking 2002). De calciumverzadiging van de strooisellaag is nog vrij hoog (20 -30%), hetgeen duidt op een moderachtig karakter. De strooisellaag heeft een pH van gemiddeld 2,8 en een hoge C/P van rond de 400 (zie ook Kemmers en Mekking 2002).

Grevenmaat

In dit transect (figuur 12) bestaat een opmerkelijk verschil tussen het iependeel en het haagbeuk/eik gedeelte. Onder de Ruwe iep is een dikke humushoudende bovengrond (Ah+AC) ontstaan van 13 tot 20 cm die onder invloed van de bodemdieren goed gehomogeniseerd is. De eerste paar centimeter bestaat uit een opmerkelijk kruimige, luchtige humusrijke maar ook leemrijke laag, met een geleidelijke overgang naar onderen. Daar waar deze laag het meest uitgesproken is en makkelijk te onderscheiden is van de minerale ondergrond is deze laag aangegeven als Hzi. Deze horizont is hooguit 2 cm dik. De laag is sterk doorworteld door vooral muskuskruid. De pH van 0-5 varieert in dit deel van het transect van 3,2 tot 3,5 (pHKCl) en de wortelzone (5 - 25 cm) heeft een pH die vrijwel gelijk is aan de bovenlaag en daardoor verschilt van het Smoddebos. Onder de Haagbeuk is een duidelijk te onderscheiden ectorganische laag ontwikkeld waarin overigens weinig plantendelen zijn te herkennen (goede omzettingen). Deze Hz-laag heeft een sterk moderachtig karakter en varieert in dikte van 3 tot 5 cm en gaat geleidelijk over in de minerale bovengrond. De minerale bovengrond Ah +AC (6 tot 10 cm) is hier aanmerkelijk ondieper. Dit wijst op een veel geringere activiteit van de bodemfauna dan onder de iep. Blijkbaar accumuleert de meeste organische stof in de Hz i.p.v in de minerale bovengrond. De pH van de eerste 5 cm (van de minerale bovengrond!) is hier duidelijk zuurder dan onder iep (2,8 tot 3,1). In de wortelzone is de pH in tegenstelling tot het iepentransect wat minder zuur dan in de bovenste laag. Bovendien is het verschil tussen de laag 0-5cm onder iep en haagbeuk uitgesprokener dan in de wortelzone hetgeen wijst in de richting van verschil in input van bovenaf in plaats van verschillen in bodemkundige of hydrologische omstandigheden.

Het kleine transect ligt langs de beek op de flank en aan de voet van de oeverwal. Op de oeverwal zijn de humusprofielen op en in zandig moedermateriaal ontwikkeld. Aan de voet komen keileemafzettingen tot aan het maaiveld. De humusprofielen



Figuur 12. Humusprofielen in de transecten I van de Grevenmaat en Achter de Voort. Boven de profielen is het voorkomen over het transect van de enkele karakteristieke soorten weergegeven. Onder de profielen is de pH(KCl) van de ectorganische laag (F/H), eerste vijf cm en van de laag 5-25 cm weergegeven

bestaan alle drie uit dikke ectorganische profielen die het dikst zijn op de oeverwal en minder dik op het lemig substraat (8cm tegenover 6cm). De verschillen in zuurgraad in de laag 0-5cm zijn minimaal al lijkt het profiel boven op de oeverwal het zuurst. In de wortelzone is het lemige profiel aan de voet van de oeverwal het minst zuur. De calciumbezetting is overal extreem laag (tussen 2 en 5%) en het H/Ca getal boven de 40. Beide parameters en de dikte van het ectorganische profiel duiden op een verregaande verzuring.

In het meest vochtige gedeelte is een kleine gradiënt beschreven van de greppelbodem tot op het aangrenzende rabat. De pH en de calciumbezetting is het hoogst in de greppelbodem (5,6 en 100%). Op de flank zijn respectievelijk waarden van 4,7 en 70% gevonden. Op de rabat is het pH en de calciumverzadiging het laagst (3,2 en 25%). Opmerkelijk is ook het hoge gehalte aan anorganische fosfor in de greppel. Dit hangt mogelijke samen met overstromingen vanuit de beek.

Iets hoger op een keileemvlak is nog een plek met Groot springzaad bemonsterd. Op deze plek zijn zuurgraad en calciumbezetting vergelijkbaar met die van de oeverwal. Opvallend is hier echter wel dat de H/Ca-verhouding veel lager is dan bij de oeverwal (dus minder verzuurd) en er nauwelijks ectorganisch strooisel gevormd wordt. Ook de C/P-verhouding is wat lager dan op de oeverwal.

Achter de Voort

In Achter de Voort (figuur 12) zijn twee transecten bemonsterd. Een uitgebreid transect in het natste gedeelte van het bos bestaande uit eilandjes en slenken en een klein transect op de overgang van het verdroogde bos naar het Elzenbroekbos.

Het grote transect toont een groot verschil tussen de eilanden met grote Zomereiken en de natte slenken. In de kern van de eilandjes rond de stam van de Zomereiken zijn dikke ectorganische humusprofielen ontstaan op een organisch stofrijke ondergrond. De profielen (varierend van Bosmoders tot Humusmormoders) bestaan voornamelijk uit goed verteerde en half verteerde lagen (resp. H- en F-lagen).

De pH en de calciumverzadiging zijn laag (resp. 2,7 tot 2,9 resp. 15-25% in de bovenste 5 cm) de H/Ca en de C/P-waarden zijn hoog (> 8 resp., >500). In de slenken is het humusprofiel opgebouwd uit goed, gedeeltelijk anaëroob verteerde organische-stofrijke Hydromulls en Meerdeerdmoders met een vrij hoge pH en een hoge calciumverhouding (resp. 5,5 tot 5,7 en 70% tot bijna 100%). De overgang in zowel vegetatiekundige als bodemchemische zin wordt gevormd door de lagere flanken van de eilandjes. In sommige slenken is in het humusprofiel het gehalte aan anorganisch P vrij hoog (30-100 mg/gr). Dit is mogelijk het gevolg van het toestromen van enigszins geeutrofiëerd water (kwel vanuit het kanaal?).

Het kleine transect op de overgang van het vochtige eikenbos op zandige keileem naar het iets lager gelegen natte Elzenbroekbos omvat een punt in het hoger gelegen zandige keileemplateau, een punt op de flank van de overgang en een punt in de rand van het broekbos. Het hogergelegen "keileemterras" bestaat uit een mengsel van grof zand gemengd met steentjes met een leempercentage van 35%. Op 80 centimeter diepte wordt een stugge gereduceerde keileemlaag aangetroffen. Het humusprofiel

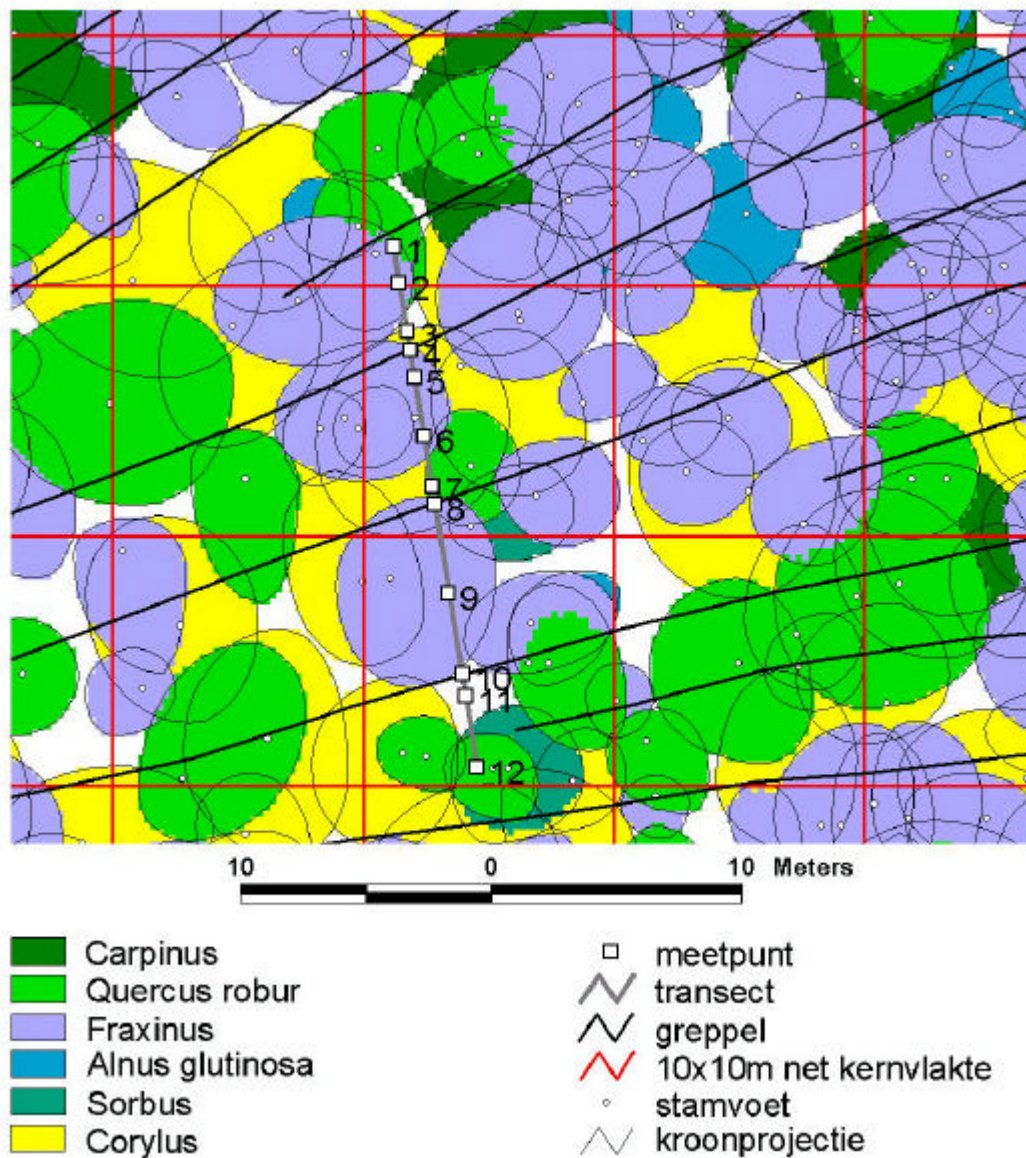
bestaat uit een dunne F-laag op een bijna 20 cm dikke Ah(g) met hydromorfe verschijnselen binnen de 10 cm (ecto-Beekhydromull). De eerst 5 cm heeft een pH van 3,1 en lage calciumverzadiging (9%), een hoge C/P-verhouding en H/Ca-verhouding (15). Lager op de flank van het ruggetje is in het humusprofiel al een uiterst dunne veenrest ontwikkeld, bedekt met een vage, dunne F-laag. Hoewel de humusvorm in het zelfde type valt als het eerste profiel is dit profiel bovenin minder zuur, met een hogere calciumverzadiging en een lagere H/Ca-verhouding. Dit is vooral het gevolg van de invloed van het grondwater dat hier regelmatig tot aan maaiveld stijgt. In het broekbos zelf (feitelijk de rand van een uitgebreid broekboscomplex) is een dunne goed verteerde veenlaag ontwikkeld, die in de richting van de kern van het broekbos dikker wordt. De veenlaag is geheel veraard, heeft een hoge pH en is bijna geheel verzadigd met calcium. De C/P-waarde is aanmerkelijk geringer dan hoger op de flank. Opmerkelijk is het hoge gehalte aan anorganische P, hetgeen wijst op een eutrofiërende invloed van landbouwwater uit de omgeving. Het ijzergehalte is hoog, doch wat lager dan in sommige slenken van het "eilandjesbos". Het hoge ijzergehalten houdt waarschijnlijk voor een groot deel verband met de oxidatie van pyriet (zie 4.1). Onder de moerige bodem worden dezelfde keizandafzetting en stugge gereduceerde keileem aangetroffen als op het hogere terreingedeelte.

4.4 Bosstructuur en vegetatie

Smoddebos transect I (kernvlakte)

De boomlaag ter hoogte van transect I wordt gedomineerd door Gewone es en Zomereik. Haagbeuk komt voor in de tweede boomlaag bij het begin van het transect. De struiklaag wordt gevormd door Hazelaar en een enkele Wilde lijsterbes. De kernvlakte is gerabatteerd met ondiepe greppels (figuur 13). Het bladstrooisel komt voor een groot deel op rekening van soorten met snel verterende bladen, met name es en Hazelaar. Het voorkomen van kruiden en zaailingen is sterk geassocieerd met het rabattenpatroon en de gradient van nat/basenrijk naar droger/zuurder (Fig. 14). Het transect start in een laagte die zeer nat kan zijn maar ook periodiek uitdroogt. Hiertoe zijn vrijwel beperkt de ruigtesoorten Moerasspirea, Hondsdraf, Ruw beemdgras en Zevenblad. Beperkt tot de permanent vochtige greppels zijn Slanke sleutelbloem, Gulden boterbloem en Pinksterbloem. Een grote groep soorten komt voor op de gedraineerde greppelflanken en rabatten zolang er geen sprake is van strooiselaccumulatie, zoals Ruwe smele, Boszegge, Muskuskruid en, meer verspreid voorkomend, *Rubus vestitus*, Groot heksenkruid en zaailingen van Tweestijlige meidoorn en Haagbeuk. De vierde groep soorten overlapt sterk met de vorige maar komt ook voor op de best gedraineerde rabatten waar zich een ectorganisch humusprofiel vormt, met Witte klaverzuring als meest typische vertegenwoordiger. Verder lijken Klimop en zaailingen van es een voorkeur te hebben voor dit milieu. Grote muur en Gele dovenetel zijn soorten die zich snel bovengronds kunnen uitbreiden (vergelijk ook transect 2) en meer op de bodem liggen dan erin wortelen. Deze soorten komen over het gehele transect voor maar ontbreken in de greppels. Tot slot is er nog Bosanemoon. Het patroon van voorkomen lijkt op dat van Gele dovenetel, maar in tegenstelling tot deze soort

verbreid Bosanemoon zich zeer langzaam en uitsluitend via in de Ah- of AC-horizont liggende wortelstokken. In feite is de kernvlakte na ruim 150 jaar nog steeds niet geheel gekoloniseerd door Bosanemoon (zie ook transect II).

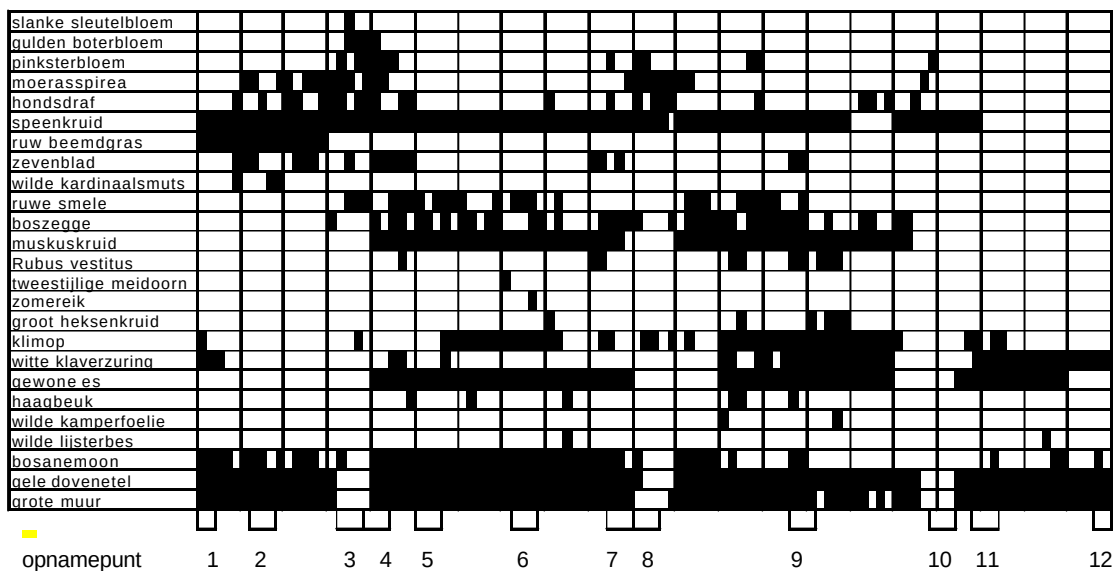


Figuur 13 transect I Smoddebos

Smoddebos transect II

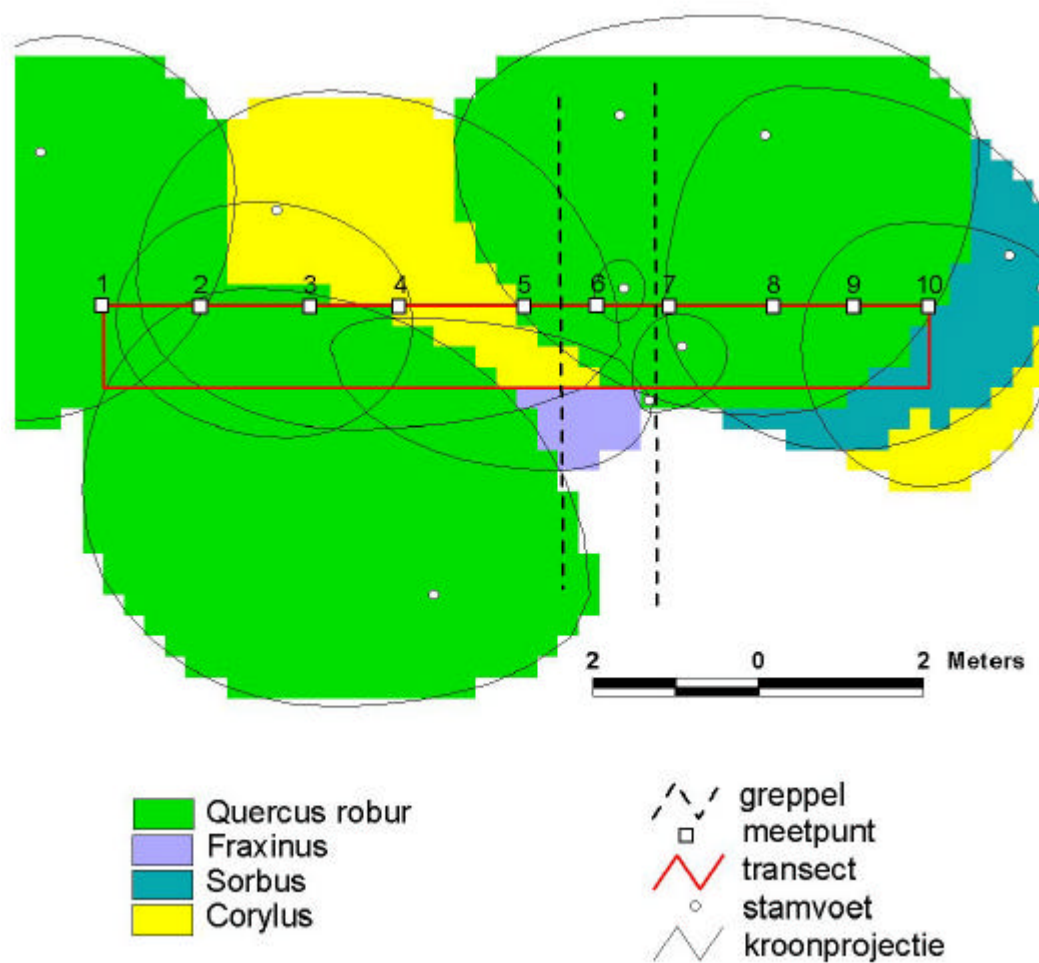
Dit transect ligt in een voormalig graslandje dat pas na 1900 is bebost (zie 1). Gezien het voorkomen van een 20-30 cm dikke Aa-horizont (zie 4.3) heeft in dit perceel kennelijk groundbewerking en/of bezanding plaatsgevonden. Dat het ooit als akker in gebruik is geweest, lijkt onwaarschijnlijk. Ook dit bos is ondiep begreppeld. De rabatten zijn 10 m breed en ingeplant met 2 rijen Zomereik ongeveer 2,5 m uit de rand van de greppels. In de struiklaag komt vrij veel Hazelaar voor en een enkele

Haagbeuk. Essenverjonging treedt op in en langs de greppels (figuur. 15,16) Het strooisel is door het hoge aandeel eikenblad dus aanzienlijk minder goed verteerbaar dan in transect I.



Figuur 14. Soorten transect I Smoddebos (21m). Voorkomen van kruiden en zaailingen langs het transect (een blokje is minimaal 20 cm; verticale lijnen per meter) en ligging van opnamepunten (op 10cm nauwkeurig)

De kruidlaag is ten opzichte van transect I opvallend arm aan soorten (figuur 16). Het spectrum is aanzienlijk verschoven in de richting van zuurminnende soorten. De aanwezigheid van Gele dovenetel en *Rubus vestitus* wijst op een zekere basenrijkdom en ook Witte klaverzuring is een soort die alleen dominant voorkomt in de aanwezigheid van de beschikbaar calcium. Grote muur ontbreekt in het transect maar komt elders in het perceel pleksgewijs (clonaal) voor. Voor Dalkruid lijken de condities buitengewoon gunstig voor vestiging, een zeldzaam fenomeen! Bronpopulaties zijn aanwezig op de oude wal en langs de voormalige onverharde weg in de W-rand van het bos. In de greppel heeft zich een populatie aalbes gevestigd; deze soort komt ook voor langs enkele greppels in het perceel met transect I.



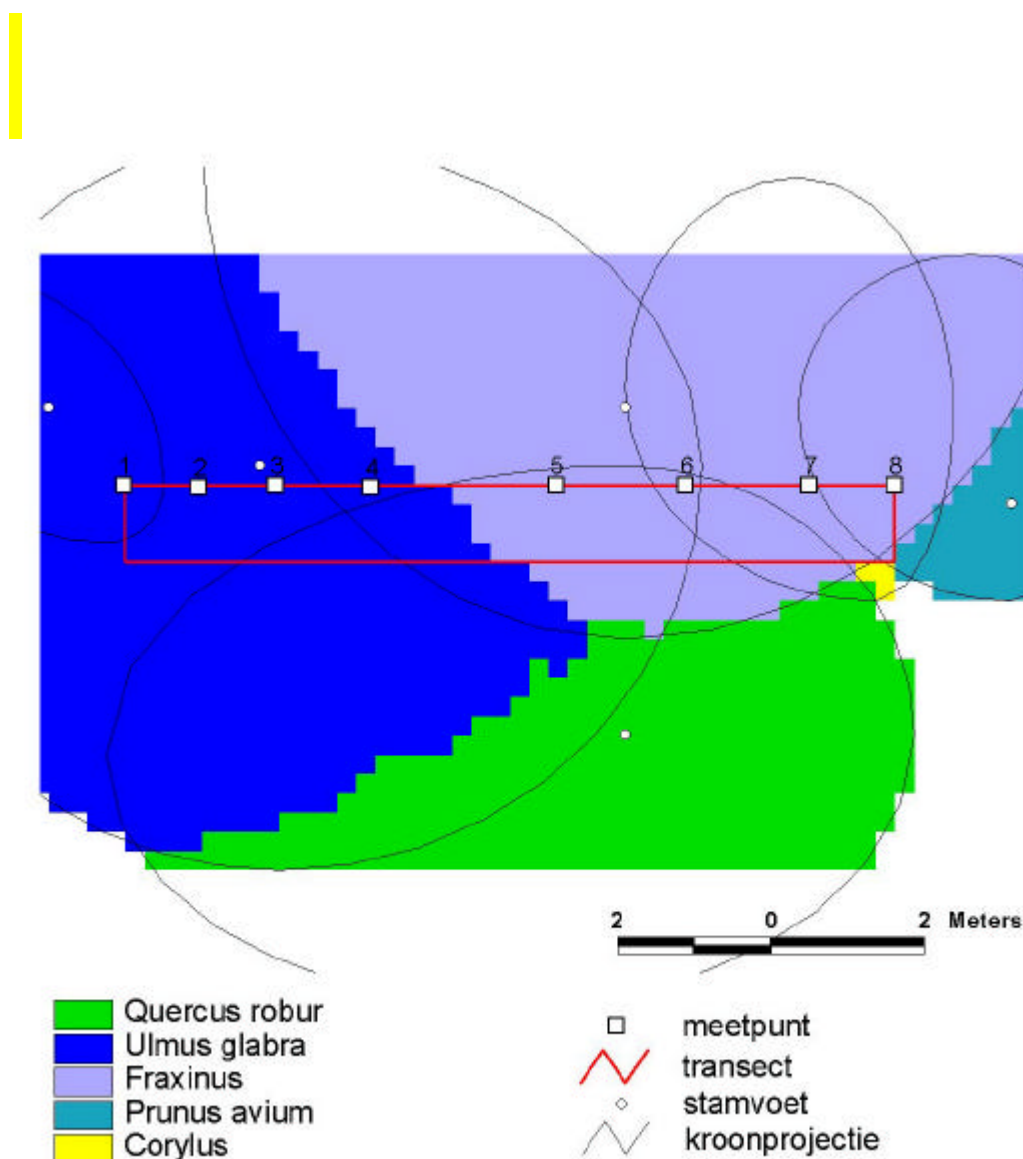
Figuur 15. Transect II Smoddebos

dalkruid										
klimop										
smalle stekelvaren										
wilde kamperfoelie										
gele dovenetel										
aalbes										
gewone es										
Rubus vestitus										
wilde lijsterbes										
zomereik										
witte klaverzuring										
opnamepunt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figuur 16. Soorten transect II Smoddebos (10 m). Voorkomen van kruiden en zaailingen langs het ransect (een blokje is minimaal 20 cm; verticale lijnen per meter) en ligging van opnamepunten (op 10cm nauwkeurig)

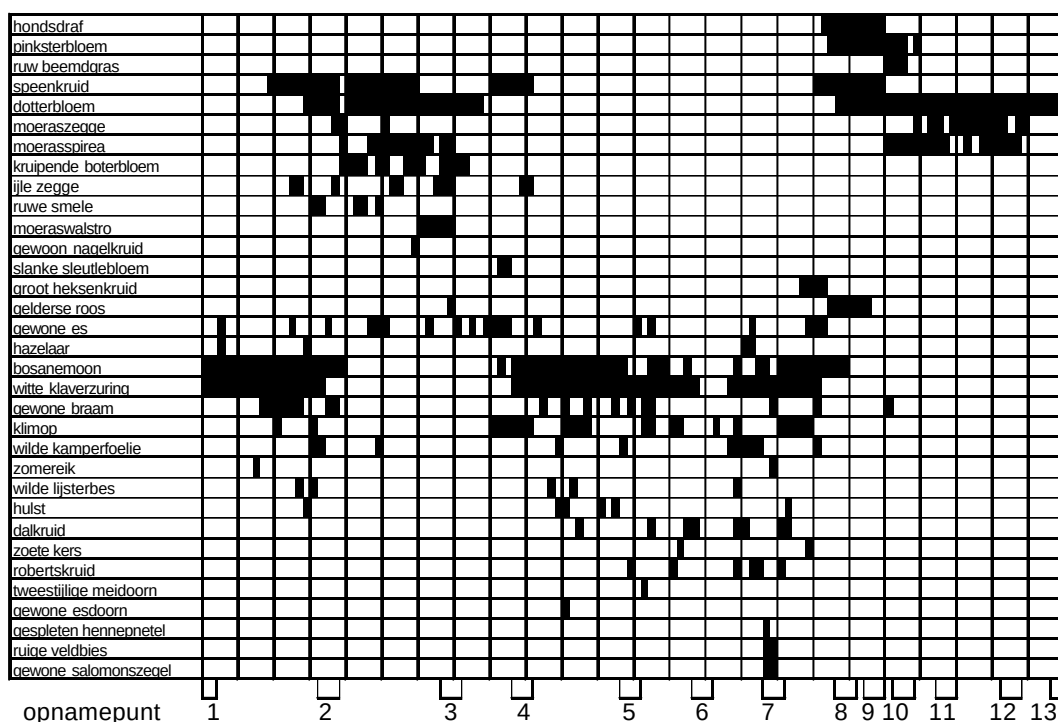
Grevenmaat

De boomlaag rond het transect wordt gevormd door een Ruwe iep, een Zomereik (50 cm dbh) en een zware Gewone es (75 cm dbh). Net buiten het transect (nabij 12 m) staat nog een Zoete kers. De struiklaag is vrij open en bestaat uit enkele hazelaars (figuur 17). De Grevenmaat is niet gerabatteerd. De kruidlaag zit qua rijkdom in tussen die van de transecten I en II in het Smoddebos. Witte klaverzuring is weer dominant aanwezig en Grote muur komt pleksgewijs voor. Onder de kroon van de Ruwe iep komt een grote populatie Muskuskruid voor, samen met Witte klaverzuring (figuur 18). Juist buiten het transect (richting greppel langs oud bospad) komt ook Donkersporig bosviooltje en *Rubus vestitus* voor.



Figuur 17. Transect Grevenmaat

In de kruidlaag van transect I komen Dalkruid, Gespleten hennepnetel, Robertskruid, Ruige veldbies, Gewone salomonszegel alleen voor op de eilandjes. Witte klaverzuring, Bosanemoon, Wilde kamperfoelie en Klimop komen ook in de randzone van de eilandjes voor. Dominante soorten in de laagste delen van de slenken zijn Dotterbloem, Moeraspirea en Moeraszegge. Meer verspreid voorkomend, vooral op de iets hogere delen zijn IJle zegge, Pinksterbloem, Moeraswalstro en Slanke sleutelbloem. Evenals in transect I van het Smoddebos zijn ook Hondsdraf, Kruipende boterbloem en Ruw beemdgras, soorten van voedselrijke ruigtes, in de slenken aanwezig. In de overgangen naar de eilandjes, overlappend met het voorkomen van Bosanemoon en Witte klaverzuring, zijn Gelderse roos, Groot heksenkruid, Ruwe smele en verjonging van Gewone es karakteristiek (zie figuur 20). Juist buiten dit transect is nog een aantal karakteristieke soorten te vinden. In de natste delen van de slenken Gele lis, Kleine valeriaan en Kruipend zenegroen. Verder komen op de iets hogere delen (buiten de eilandjes) Boswederik, Donkersporig bosvioletje, Eenbes, Gulden boterbloem en Heelkruid voor.



Figuur 20 Soorten Achter de Voorttransect I (22 m). Voorkomen van kruiden en zaailingen langs het transect (blokje is minimaal 20 cm; verticale lijnen per m) en ligging van opnamepunten (op 10 cm nauwkeurig)

Transect II bestaat uit drie opnamepunten van zandige keileem (punt 1) naar lager gelegen elzenbroek (punt 3). Het hoogste deel heeft een boomlaag met Zomereik en Zoete kers. In de open kruidlaag domineert Witte klaverzuring en komt ook Schedegeelster voor. In het laagste deel bestaat de boomlaag uit Zwarte els en bestaat de kruidlaag uit Grote brandnetel, Groot heksenkruid, veel Speenkruid en wat Zwarte bes. Opnamepunt 2 ligt in de flank van de flauwe helling tussen het hoge en

lagere deel. Hier komen in de kruidlaag naast Witte klaverzuring o.a. ook Bosanemoon, IJle zegge en Wijfjesvaren voor

4.5 Groeivorm vaatplanten

In aanhangsel III wordt een schema voorgesteld voor de beoordeling van onder- en bovengrondse groeivorm in relatie tot eigenschappen van het humusprofiel. O.a. wordt een eenvoudige classificatie van beworteling en bebladering uitgewerkt.

Dit schema is toegepast op een aantal bosplanten die in het kader van dit project voorzichtig zijn uitgegraven. Voor elke soort is niet alleen dit schema toegepast, ook is beoordeeld in welke horizont(en) van het humusprofiel zich de wortelstok en het merendeel van de adventiefwortels bevinden (tabel 2).

Tabel 2. Architectuur van boven- en ondergrondse delen voor enkele bosplanten zoals vastgesteld in het Smodebos en de Grevenmaat. Bewortelingstype: R-CC: typische caulofyten; R-CR: rhizoomcaulofyten; R-CS: stoloncaulofyten. Bebladeringstype: L-GP: overblijvende grasachtigen; L-HR: wortelrozetplanten; L-HRS: rozetstengelbladplanten; L-HS: stengelbladplanten. Voor toelichting en subgroepen zie Aanhangsel XX. Posities van wortelstok en adventiefwortels zijn aangegeven ten opzichte van de horizonten in het humusprofiel

soort	bewortelings type	bebladerings type	positie wortelstok	positie adventiefwortels
Bosandoorn	R-CR2	L-HRS	Ah/AC	Ah/AC
Boszegge	R-CC3	L-GP	Ah	Ah/AC
Bosanemoon	R-CR1	L-HS	Ah	Ah
Dalkruid	R-CR2	L-HS	H	H/Ah
Donkersporig bosviooltje	R-CC1	L-HRS	H	Ah
Geel nagelkruid	R-CC2	L-HRS	Ah	Ah
Gulden boterbloem	R-CC2	L-HRS	Ah	Ah/AC
Gele dovenetel	R-CS	L-HS	Ah	F/H/Ah
Gewone salomonszegel	R-CR1	L-HS	H	H/Ah
Groot heksenkruid	R-CR2	L-HS	Ah	Ah
Grote muur	R-CR3	L-HS	L/F	F/H
Groot springzaad	NVT	L-HS	NVT	F/H/Ah
Heelkruid	R-CC2	L-HR	Ah	Ah
Hondsdrif	R-CS	L-HS	H/Ah	H/Ah
IJle zegge	R-CC3	L-GP	Ah	Ah
Kruipend zenegroen	R-CS	L-HRS	Ah	Ah
Moerasspirea	R-CR4	L-HRS	Ah	Ah/AC
Muskuskruid	R-CR2	L-HR	H/Ah	H/Ah
Penningkruid	R-CS	L-HS	Ah	Ah
Pinksterbloem	R-CC2	L-HRS	Ah	Ah
Ruige veldbies	R-CC3	L-GP	Ah	Ah
Ruwe smele	R-CC3	L-GP	Ah	Ah
Slanke sleutelbloem	R-CC2	L-HR	Ah	Ah/AC
Speenkruid	NVT	L-HR	NVT	Ah
Witte klaverzuring	R-CR2	L-HS	H/Ah	F/H
Zevenblad	R-CR2	L-HS	Ah	Ah

De meest oppervlakkige beworteling komt voor bij Grote muur. Hier wordt het rhizoom gevormd door de in de loop van het seizoen afleggende stengel waarbij adventiefwortels worden gevormd op de knopen. De stengeltop en evt. zijscheuten

van de oude stengel richten zich in de nazomer op en vormen nieuwe rechtopstaande stengels. Het geheel van oude en nieuwe stengels is oppervlakkig verankerd in de F/H-horizonten.

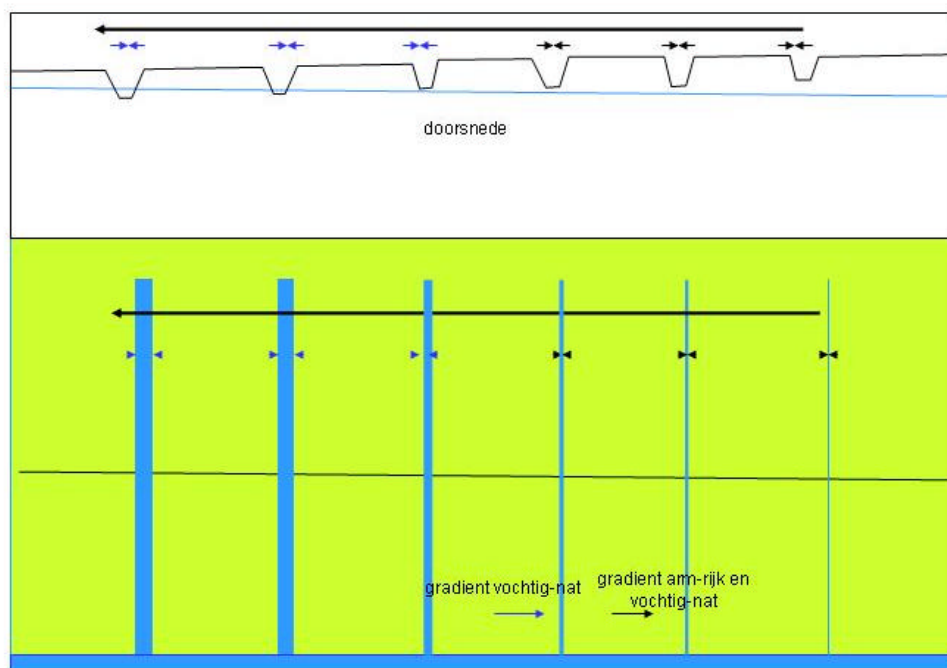
Enkele soorten foerageren met fijne, bossige adventiefwortels in de F- en H-laag (soms zelfs L-laag) en hebben rhizomen in de H-laag of op de grens van ectorganisch profiel en minerale bodem of zijn met enkelvoudige dunne wortels verankerd in de Ah-horizont. Het gaat hierbij om Witte klaverzuring en Gele dovenetel. Dit zijn tevens de meest strooiseltolerante soorten van betrekkelijk rijke bodem. Deze soorten zijn in staat om de bovengrondse delen te ontplooien boven de strooisellaag of om over de strooisellaag te kruipen. Muskuskruid, Dalkruid en Gewone salomonszegel positioneren, evenals Witte klaverzuring, hun wortelstokken in de voor groei mechanisch gunstige H-laag of op de grens van organische en minerale horizonten, maar foerageren, in tegenstelling tot Witte klaverzuring, met korte adventiefworteltjes vooral in de H- en Ah-laag. Al deze soorten zijn in zekere zin afhankelijk van een (dun) ectorganisch humusprofiel.

De meeste soorten van basenrijke bodem wortelen echter in de Ah-horizont. Dit geldt bijvoorbeeld voor alle grasachtigen. Ook enkele typische rhizoomcaulofyten, zoals Bosanemoon, Bosandoorn en Zevenblad, hebben zowel rhizoom als adventiefwortels (voornamelijk) in de minerale bodem.

4.6 Patronen

Voor zowel het begrip van verspreiding van soorten en het functioneren van de ecosystemen zijn de ruimtelijke patronen gevormd door het meso- en microreliëf van groot belang. Ook voor de gevolgen van beheersmaatregelen is het lokale patroon van groot belang. In het Smoddebos en de Grevenmaat worden de patronen deels door antropogene structuren bepaald die samenhangen met bevoeiing in het verleden. Een deel van Achter de Voort vertoont een meer natuurlijk patroon van eilanden en slenken.

Het lage gedeelte van het Smoddebos vertoont een grofweg elliptische vorm omgeven door een lage wal en een daar buitenom lopende afvoer. Het binnen de wal gelegen terreingedeelte helt licht van het zuidwesten naar noordoosten. Het patroon wordt hier gevormd door een stelsel van greppels en rabatten (figuur 20). Het water werd waarschijnlijk ingebracht (gestuwd vanuit Bethlehemse beek of Snoeijinksbeek) in hoogste deel in de zuidoost-rand van het bosreservaat op een hoogte van ca. 40 m NAP. De afwatering vond plaats in richting van de huidige begreppeling via een opening in de wal naar de greppel in de noordwest-rand van het reservaat en vandaar naar de Snoeijinksbeek op ca. 36 m NAP). De verspreiding van de verschillende plantensoorten wordt in de eerste plaats bepaald door een verdrogings - verzuringsgradiënt die samenhangt met de terreinhelling (ZW-NO). In tweede instantie zorgt de structuur van rabatten en greppels in het natte gedeelte voor een scherpe vochtgradiënt en in het hogere gedeelte voor een vocht-zuurgradiënt binnen de door de helling bepaalde overgang.

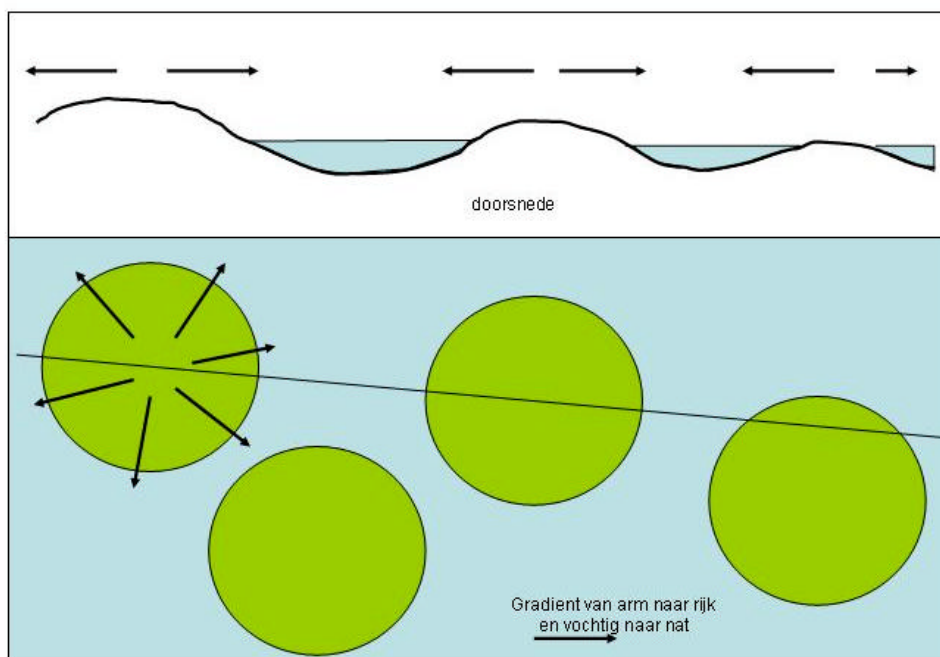


Figuur 21 Geschematiseerd patroon Smoddebos

Het patroon in de Grevenmaat is veel complexer en daarom hier niet afgebeeld. Hier worden de gradiënten bepaald door de diep ingesneden beek en de daarvan door een zandige beekoeverwal gescheiden keileemvlakte. De mate van insnijding is vooral bepaald door verlaging van de erosiebasis bij de aanleg van de A1. Het terrein helt ruwweg van west naar oost en watert voornamelijk af op de beek in de oostpunt van het terrein. Het licht hellende keileemvlak wordt doorsneden door een onregelmatig stelsel van greppels, zonder dat er sprake is van een rabattensysteem. De voornaamste vocht-zuur gradiënt wordt gevormd door het keileemvlak en de hogere zandige oeverwal. Binnen het keileemvlak vormen de greppels de scherpste gradiënt (vooral vocht en basen). Buiten de greppels is het keileemvlak wat droger dan het lage gedeelte van het Smoddebos waardoor de vocht-zuur gradiënt binnen dit vlak geen rol meer speelt.

In Achter de Voort worden de grovere verschillen bepaald door wat hogere en verdroogde tereingedeelten (dek- en keizand op keileem) en lagere tereingedeelten in het zuidoosten en noorden. Het lange transect ligt in het lage gedeelte in het zuidoosten en heeft een structuur van kleine eilandjes en laagten (figuur 21). De eilandjes hebben meestal een doorsnede van 3 tot 10m. Deze structuur wordt in het buitenland in weinig gestoorde oude boskernen op sterk stagnerende keileemplateaus aangetroffen. Mooie voorbeelden zijn aan te treffen in de zeer oude boskernen van Forst Bentheim (D) en in Draved Skov, Klåbygård Skov en Bolderlevs Skov in Zuid-Jutland (Hommel et al. 2003). A-locatie de Haverkamp ten zuidwesten van

Glanerbrug is in Nederland het beste voorbeeld na Achter de Voort. Het hoogteverschil tussen de eilandjes en de aangrenzende slenken is veelal minder dan een meter. Door de verhoogde verdamping van de volwassen bomen op een eilandje is het verschil in grondwaterpeil wat groter dan het hoogteverschil. Tussen eilandjes en laagten komen grote overgangen in vochtvoorziening (vochtig tot zeer nat) en basenhuishouding (matig zuur tot zuur) voor die geaccentueerd worden door grote verschillen in humusontwikkeling.



Figuur 22 Geschematiseerd patroon Achter de Voort

Hoe deze eilandstructuur ontstaat is nog onduidelijk. Een verklaring hangt samen met het wortelstelsel van de bomen. De wortels kunnen niet diep in de stugge keileembodem doordringen en verbreiden zich vooral lateraal. Tijdens het groeiproces drukt het uitdijende wortelstelsel de bovenliggende bodemlaag omhoog zodat rond de stam het maaiveld steeds wat hoger komt te liggen. Een andere verklaring kan gelegen zijn in het omvallen van de door stagnatie en bodemopbouw relatief ondiep wortelende oude bomen waardoor eilandjes ontstaan die op hun beurt een gunstige groeiplaats vormen voor opvolgers. Tot slot kunnen processen van oppervlakkige erosie en sedimentatie direct verantwoordelijk zijn geweest waarbij eilandjes en laagtes zijn ontstaan als gevolg van verschillen in textuur en de aanwezigheid van vegetatie, met name bomen en struiken.

4.7 Humus en vegetatie

Smoddebos

Transect I van het Smoddebos wordt gekarakteriseerd door lemige humusprofielen met binnen 20 cm hydromorfe verschijnselen (gley- en roestvlekking). De humusprofielen zijn voor het overgrote deel volledig endorganisch, dat wil zeggen volledig mineraal zonder uitwendige strooisellaag. Dit ontbreken van een strooisellaag is terug te voeren op snelle omzetting van het strooisel door de vrij hoge basebezetting en pH en het aanbod van goed verteerbaar strooisel (voornamelijk essenstrooisel). Vrije kalk is nergens in de bovengrond aangetroffen. Op profielen van de twee laatste waarnemingspunten na behoren ze alle tot de Beekhydromulls. Deze hydromulls zijn kenmerkend voor kwelgevoede standplaatsen met grondwater periodiek aan of boven maaiveld en met een vrij grote wisseling in grondwaterpeil. In uiterlijke kenmerken verschillen de Beekhydromulls nauwelijks van elkaar in dit transect (zie figuur 11). Hooguit komen op de rabatten in het tweede deel van transect I de hydromorfe verschijnselen wat lager in het profiel voor. Uit veldwaarnemingen blijkt echter dat in de greppels (punt 1, 8 en 10) en op de laaggelegen rabatten (punt 1,2 en 4) het grondwater in winter en voorjaar geruime tijd boven maaiveld (of boven de greppelbodem) staat. In de overige punten van het transect komt het grondwater alleen bij uitzondering lang boven maaiveld. Uit bodemanalyses blijken deze minder natte plekken aanzienlijk zuurder te zijn (gemiddelde pH(KCl) van 3,5 respectievelijk 5,0 in de bovenste 5 cm) en een lagere Ca verzadiging (38% respectievelijk 85 %) te hebben. De waterkwaliteit (tussen S2,3 en 4) is vergelijkbaar (aanhangel II). Het natte transectgedeelte kenmerkt zich door een grote soortendiversiteit met naast zeldzame soorten als Slanke sleutelbloem en Gulden Boterbloem vooral Bosanemoon, Gele dovenetel, Grote muur, Witte klaverzuring, Moerasspirea en Ruw beemdgras (zie figuur 14). De Slanke sleutelbloem en de Gulden boterbloem staan langs en in de greppel maar ontbreken op de natste en modderigste rabatten (punt 1 en 2). Het voorkomen van beide soorten in deze smalle zones wijst erop dat zij qua standplaats in de bankschroef zitten tussen enerzijds het anaërobe wat eutrofe milieu waar ze ten onder gaan in de concurrentie met robuustere sneller groeiende soorten en anderzijds het te basenarme milieu op de drogere rabatten. In droge periodes kunnen de laagste rabatten sneller uitdrogen dan de greppels, waardoor in korte tijd verhoogde mineralisatie van N en P kan plaatsvinden door aërobe oxidatie van de organische stof. Deze dynamiek bevoordeelt uiteindelijk de ruigtsoorten. Ook Boszegge, Ruwe smele, braam en Muskuskruid en zaailingen van Zomereik en Gewone es redden het niet in het natste en meest modderige gedeelte. Op deze plekken is de zuurgraad en de Ca-verzadiging wat lager in de wortelzone dan op de waarnemingsvlakken met Slanke Sleutelbloem en Gulden boterbloem (zie figuur 11, Aanhangel I). Mogelijk dat het lithocliene grondwater wat moeilijker tot de bovengrond doordringt dan in en nabij de greppels. Gezien de hogere sulfaat-gehalten (rond de 100mg/l: aanhangel II) zou oxidatie van pyriet hier enige invloed hebben (zie 4.1).

Waarschijnlijk is echter vooral dat de zuurstofhuishouding (periodiek anaërobe wortelmilieu) ongunstig voor deze soorten. In het iets drogere gedeelte van het transect (punten 5,6,7 en 9) is de pH en de Ca-verzadiging aanzienlijk lager dan in het natte gedeelte. Hier komen naast Bosanemoon, Gele dovenetel en Grote muur

vooral Muskuskruid, Boszegge, Ruwe smele en Groot heksenkruid voor. Aan het einde van transect I (punten 11 en 12) veranderen de humusprofielen (Zure wormmull en Ectowormmull). De hydromorfe verschijnselen zitten dieper in het profiel (in het algemeen een teken van gemiddeld diepere grondwaterniveaus). Bovendien zijn hier zeer dunne maar duidelijk herkenbare ectorganische humuslagen aangetroffen. Dit heeft twee oorzaken: enerzijds heeft door de diepere grondwaterstanden het basenrijke grondwater minder invloed op de wortelzone, anderzijds bestaat de boomlaag aan dit einde van het transect uit Zomereik met een minder goed verteerbaar strooisel (zie figuur 11). De pH en de calciumverzadiging zijn hier lager dan in de overige punten van het transect maar gelijk of hoger dan in de Beekhydromulls (dus zonder ectorganisch laag) van de Grevenmaat (punten 1,2 en 4). Hier blijkt echter de aard van het strooisel van groot belang: in de Grevenmaat wordt het humusprofiel beïnvloed door het makkelijk verteerbare strooisel van de Ruwe iep en niet door de Zomereik. De soortenrijkdom is hier weer wat minder dan op de Beekhydromulls; soorten als Boszegge, Groot Heksenkruid, Muskuskruid en Speenkruid ontbreken hier. Sporadisch zijn nog anemonen aan te treffen. Witte klaverzuring Gele dovenetel en Grote muur bepalen hier het aspect.

In het tweede transect van het Smoddebos behoren vrijwel alle humusprofielen tot de Akkermullmoders (figuur 11). Deze humusprofielen zijn gevormd in antropogeen beïnvloede bodems (regelmatig geploegd, geroerd of opgehoogd met plaggen of ander bodemmateriaal). Ze bestaan uit ectorganische humuslagen die echter in totaliteit altijd dunner zijn dan de A-horizonten (minerelae bovengronden). De totale voorraad aan P is in deze gronden wat hoger (Kemmers & Mekking 2003) dan in de hydromulls en de wormmulls van transect I wat waarschijnlijk samen hangt met het voormalige landgebruik. De P is hier waarschijnlijk aan aluminiumoxiden geabsorbeerd in tegstelling tot transect I waar ijzeroxiden de fosfaatbuffer vormen (Kemmers en Mekking 2003). De verschillen zijn echter niet groot genoeg om te kunnen spreken van een sterk bemest antropogeen dek (oud bouwlanddek). Waarschijnlijk is in dit transect meer sprake geweest van ophoging met lokaal bodemmateriaal (rechtstreeks opgebracht of via bevoeiing opgehoogd). De verhoogde P-anorganisch-gehalte houden meer verband met de bevoeiingsgeschiedenis. De belangrijkste bodemkundige factor blijkt hier in transect II het diepere grondwater waardoor uitspoeling van o.a. basen uit de bovengrond kan plaats vinden. Resultaat hiervan is een lagere pH en Ca-verzadiging in de wortelzone (resp. 3,0 en 14%). Overigens blijkt uit de analyse van het grondwater in raai II dat het aandeel (door landbouw) beïnvloed water (figuur 5) groter is dan in raai I. Dit is wellicht te verklaren door uitspoeling van nutriënten uit de antropogeen beïnvloede, eutrofe bovengrond in raai II. Ook de pyrietoxidatie kan hier een rol gespeeld hebben (zie 4.1). De accumulatie van strooisel wordt naast de bodemchemische aard bevorderd door de dominantie van Zomereik in de boomlaag. Het eikenstrooisel versterkt het verzuringsproces door de humuszuren die bij omzetting van het eikenstrooisel vrijkomen (Hommel et al. 2003). Witte klaverzuring en in minder mate Gele dovenetel blijken, door hun wortelstrategie en wijze van vegetatieve vermeerdering geen hinder te ondervinden van een substantiële ectorganische laag (zie 4.5). Alle andere kenmerkende soorten van de natte keileembossen zijn hier afwezig. Zo blijkt uit de gegevens van de Grevenmaat dat Muskuskruid wel vrij lage pH's en Ca-

verzadiging kan verdragen, maar allergisch lijkt voor ectorganische lagen. Het verschijnen van Dalkruid in dit milieu is volgens verwachting. Dalkruid kan zich uitstekend handhaven in dikke ectorganische humusprofielen (inclusief de H-laag) en het basenarme zure milieu. Het pleksgewijs ontbreken van zowel Gele dovenetel als Dalkruid heeft meer te maken met verspreidingswijze en -snelheid in dit betrekkelijk jonge bos. De enige plekken met een iets hogere pH en calciumverzadiging zijn de greppels (pH 3,7 tot 4,1 resp. rond de 50%). Ondanks de wat rijkere omstandigheden accumuleert in de greppels ook strooisel. Door het ontbreken van het antropogene dek en de hydromorfe kenmerken ondiep in het profiel behoort het humusprofiel hier tot de Wormhydromullmoders. Wat soorten betreft wijkt deze plek af door het voorkomen van Aalbes een soort van de wat eutrofore beekdalen.

Grevenmaat

De Grevenmaat (figuur 12) is in zijn geheel wat minder nat dan het Smoddebos. Door de wat drogere toestand en de daardoor geringere invloed van het aangerijkte grondwater is de wortelzone gemiddeld wat zuurder en de basenverzadiging geringer. Alleen in de greppels komen Beekhydromulls voor met een pH van boven de 5,5 en een calciumverzadiging nabij de 100%. Het transect ligt op de voormalige vloeiveide met een gemiddelde hoogste grondwaterstand van iets onder maaiveld. De lage C/P verhoudingen in de laag 5-25 cm (60-90) duiden wellicht op de historische achtergrond als vloeiveide of houden verband met het hogere ijzergehalte van de bodem (400-500mg/100g; de P is gebonden aan het ijzeroxide). In tegenstelling echter tot Smoddebos II zijn hier vrijwel geen sporen van een antropogeen dek. Punt 1 t/m 8 zijn wat betreft zuur- en basenhuishouding het best te vergelijken met het meest verzuurde deel van transect I in het Smoddebos (punten 11 en 12). De pH varieert van 2,8 tot 3,5 en de calciumbezetting van 18 tot 50%. In exact hetzelfde moedermateriaal zijn er kleine maar opvallende verschillen gevonden in bodemchemische eigenschappen in vooral de eerste 0-5cm van de minerale bovengrond en wel tussen de eerst vier en de laatste vijf punten van het transect. In de eerste helft van het transect is de pH en vooral de calciumverzadiging hoger dan in het tweede deel. Deze verschillen komen ook naar voren in de samenstelling van de ondergroei en de veldkenmerken van het humusprofiel. Het transect begint met een dominante aanwezigheid van Muskuskruid met bijmenging van Witte klaverzuring onder de kroon van een Ruwe Iep. In het tweede deel van het transect, onder een kronendak van eik, es en Haagbeuk verdwijnt het Muskuskruid en overheerst de Witte klaverzuring samen met Grote muur. De humusprofielen waarin het Muskuskruid groeit behoren grotendeels tot Beekhydromulls (zonder ectorganische laag en met hydromorfe verschijnselen binnen twee decimeters) met een dunne (1,5 cm), extreem kruimige en luchtige, lemige laag waarin Muskuskruid en Witte klaverzuring wortelen (figuur 11). De laag is zeer rijk aan wormen. Het humusprofiel in het zuurdere traject bestaat uit een goed verteerde moderachtige ectorganische laag met bijmenging van leem en zand (Hzi) die geleidelijk overgaat in het (hydromorfe) minerale deel van het profiel (Boshydromoder). De ectorganische laag is enkele centimeters dik en vormt het wortelmilieu voor de Witte klaverzuring en de Grote muur. Dat de verschillen zich vrijwel beperken tot de eerste centimeters van het humusprofiel wijst erop dat de strooiselkwaliteit hier de onderscheidende factor is. Van Iep is bekend dat deze basenrijk en goed verteerbaar strooisel aflevert

(Rackham, 1980 ;Hommel et al. 2002). Es doet dat ook, Haagbeuk is intermedair en eik produceert slecht verteerbaar strooisel. Dat de verspreiding van Muskuskruid samenvalt met de kroonprojectie van de iep spreekt hier boekdelen. In het tweede deel van het traject overheerst het eikenstrooisel ten opzichte van het goed verteerbare strooisel van de es.

De rijkere soorten als Slanke sleutelbloem komen nog slechts sporadisch voor in de greppels waarin de invloed van het rijkere stagnatiewater voor een hogere pH en basenverzadiging zorgen. Langs de greppelflank naar de rabat neemt de pH en de basenverzadiging sterk af. Op de rabat is zelfs een vrij dikke ectorgansich laag ontwikkeld (Boshydromoder). Op de rabat worden plaatselijk bosanemonen aangetroffen. Het patroon van deze soort is weinig informatief daar de indruk bestaat dat de Bosanemoon hier zich vrij recent heeft gevestigd.

Op de oeverwal langs de beek worden dikke ectorganisch lagen aangetroffen op minerale deels zandige bodems met hoog in het profiel gley- en ijzervlekking. Gezien de vrij diepe actuele grondwaterstand en de diepe insnijding van de nabijgelegen beek lijken de hydromorfe vlekking uit tijden te stammen met een hogere grondwaterstand. Dit verklaart de ontwikkeling van het humusprofiel met een dikke F- en H-laag. Door de hydromorfe vlekking zou het humusprofiel tot de Boshydromoder gerekend moeten worden. Daar naar onze inschatting de actuele GHG dieper is dan 20 cm is het hier gerechtvaardigd om van Holtmoder (droge moder met dikke Fz en Hh) of zelfs van Holtmormoder (mormoder met dikke Fa en Hh) te spreken. De boomlaag is hier Grove den en Zomereik, beide producenten van zuur, slecht verteerbaar strooisel.

Een verband tussen Groot springzaad en humus is onduidelijk. Het springzaad komt zowel op vrij zure Beekhydromulls voor als Beekhydromoders. Een hoge vochtbeschikbaarheid en een geringe blootstelling aan direct licht lijken doorslaggevend. Vestiging van springzaad op verterende boomlijken komt ook in de Grevenmaat voor.

Achter de Voort

Het lange transect in Achter de Voort ligt in het bosgedeelte met een min of meer natuurlijk microreliëf van matig vochtige eilandjes en natte laagten. In zekere zin zijn de eilandjes hier te vergelijken met de rabatten van het Smoddebos en de Grevenmaat en de laagten met de greppels. Hier is de sequentie van rijke, natte naar vrij droge zure wortelmilieus veel completer wat resulteert in een veel groter diversiteit van standplaatsen en plantensoorten op een klein oppervlak. Daarbij komt nog dat ook de laagten onderling verschillen doordat de ene meer geïsoleerd ligt van zijdelingse toestroom van oppervlaktewater dan de andere (zie waterkwaliteit in figuren 7 en 10). De kern van de eilandjes wordt gevormd door één of soms meer eiken met rond de stam een zure, matig droge standplaats die gekenmerkt wordt door een dik humusprofiel waarin ook dood hout een belangrijke component kan zijn en hydromorfe verschijnselen niet ondiep in het profiel voorkomen. Al naar gelang het dode hout zijn er Holtxeromoders met een dikke H-laag, Lignoxeromoders (met een hoog gehalte aan dood hout) of Humusxeromoders (met

een matig dikke H-laag) onderscheiden (zie figuur 12). Het zijn zure humusprofielen (2,7-3,9) met in het minerale gedeelte een lage calciumverzadiging maar met een vrij hoog ijzergehalte en vrij lage C/P. Het laatste heeft vooral te maken met het in het verleden vrij hoge organisch stofgehalte van de minerale bodem. Dit laatste duidt erop dat de minerale bodem van de eilandjes vroeger deel uitmaakte van een kwelgevoede moerasbodem. De soorten die op deze droogste eilandkernen worden aangetroffen zijn o.a. Witte klaverzuring, Dalkruid, Gewone salomonszegel, Wilde kamperfoelie, Bosanemoon, Ruige Veldbies, Gespleten Hennepnetel en Gewone Braam. Op de flanken in de overgang naar de permanent natte laagten komen soorten voor die bij een hogere basenverzadiging en of betere vochtvoorziening gedijen zoals Eenbes, Gulden boterbloem, Slanke sleutelbloem, Ijle zegge Ruwe Smele, Speenkruid, Heelkruid en Groot Heksenkruid. Het ectorganische deel van het humusprofiel op deze flanken is door de gunstiger omstandigheden voor omzetting van organische stof veel dunner dan in de kern van het eiland. Hier worden zure Mullprofielen met of zonder een dunne ectorganisch laag gevormd zoals Ectowormmulls en Zure wormmulls met op de overgang naar de laagte Beekhydromulls. Deze humusprofielen hebben een zuurgraad van 4 tot 5 met een calciumverzadiging van meer dan 40%, een C/P van rond de honderd en een GHG variërend van 20 cm onder maaiveld tot aan maaiveld.

De laagten kenmerken zich door waterstanden in het voorjaar en de vroege zomers tot soms meer dan een decimeter boven maaiveld. Sommige van deze laagten worden voornamelijk door matig ijzerrijk lithoclien kwelwater (met hoge gehalten aan bicarbonaten) gevoed (zie figuur 9. Andere laagten staan in verbinding met terreingedeelten die deels gevoed worden door het meer eutrofe kwelwater uit het kanaal. Deze laagten hebben dan ook een zeer ijzerrijke mengwaterkwaliteit (water met in verhouding meer SO_4^{2-} en minder HCO_3^- -ionen; zie figuur 9.) hetgeen duidt op oxidatie van pyriet (zie 4.1). In de meer geïsoleerde laagten komen Speenkruid, Dotterbloem, Moerasspirea, Kruipende boterbloem en Moeraswalstro voor. In deze laagten komen vooral Beekhydromulls voor; humusprofielen met een goede vertering van organische stof, een vrij dikke minerale bovengrond met een hoog organischstofgehalte en hydromorfe verschijnselen tot op het maaiveld. De meer “open laagten” zijn dieper en hier staat waarschijnlijk het water veel langer boven maaiveld. Door deze natte omstandigheden accumuleert een dun, basenrijk gyttja-achtige laagje op de Beekhydromull. De natte omstandigheden komen ook tot uiting in de dominantie van Moeraszegge, een soort die veel wordt aangetroffen in kwelgevoede broekbossen. De voorraad aan nutriënten geaccumuleerd in organische stof of gebonden aan het ijzer (fosfor) kan in de droge perioden door oxidatie en mineralisatie (nitrificatie) vrij komen. Dit verklaart het voorkomen van ruigtsoorten als Hondsdraf en Ruw beemdgras aan de randen van de laagten.

Naast het “eilandentranssect” zijn enkele punten beschreven aan de rand van het Elzenbroekbos. In de hoge flank hebben zich zure mulls met hydromorfe kenmerken binnen 20cm met een zeer dunne uitwendige strooisellaag ontwikkeld (ecto-Beekhydromulls) met een zuurgraad van iets boven de 3 tot nog geen 4 en een lage calciumverzadiging van 10 tot 15%. Hier wordt Schedegeelster aangetroffen. Lager op de flank komt Schedegeelster nauwelijks nog voor op een aanzienlijk nattere

Beekhydromull met een dunne moerige bovengrond. Dit humusprofiel is iets minder zuur en heeft een aanzienlijk hogere calciumverzadiging dan de hoger gelegen ecto-Beekhydromulls (pH van 3,3 tot 3,9 en een calciumverzadiging van 25 tot 33%). Nog lager in het Elzenbroekbos staat het overgrote deel van het jaar het grondwater boven of aan het maaiveld. Hier heeft zich een dun veenachtig humusprofiel kunnen ontwikkelen. De organische stof in dit profiel is grotendeels amorf en bevat nauwelijks herkenbare plantendeeltjes. Dit duidt op een snelle omzetting van de organische stof. De omstandigheden voor omzetting van het moerige materiaal zijn hier gunstig gezien de hoge pH (hoger dan 5,5, calciumverzadiging 90-100%) en ook de lage C/P-verhoudingen (60 tot 40). Opvallend zijn hier het hoge gehalte aan anorganisch fosfor (meer dan 60 mg per 100g) en de hoge ijzergehalten (1100 tot 1500 mg/100g). Dit duidt op een hoge aanvoer van fosfor dat gedeeltelijk gebonden wordt aan ijzeroxiden. Mogelijk dat de fosfaatmobilisatie samen hangt met pyrietvorming. In dit soort omstandigheden zal het humusprofiel zich nauwelijks naar een zuurder en minder eutroof semiterrestrisch type kunnen ontwikkelen. De ruige ondergroei van het elzenbroekbos met veel Grote brandnetel en Bitterzoet is het gevolg van de hoge beschikbaarheid van nitraat en fosfaat. Dit wijst op verhoogde mineralisatie als gevolg van periodieke verdroging. Het Broekbos wordt behalve door kwel (hoog ijzergehalte) blijkbaar ook gevoed door geeutrofiëerd landbouwwater uit de omgeving.

5 Grenswaarden van bodemchemie en humusprofiel

Uit een analyse van het voorkomen van soorten en kenmerken van de corresponderende humusprofielen kan een beeld worden verkregen van de grenswaarden van voorkomen ten opzichte van enkele simpele bodemchemische parameters (voor alle duidelijkheid het gaat hierbij niet om vestiging van de soorten). Daarbij zullen sommige soorten een grote tolerantie vertonen ten opzichte van verzuring, verdroging of eutrofiëring en blijken andere soorten snel te verdwijnen bij veranderende omstandigheden. Voor de belangrijkste soorten in de keileembossen zijn deze grenswaarden aangegeven in tabel 3.

De pH, calcium-verzadiging en de H/Ca-verhouding maar ook de humusvorm zijn indicierend voor alle processen die direct of indirect met verzuring (verdroging) van de standplaatsen in de keileembossen samenhangen. Hierbij moet opgemerkt worden dat over de complicerende effecten van de pyriet-oxidatie nog verder onderzoek vergt. Opvallend is dat de pH in het milieu van de natte keileembossen niet altijd de duidelijkste indicator is voor milieuveranderingen. In het pH(KCl) traject van 4 tot 6 verandert het buffersysteem van CaCO_3 -gestuurd naar silicaat- en aluminiumgestuurd (Verstraten 1982; Van der Salm 1999). In dit traject zijn calciumverzadiging en H/Ca-verhouding wat duidelijker differentiërende parameters dan de zuurgraad (Kemmers & De Waal 1999). Parameters als C/P-verhouding en anorganisch P-gehalte zijn een indicator voor de nutriëntenhuishouding. Bij de grenswaarden is rekening gehouden met de wortelstrategie van de kruidsoorten. Voor ondiep wortelende soorten is de laag 0-5 cm en de strooisellaag als indicierend genomen, voor de dieper wortelende soorten de laag 5-25 cm van de minerale bodem. Bomen en struiken wortelen althans in potentie dieper en onttrekken zich enigszins aan de hier genoemde grenswaarden. De grenswaarden zijn wel een indicator voor bepaling van de randvoorwaarden van vestiging van de houtige wassen.

Naast de bodemchemische parameters kan ook het humusprofiel als indicator worden gebruikt. Het voordeel is dat in het veld al een inschatting gemaakt kan worden van de basen- en zuurhuishouding. Een belangrijke grenswaarde bij de pH lijkt 4 tot 4,5. Onder pH 4 kunnen van de “rijkere soorten” alleen Grote muur, Gele Dovenetel en Witte klaverzuring zich nog goed handhaven. Muskuskruid en Bosanemoon zijn bij niet al te lage pH dan ook nog aanwezig. Dalkruid komt alleen onder zure omstandigheden voor en is in dit gezelschap de enige echte arme bossoort. Bijzondere soorten als Gulden boterbloem en Slanke sleutelbloem handhaven zich pas bij een pH van boven 5,0. Een vergelijkbaar beeld geeft de calciumverzadiging. Boven de 50 tot 60 % zijn de meeste kenmerkende rijke soorten nog aanwezig al behoeven zeldzame soorten als Slanke sleutelbloem en Gulden boterbloem een veel hogere calciumverzadiging. Ook hier kunnen Grote muur, Gele dovenetel en Bosanemoon en in mindere mate Muskuskruid zich nog lang handhaven bij een lage calciumverzadiging. Ruw beemdgras blijkt onder het verdwijnen van de calcium uit de wortelzone iets langer

Tabel 3 Grenswaarden voor enkele kenmerkende soorten van de stagnerende keilembossen uitgedrukt in pH, Ca-verzadiging, H/Ca-verhouding en C/P-verhouding in de wortelzone

soort	Bewortlings- laag	pH(KCl)	Ca-verza- diging %	H/Ca	C/P
Muskuskruid	0-5 cm	3,0 - 5,5	> 20	< 5,0	100-200
Bosanemoon	> 5 cm	> 3,5	> 10	1 - 20,0	50- 175
Dotterbloem	> 5 cm	>4,5	> 50	< 3,0	< 100
Pinksterbloem	> 5 cm	>4,5	> 50	< 2,5	50-150
Moeraszegge	> 5 cm	>4,5	> 60	< 2,0	< 100
Boszegge	>5 cm	>4,0	> 60	< 2,0	100-175
Haagbeuk (juveniel)	> 5 cm	3,0 – 5,0	< 100	> 1,0	75-175
Ruwe smele	> 5 cm	>4,0	> 60	< 2,0	100-175
Moeraszegge	> 5 cm	>4,5	> 60	< 2,0	< 150
Gewone es (juveniel)	> 5 cm	>3,5	> 40	< 3,5	< 150
Gele dovenetel	> 5 cm	3,5 – 6,0	< 100	< 30,0	50-175
Dalkruid	0-5cm, F, H	<3,5	< 20	> 10,0	> 100
Witte klaverzuring	0-5cm, F,H	<5,0	< 80	1 – 20,0	> 75
Gerimpeld boogsterrenmos	0-5cm	>4,0	> 40	< 2,5	125-200
Ruw beemdgras	> 5cm	>4,0	> 30	< 3,5	50 -150
Slanke sleutelbloem	> 5cm	>5,0	> 70	< 2,0	75-100
Gulden boterbloem	> 5cm	>5,0	> 90	< 1,5	125-175
Speenkruid	> 5cm	>4,0	> 50	< 2,5	< 175
Grote muur	> 5cm	<5,5	> 10	< 10	> 100

vol te houden onder de grenswaarde van 50%. Dalkruid blijkt hier een soort van sterk ontkalkte standplaatsen. De H/Ca-verhouding geeft een vergelijkbare kijk op de verzuringsgevoeligheid van de kenmerkende soorten als calciumverzadiging. Hier is de grenswaarde 2,0. Hierboven verdwijnen de meeste soorten behalve de notoire najlers Gele Dovenetel, Bosanemoon, Witte klaverzuring en in iets mindere mate Grote muur. Pas bij zeer hoge H/Ca verhoudingen (dus in sterk verzuurde situaties) verdwijnen deze soorten. Wat niet uit de pH trajecten blijkt maar wel al enigszins uit de calciumverzadiging is dat soorten als Ruw beemdgras en Muskuskruid toch eerder bij verzuring verdwijnen dan bovengenoemde soorten met een brede amplitudo. Voor de grenswaarde van kritisch soorten als Slanke Sleutelbloem en Gulden Boterbloem lijkt de H/Ca verhouding minder differentiërend dan de Ca-verzadiging. Ditzelfde geldt ten aanzien van Dalkruid.

De C/P-verhouding is een grove maat voor de fosforbeschikbaarheid. Hier lijkt de grens van 100 van belang. Onder deze grenswaarde zijn de soorten te vinden die gecorreleerd zijn aan een goede fosforbeschikbaarheid met onder de 50 soorten die in een eutroof milieu zich kunnen handhaven tussen de ruigtsoorten. Hiermee is overigens niet gezegd dat ruigtsoorten optreden als gevolg van lage C/P-waarden; nitraatbeschikbaarheid (niet geanalyseerd) speelt hierbij waarschijnlijk een veel grotere rol. De soorten die tenonder gaan in een eutroof milieu hebben een C/P-waarde van meer dan 100. Enkele soorten combineren een behoefte aan een basenrijke standplaats met een hoge pH en een hoge C/P. Dit zijn soorten die ook in en om bronachtige milieus kunnen worden aangetroffen. Soorten als Gulden Boterbloem en Boszegge horen tot deze groep.

Tabel 4 Humusvormen en humuskenmerken van kenmerkende soorten. RJ: hoe moeten de frekwenties worden geïnterpreteerd?

soort	Humusvorm	freq %	ectorga- nische laag	freq %	moerige laag	freq %
Muskuskruid	Beekhydromull	89	2-4cm	11		0
Bosanemoon	Beekhydromull	55	1-4cm	27	< 2 cm	9
Dotterbloem	Beekhydromull	100		0	< 5 cm	63
Pinksterbloem	Beekhydromull	100		0	< 2 cm	29
Moeraszegge	Beekhydromull	100		0	<5 cm	66
Boszegge	Beekhydromull	100		0		0
Haagbeuk (juveniel)	Beekhydromull	60	2-4cm	40		0
Ruwe smele	Beekhydromull	100		0		0
Moerasspirea	Beekhydromull	100		0	< 2cm	17
Gewone es (juveniel)	Beekhydromull	67	<2cm	11		0
Gele dovenetel	Beekhydromull	56	<10cm	38		0
Dalkruid	Mullmod./Moder	100	> 5 cm	100		0
Witte klaverzuring	Mullmod./Moder	62	<10cm	72	< 2 cm	3
Gerimpeld boogsterrenmos	Beekhydromull	100		0		0
Ruw beemdgras	Beekhydromull	100		0	< 2 cm	20
Salnke sleutelbloem	Beekhydromull	100		0		0
Gulden boterbloem	Beekhydromull	100		0		0
Speenkruid	Beekhydromull	83		0	<20 cm	8
Grote muur	Beekhydromull	54	<10 cm	38		0

Humusvormen indiceren in zekere mate ook veranderingen in de standplaatsen en markeren ruimtelijk overgangen tussen standplaatsen. Zo kan tussen pH 3,5 a 4,0 in de eerst 5cm van de minerale bovengrond onder bijvoorbeeld Zomereik en Haagbeuk een permanente strooisellaag ontstaan. De H/Ca verhouding ligt dan op ongeveer 3 en de calciumverzadiging op ongeveer 40%. Bij humusvormen met substantiële ectorganische lagen (matig dikke mullmoders en moders) ligt de pH van de laag 0-5 cm bij 3,0 de H/Ca groter dan 5 en de calciumverzadiging op 30%. Onder dikke humusprofielen in keileembossen is de pH nauwelijks lager. De H/Ca-verhouding ligt daar boven de 20 en de calciumverzadiging onder de 10% (Holtmoder en Holtmullmoders). De strooisellaag is echter niet alleen gecorreleerd met de soorten door de bodemchemische kenmerken van de minerale bovengrond maar kan ook een directe rol spelen als nutriëntenvoorraad of als obstakel voor vestiging van soorten (tabel 4). Klaverzuring is een soort die bij voorkeur wortelt in een ectorganisch laag evenals Dalkruid. Voorts zijn er soorten die indien eenmaal gevestigd een strooisellaag tolereren zoals Bosanemoon, Grote muur en Gele Dovenetel. Muskuskruid is een soort die wel zuurtolerant is maar strooiselvorming mijdt. De overige soorten uit de tabel behalve de juvenielen van Gewone es en Haagbeuk komen alleen voor op plekken waar de pH en basenverzadiging zo hoog zijn dat strooiselvorming niet plaatsvindt. Sommige soorten zijn daarbij gecorreleerd aan hydromulls waarop zich een moerige laag ontwikkelt. Deze hydromulls met moerige laag indiceren plekken waar het grondwater lange tijd boven maaiveld staat. Op deze plekken zijn vooral de soorten te vinden die een lange anaërobe periode kunnen trotseren zoals Dotterbloem en Moeraszegge.

6 Aandachtspunten voor beheer en regionaal beleid

6.1 Het belang van het mesoreliëf

De natuurwaarde van de stagnatiebossen op keileem en de grondwatergevoede bossen blijkt uit:

- de soortensamenstelling (het voorkomen van bijzondere plantensoorten)
- de grote diversiteit aan plantensoorten.

Het voorkomen van bijzondere soorten is vooral te danken aan de grondwaterkwaliteit en de continuïteit van het bos(landschap). Het licht basenhoudende water zorgt voor een stabiele en goed gebufferde standplaats waarin soorten als Gulden boterbloem, Eenbes en Slanke sleutelbloem zich kunnen handhaven. Ontwatering en verdroging zijn de grootste bedreigingen. Omdat de onderzochte systemen in hoge mate geïsoleerd zijn en niet afhankelijk van regionale kwelsystemen, zijn beheersmaatregelen gericht op het zo lang mogelijk in het systeem houden van water voldoende voor de instandhouding van de systemen. Door de verblijftijd van het regenachtige freatisch water te vergroten, waardoor het water langer in contact blijft met de basenhoudende keileemlagen, ontstaat een licht lithocliene grondwaterkwaliteit. Dit kan bevorderd worden door het dichtgooien van greppels of het afdammen van afwateringsgreppels. Dit laatste is een goedkope en veel gebruikte methode in Draved Skov in Denemarken (Hommel et al. 2003). Vraag is of op de lange termijn de keileemlaag niet verzuurt en de basenverzadiging afneemt. Waarschijnlijk is dit proces onder boomsoorten als es, iep en linde ,die in staat zijn met hun wortelstelsel basen uit de ondergrond op te nemen, niet het geval (Hommel et al. 2002). De bodemchemische samenstelling van de keileem in Draved Skov in Denemarken komt in hoge mate overeen met de samenstelling van de keileem in de drie onderzochte gebieden. In dit bos handhaaft zich onder linde, es en els een rijke ondergroei van voorjaarsbloeiers ondanks vrij lage pH's. Verdroging zal een versterkend effect hebben op de achteruitgang van de basenverzadiging en de verzuring. Dit effect wordt versterkt door bomen met een zuurgenererend strooisel als Beuk, Zomereik en diverse naaldhoutsoorten. Ook de aanwezigheid van pyriet, dat zich onder moerassige situaties vormt bovenin het bodemprofiel, kan een versterkend effect hebben (Runhaar 1999). Pyriet komt veel voor in zeekleien en lemige zeezanden en diverse beekafzettingen en oxideert bij verdroging en vormt daarbij zwavelzuur (katteklei effect) waardoor een versterkte verzuring optreedt. Het gebruik van water met een oppervalktewater-achtige kwaliteit bij het op peil houden van de waterkwantiteit ("beïnvloed water" zie figuren 8, 9, 10) lijkt geen goede optie vanwege het risico van eutrofiëring. De grondwaterfluctuatie, die zo krakeristiek is voor deze stagnatiebossen (lange perioden van hoog waterpeil vooral in de eerste helft van het groeiseizoen en zeer laag waterpeil aan het einde van de zomer), moet worden gehandhaafd.

De soortendiversiteit is vooral gebaat bij een eilandstructuur zoals die van nature voorkomt in grondwatergevoede en stagnatiebossen (Achter de Voort). Niet alleen levert deze structuur een mozaïek van standplaatsen die verschillen in drainage en

basenstatus, ook is de soortenrijkdom van de groeiplaats als geheel gebufferd ten opzichte van periodieke vernatting en verdroging: soorten kunnen uitwijken naar hogere of lagere terreindelen. Zowel structurele vernatting als verdroging is echter desastreus: beide processen doen de minigradiënten op de flanken van de eilandjes verdwijnen. Verdroging leidt uiteindelijk bovendien tot een arm systeem met een geringe soortdiversiteit. Alle vormen van beheer die dit mesoreliëf aantasten moeten achterwege blijven. Overweegt men in geval van ernstig verdroogde stagnatiebossen het systeem door vergraving te vernatzen dan verdient het aanbeveling zo af te graven dat een eilandstructuur ontstaat. In deze situaties bevorderen het voorkomen van eiken op de eilandjes de diversiteit door vorming van een zuur ectorganisch humusprofiel rond hun stam. Uitbreiding van uitwendig strooisel naar de randen van een eiland duidt op verzuring dan wel verdroging. De terreinen waarin het droog- nat verschil terug te voeren is op de terreinhelling zoals het Smoddebos tolereren een wat bredere marge bij verdroging en vernatting. Vraagstuk blijft hier of het opvoeren van het voorjaarsgrondwaterpeil door het dichtgooien van de greppels de diversiteit niet aantast. Zowel in de Grevenmaat als het Smoddebos (en nabijgelegen Duivelshof) zijn geppelkanten refugia voor de Slanke sleutelbloem. Het verdient hier de voorkeur naar Deens voorbeeld de afvoergreppels af te dammen. Op de hellende terreinen, zeker de verdrogende, speelt de boomsoort een andere rol dan bij de eilandjes. Draagt in Achter de Voort de Zomereik bij tot de diversiteit van het terrein, in de mesoreliëfarme Grevenmaat lijken boomsoorten met een mild strooisel de diversiteit te bevorderen (iep-Muskuskruid).

Het grote belang van het kleinschalige eilandenpatroon komt niet tot uitdrukking in de vegetatiekundige typering van het bos. Feitelijk gaat het hier om een systeemeigen ruimtelijke samenhang van elementen uit het Alno-Padion, Quercion en Carpinion.

6.2 Het belang van verticale heterogeniteit van het humusprofiel

Naast de ruimtelijke verschillen in humus en vegetatie ontwikkeling als gevolg van het mesoreliëf, bestaat er ook een verband tussen de verticale gelaagdheid van het humusprofiel en de vegetatieontwikkeling. Tussen de lagen van het humusprofiel kunnen grote verschillen bestaan in de zuurgraad, basen- en nutriëntenhuishouding en soms ook vochttoestand. Kruidachtige soorten kunnen sterk verschillen in architectuur van het wortelstelsel en zijn daardoor in mate van tolerantie en benutting van humushorizonten. Hierdoor verschilt ook de wijze waarop de verschillende kruidachtigen voedingsstoffen opnemen (zie 4.5).

Voor ondiep wortelende planten als Muskuskruid en Witte klaverzuring betekent dit dat de opbouw van de eerste 5 cm van het humusprofiel en de chemisch samenstelling van het verse strooisel van groot belang zijn. Van deze verbanden tussen beworteling en humusopbouw is nog weinig bekend. Uit ons veldonderzoek is echter gebleken dat beide, gezien hun wortelstelsel, gebruik maken van vers strooisel (L-laag) en half verteerd strooisel (F-laag) of kruimige losse bovenlaag van de Ah (Hri). Muskuskruid is weliswaar bestand tegen een lage zuurgraad (figuur 11,12), maar vereist snel verteerbaar strooisel met makkelijk beschikbare mineralen (zoals

van de iep). Witte klaverzuring verdraagt zuurdere omstandigheden en neemt genoeg met een lagere strooiselkwaliteit (in termen van lagere beschikbaarheid van mineralen en verteerbaarheid). Het belang van de basenrijke, minerale bodem ligt waarschijnlijk in de vestigingscondities.

Andere kruidachtige soorten wortelen in de minerale bodem en lijken daardoor ongevoelig voor omstandigheden in de bovenste humuslagen. Echter, veel soorten zijn voor vestiging sterk afhankelijk van basenrijke, minerale bodem. Niet alleen kiemplanten van veel soorten, maar ook volwassen rozetplanten (zoals Slanke sleutelbloem), diverse rozetstengelbladplanten (zoals Gulden boterbloem) en vrijwel alle grasachtigen zijn zeer gevoelig voor strooiselaccumulatie en niet of onvoldoende in staat hun fotosynthetisch apparaat boven de strooisellaag te brengen en te houden. Refugia voor Slanke sleutelbloem doen zich dan ook voor in steilkanten langs greppels, beken en op wortelkluiten.

In tegenstelling tot deze laatste groep kruidachtigen zijn struiken en bomen juist uitgerust om hun bladeren boven het strooisel en de kruidachtige vegetatie te brengen en te houden. Heel wat vegetaties kunnen door deze verschillende bewortelingsstrategieën in bodems met verticale heterogeniteit (op basis van kalkinhoud, organische stof, textuur of grondwaterinvloed) een combinatie van soorten herbergen met ogenschijnlijk tegengestelde standplaatsen.

Net als bij het mesoreliëf (zie 5.1) is de verticale heterogeniteit van het humusprofiel belangrijk voor het doen of laten van beheersingrepen. Hierbij is opnieuw het ruimtelijk patroon van belang. Een ruimtelijk uniforme opbouw van het humusprofiel biedt slechts plaats aan soorten die in staat zijn zich te handhaven en te (her)vestigen onder deze uniforme condities. Zo kan Witte klaverzuring in eerste instantie sterk profiteren van structurele verzuring waarbij een dun ectorganisch humusprofiel ontstaat. Het ruimtelijke patroon in verticale opbouw van het humusprofiel is in principe dynamisch en sterk afhankelijk van veranderingen in het ruimtelijk patroon van bomen en struiken, van verstoringsregimes als gevolg van actief beheer en begrazing en van dood hout en wortelkluiten. Een uniforme bosstructuur (qua soortensamenstelling en leeftijdsopbouw) gecombineerd met een uniform verstoringsregime (variërend van niets-doen tot hakhoutbeheer) biedt in het bos slechts onderdak aan zeer bepaalde plantstrategieën; andere strategieën overleven hooguit langs de bospaden (b.v. Bleeksporig bosviooltje bij een niets-doen beheer) of in de bosrand (b.v. Grote muur bij een hakhoutbeheer).

Ingrepen als plaggen, vergraven, grondwaterstandsveranderingen en het kappen van bepaalde struiken en bomen kunnen sterke invloed op het ontstaan van zowel differentiatie in humuslagen in de bovengrond als op ruimtelijk variatie. Vooral in bodems die wat betreft hun zuurgraad, mineralen- en nutriëntenhuishouding zich op de overgang van arm naar rijk bevinden, zoals de meeste keileemgronden, kunnen bovengenoemde ingrepen bepalen of het systeem al dan niet afglijdt naar een soortenarm, verzuurd milieu of een gedifferentieerd matig rijk milieu. De verticale geleiding in het humusprofiel is daarvoor een goede graadmeter (De Waal 1996; Hommel et al. 2003). Op dit terrein is nog veel gedetailleerd onderzoek nodig naar

de relatie standplaats en vegetatie. Het moge duidelijk zijn dat het humusprofiel als doorgeefluik tussen plant en bodem hierbij een cruciale rol speelt.

6.3 Het belang van seizoensdynamiek van grondwater

Een andere karakteristiek van de bossen op keileem zijn de fluctuaties in grondwaterpeil. De hydrologische systemen van de keileembossen zijn veelal klein en min of meer geïsoleerd en hebben daardoor een sterk fluctuerend karakter. Van de onderzochte objecten staat alleen Achter de Voort onder invloed van grotere hydrologische systemen (toevoer van grondwater uit de stuwwal van Ootmarsum en aanvoer van water uit het kanaal Almelo-Nordhorn). Deze fluctuaties van hoogste waterstanden boven maaiveld tot laagste grondwaterstanden beneden 1,5 meter onder maaiveld hangen samen met het sterk stagnerende karakter van de stugge keileembodem. Deze uitersten vallen normaliter samen met het vroege voorjaarspeil en het late zomerpeil van het grondwater. Hierop sluiten aan zowel de vochtuishouding met daaraan complementair de zuurstofhuishouding, als de mineralenhuishouding (nutriënten-, pyriet- en basenhuishouding). Over de precieze invloed van deze grote dynamiek op de vegetatieontwikkeling is op de keileemgronden nog maar weinig bekend. Vragen zijn hoelang de perioden met grondwater aan het maaiveld moeten zijn om de voorjaarsvegetatie in stand te houden en hoe lang de droge periode mag duren voor handhaving van het boscossysteem. Een belangrijke vraag is hierbij hoe lange de droge periode mag zijn zonder substantiële pyriet-oxidatie. Ook over de invloed van extreem droge of natte seizoenen is weinig bekend. Ingrijpen in de waterhuishouding van de keileembossen kan dus moeilijk inschatbare effecten hebben. Gezien het geïsoleerde karakter van deze boscossystemen is verbinding met grotere hydrologische systemen door aanleg van watergangen voor drainage- en/of aanvoer van water niet wenselijk.

Literatuur

Bakker, M. & L. van Tweel-Groot, 1998. Historische referentiebeelden voor de bossen van Twente. Historische ligging, beheer en samenstelling als referentie voor het huidige bosbeheer. Staring Centrum rapport 521, Wageningen.

Barkman, J.J., 1990. Groeivormen van planten in Nederland. Wet.Med.KNNV nr. 196, Utrecht

Broekhuis, M. Beheersrichtlijn "Achter de Voort", 1990. Stage verslag i.o.v. Staatsbosbeheer regio 7. Ootmarsum

Dort, K.W. van & A.P.P.M. Clerkx, 2003. Bosreservaat Smoddebos-Duivelshof. Bosstructuur en vegetatie bij aanwijzing tot bosreservaat. Alterra-rapport 752, Wageningen.

Giesen en Geurts. 1998. Analyse van humusmonsters uit het Springendal en het Vragenderveen. Opdrachtgever SC-DLO, Wageningen. Giesen & Geurts Biologische Projecten,. Ulft

Hartmann, F. 1951. Der Waldboden. Humus-, Boden- und Wurzeltypen als Standortsanzeiger. Österreichisches Produktivitäts-Zentrum. Wien

Hem, J.D. 1959. Study of interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol.Survey Water supply, Paper 1473.

Hommel, P.W.F.M., Th Spek, R.W. de Waal. 2002. Boomsoort, strooiselkwaliteit en ondergroei in loofbossen op verzuringsgevoelige bodem. Alterra-rapport 509, Wageningen.

Hommel, P.W.F.M., Th Spek, R.W. de Waal. 2003. Oude lindebossen op Jutland. Nederlands bosbouw tijdschrift. Jaargang 75 nr2, blz11 -21.

Jansen, P.C. 2001. Inventarisatie van waterkwaliteit voor ecologische doeleinden. Alterra-rapport 185, Wageningen

Kemmers, R.H. en R.W. de Waal. 1999. Ecologische typering van bodems. Deel 1. Raamwerk en humustypologie. SC Rapport 667-1. Wageningen

Kemmers, R.H., R.W. de Waal en S.P.J. Van Delft. 2001. Ecologische typering van bodems. Deel 3. Van typering naar kartering. Alterra rapport 352, Wageningen.

Kemmers, R.H., P.C. Jansen, S.P.J. van Delft, F. de Vries. 2002. Bloedarmoede in het Nederlandse landschap. Ontijzering van kwelgevoede gronden binnen de EHS en realisatie van natuurdoeltypen. Alterra-rapport 370, Wageningen.

Kemmers, R.H., R.W. de Waal, S.P.J. van Delft en P.Mekkink. Ecologische typering van de bodem. Landschap no. 19. 2002

Kemmers, R.H. & P. Mekkink. 2003. Bodemontwikkeling en nutriënten in het Smoddebos. Alterra-rapport 739, Wageningen.

Klinka, K. R.N. Green, R.L. Trowbridge en L.E. Lowe, 1981. Taxonomic classification of humusforms in ecosystems of British Columbia, First Approx. Min of Forest, Prov. Of British Columbia.

Kristiansen, M. 2000. Soil variations under ancient woodland in Denmark: natural and anthropogenic causes. Thesis, University of Aarhus. Aarhus

Ouden, J.B. den, M.E.A. Broekmeijer en H.G.J.M. Koop. 1997. A-locatie bossen in Overijssel. IBN-rapport 272, Wageningen.

Plašiková, J., 1970. A study of the root systems and root ecology of perennial herbs in the undergrowth of deciduous forests. Preslia 42: 136-152

Rackham, O, 1980. Ancient Woodland; its history, vegetation and uses in England. Edward Arnold, London.

Runhaar, H., 1999. Impact of hydrological changes on nature conservation areas in the Netherlands. Proefschrift, Universiteit van Leiden.

Scheffer F. , P. Schachtschabel, 1973. Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag. Stuttgart.

Salm, C. van der, 1999. Weathering in Forest Soils. Thesis University of Amsterdam. Drukkerij Elinkwijk B.V. Utrecht.

STIBOKA/STARING CENTRUM, div jaren. Toelichting bij de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000. Wageningen

Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel en R.W. de Waal, 1998. Boscossystemen van Nederland. 1. Broekbossen. KNNV. Utrecht

Sydes, C. & J.P. Grime, 1981. Effects of tree leaf litter on herbaceous vegetation in deciduous woodland. I. Field investigations. II. An experimental investigation. J.Ecol. 69: 237-248; 249-262.

Versfelt, H.J, 2003. De Hottinger-atlas van Noord- en Oost-Nederland 1773-1794. Heveskes Uitgevers, Groningen

Verstraten, J.M.,1982. De bodem als bufferend systeem tegen verzuring, inauguele rede aan de Universiteit van Amsterdam, 18 oktober 1982

Waal, R.W. 1996. De dynamiek van strooisellagen in bosccosystemen op de overgang van kalkrijk naar kalkarm. In: R.H. Kemmers (ed). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, 6 Oktober 1995. SC-Rapport 438.Wageningen.

Waal, R.W. de, A.H.F. Stortelder & A.C. Zuidhof. 1999. OBN-referentieproject Springendal/Korenburgrveen: meetsysteem en nulsituatie Springendal. KIWA, Nieuwegein

Waal, R.W. de, R.J. Bijlsma, E. Dijkman & M. van der Werff. 2001. Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. De Levende Natuur 102, 118-122.

Wieberdink, G.L. 1990. Historische Atlas Overijssel. Chromotopografische Kaart des Rijks 1:25.000. Robas Producties, Den Ilp.

Wirdum, G van, 1980. Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsveranderingen gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming. Comm.Hydr.Onderz. Den Haag.

Wolters-Noordhoff Atlasproducties, 1990. Grote Historische Atlas van Nederland 1:50.000. 3 Oost-Nederland 1830-1855. Wolters-Noordhoff, Groningen

Niet gepubliceerd:

Delft S.P.J. van , R. W. de Waal, 2002. Indeling van humusprofieltypen. Concept eind 2002.

Clerkx et al., 2003 Excursie gids van de bosreservaten Smoddebos en Bentheimer bos. Alterra Wageningen.

Aanhangels I Analyse-uitslagen bodem / humusmonsters

Alterra nr.	diepte/cm	locatie	pH- KCl	Gloeï- verlies	CEC	Uitwis selb.		P	P	Fe	Cabez	C/P	H/Ca
				%	cmol+/ kg	Ca	H	anorg.	totaal	oxal.			
								mg/10 0 g			%		
SI 1A1	0-5 cm	Smoldebos	3,90	18,0	34,6	27,8	38,1	4,6	46,2	147	80	217	1,4
SI 1A2	5-25cm	Smoldebos	4,90	4,3	25,6	22,3	31,2	4,9	24,9	143	87	109	1,4
SI 2A1	0-5 cm	Smoldebos	4,80	10,1	39,8	30,0	39,3	6,8	48,7	151	75	120	1,3
SI 2A2	5-25 cm	Smoldebos	5,00	7,3	32,9	29,7	33,5	5,2	39,1	149	90	108	1,1
SI 3A1	0-5 cm	Smoldebos	5,60	11,3	44,5	48,9	41,3	11,0	56,7	272	110	124	0,8
SI 3A2	5-25 cm	Smoldebos	5,70	7,3	37,6	40,5	29,6	8,2	33,3	270	108	145	0,7
SI 4A1	0-5 cm	Smoldebos	5,40	11,4	44,0	42,0	38,6	7,1	42,9	258	95,5	159	0,9
SI 4A2	5-25 cm	Smoldebos	5,40	9,0	34,9	34,1	33,3	6,8	38,8	207	97,9	141	1,0
SI 4B3	> 25 cm	Smoldebos	5,93	2,3	24,5	21,0	17,5	3,8	35,5	329	85,7	37	0,8
SI 5A1	0-5 cm	Smoldebos	3,70	13,3	42,3	23,2	53,1	4,5	35,4	171	54,9	215	2,3
SI 5A2	5-25 cm	Smoldebos	4,30	8,4	35,3	31,2	39,5	4,3	29,9	217	88,5	164	1,3
SI 6A1	0-5 cm	Smoldebos	3,80	13,9	41,6	19,5	51,1	3,6	39,2	201	46,8	195	2,6
SI 6A2	5-25 cm	Smoldebos	4,90	8,0	35,5	23,9	41,1	3,3	29,9	202	67,2	151	1,7
SI 7A1	0-5 cm	Smoldebos	4,40	10,7	37,8	28,5	39,2	4,4	41,1	157	75,4	147	1,4
SI 7A2	5-25 cm	Smoldebos	4,90	6,5	30,4	23,6	32,7	4,1	32,8	167	77,6	113	1,4
SI 7B3	> 25 cm	Smoldebos	5,67	2,9	24,6	19,5	25,7	2,8	24,4	160	79,3	68	1,3
SI 8A1	0-5 cm	Smoldebos	5,30	10,4	42,0	40,9	38,3	10,9	46,0	206	97,5	148	0,9
SI 8A2	5-25 cm	Smoldebos	5,10	7,1	34,7	33,4	31,8	7,7	36,8	161	96,1	122	1,0
SI 8B3	> 25 cm	Smoldebos	5,50	2,9	23,4	20,1	25,5	4,7	30,1	195	85,9	56	1,3
SI 9A1	0-5 cm	Smoldebos	3,70	14,7	37,6	17,2	53,1	4,7	49,0	144	45,8	166	3,1
SI 9A2	5-25 cm	Smoldebos	4,10	7,5	27,7	16,1	40,9	3,4	37,3	135	58,1	111	2,5
SI 10A1	0-5 cm	Smoldebos	5,60	9,2	38,9	35,8	45,7	12,3	49,6	291	92,0	124	1,3
SI 10A2	5-25 cm	Smoldebos	5,40	6,9	32,5	29,8	41,6	10,4	45,7	322	91,9	97	1,4
SI 10B3	> 25 cm	Smoldebos	5,81	2,2	23,8	20,7	34,5	5,3	27,2	391	87,0	51	1,7
SI 11A1	0-5 cm	Smoldebos	3,30	28,7	37,7	14,8	56,8	12,9	62,3	251	39,3	291	3,8
SI 11A2	5-25 cm	Smoldebos	3,80	6,8	26,3	16,2	40,3	4,5	34,4	310	61,7	114	2,5
SI 12A1	0-5 cm	Smoldebos	3,30	26,5	73,9	25,1	118,3	11,3	60,6	242	34,0	269	4,7
SI 12A2	5-25 cm	Smoldebos	3,80	7,5	33,3	13,8	48,9	5,2	40,5	211	41,5	106	3,5
SI 12B3	>25 cm	Smoldebos	4,22	5,1	27,2	17,2	38,8	2,9	40,5	423	63,2	68	2,3
AC													
SII 1A0	F+H	Smoldebos	2,80	45,2	74,2	26,9	167,4	18,6	74,8	119	36,2	402	6,2
SII 1A1	0-5 cm	Smoldebos	2,90	17,9	31,7	2,9	72,5	8,2	45,7	127	9,3	239	24,6
SII 1A2	5-25 cm	Smoldebos	3,50	4,7	26,2	0,5	46,8	2,4	22,1	109	1,7	119	103,4
SII 2A0	F+H	Smoldebos	2,90	47,2	89,2	23,8	165,0	16,9	72,7	103	26,7	423	6,9
SII 2A1	0-5 cm	Smoldebos	3,00	8,6	36,6	2,8	60,7	3,9	29,8	117	7,7	165	21,6
SII 2A2	5-25 cm	Smoldebos	3,50	4,2	26,1	0,6	48,2	2,5	24,6	87	2,2	95	83,7
SII 3A0	F+H	Smoldebos	2,70	42,0	99,1	27,5	170,4	15,3	65,7	128	27,7	416	6,2
SII 3A1	0-5 cm	Smoldebos	3,00	9,8	45,6	6,3	76,4	6,6	31,5	149	13,9	198	12,0
SII 3A2	5-25 cm	Smoldebos	3,50	4,8	25,5	0,7	47,1	3,0	26,8	103	2,5	101	72,4
SII 4A0	F+H	Smoldebos	2,60	36,1	92,0	26,7	174,1	11,1	58,9	100	29,0	378	6,5
SII 4A1	0-5 cm	Smoldebos	2,90	10,6	37,0	3,6	58,9	4,2	35,1	115	9,9	172	16,1
SII 4A2	5-25 cm	Smoldebos	3,50	3,9	26,3	1,6	44,8	3,4	20,7	112	6,2	113	27,7
SII 5A0	F+H	Smoldebos	2,80	48,7	136,4	38,0	208,2	18,9	86,6	93	27,8	360	5,5
SII 5A1	0-5 cm	Smoldebos	3,00	17,1	41,5	5,6	64,0	7,1	47,2	146	13,5	214	11,4
SII 5A2	5-25 cm	Smoldebos	3,70	4,9	29,9	3,6	43,3	3,2	24,0	108	11,9	118	12,1
SII 6A0	F+H	Smoldebos	3,00	44,3	42,0	27,7	73,4	21,6	102,2	286	65,9	275	2,7
SII 6A1 A	0-5 cm	Smoldebos	3,70	9,2	32,7	14,3	43,2	7,1	41,6	124	43,8	133	3,0
SII 6A2 A	5-25 cm	Smoldebos	4,10	5,2	27,6	14,4	34,7	4,3	29,2	127	52,1	104	2,4
Aa													

Alterra nr.	diepte/cm	locatie	pH- KCl	Gloei- verlies	CEC	Uitwis selb.		P	P	Fe			
				%	cmol+/ kg	Ca	H	anorg.	totaal	oxal.	Cabez	C/P	H/Ca
								mg/10 0 g			%		
SII 7A1	0-5 cm	Smoddebos	3,20	9,2	43,4	18,3	60,4	3,4	35,6	128	42,3	142	3,3
SII 7A2	5-25 cm	Smoddebos	4,00	4,6	26,0	17,0	32,0	2,3	17,7	128	65,2	148	1,9
SII 8A0	F+H	Smoddebos	2,80	45,3	90,0	32,7	149,3	10,3	67,9	142	36,4	393	4,6
SII 8A1	0-5 cm	Smoddebos	3,10	8,7	40,2	6,1	62,6	4,2	30,6	129	15,1	166	10,3
SII 8A2	5-25 cm	Smoddebos	3,60	4,7	25,7	1,0	39,8	2,4	24,1	83	4,0	109	38,5
SII 9A0	F+H	Smoddebos	2,80	32,1	105,9	24,2	169,1	7,0	48,8	110	22,8	384	7,0
SII 9A1	0-5 cm	Smoddebos	3,00	9,9	36,0	3,0	54,8	4,4	32,0	138	8,4	180	18,1
SII 9A2	5-25 cm	Smoddebos	3,50	4,5	24,8	1,4	42,3	2,8	22,0	134	5,7	116	29,9
SII 10A0	F+H	Smoddebos	2,70	54,8	128,0	25,6	181,1	14,0	83,5	129	20,0	394	7,1
SII 10A1	0-5 cm	Smoddebos	3,00	11,4	40,6	3,9	65,2	4,5	35,8	120	9,5	182	16,9
SII 10A2	5-25cm	Smoddebos	3,50	5,0	25,8	1,4	51,3	2,5	25,9	104	5,5	107	36,0
GI 1A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,78	24,8	82,8	12,1	142,3	9,6	120,6	717	14,6	112	11,8
GI 1A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,07	9,6	39,2	6,3	62,1	3,9	65,8	952	16,0	78	9,9
GI 2A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,87	24,7	54,4	17,6	96,0	6,7	89,2	918	32,4	150	5,4
GI 2A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,11	10,3	39,9	8,2	68,3	3,8	69,4	904	20,6	79	8,3
GI 3A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,01	24,2	51,6	17,7	100,0	6,2	115,9	988	34,3	110	5,7
GI 3A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,17	11,2	40,6	12,5	87,3	2,7	78,7	1114	30,7	74	7,0
GI 4A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,14	19,5	48,0	12,7	89,7	5,2	89,4	1033	26,4	116	7,1
GI 4A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,24	10,7	41,2	11,9	66,4	2,6	66,6	1123	28,9	84	5,6
GI 5A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,23	23,1	48,2	15,6	87,0	4,9	91,4	721	32,4	134	5,6
GI 5A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,20	8,7	37,5	8,4	61,2	2,6	55,5	710	22,5	83	7,2
GI 6A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,22	15,7	42,4	16,4	82,5	4,5	74,4	605	38,7	112	5,0
GI 6A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,27	8,6	37,4	9,0	69,9	3,1	64,8	728	24,1	70	7,7
GI 7A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,45	23,2	43,9	21,3	64,5	6,6	94,5	436	48,5	132	3,0
GI 7A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,31	7,7	34,9	6,8	52,3	3,1	55,8	565	19,6	73	7,6
GI 8A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,51	14,1	41,6	11,8	52,1	4,5	71,3	620	28,4	106	4,4
GI 8A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,41	7,1	32,4	7,0	51,1	2,9	60,7	515	21,6	61	7,3
GII 1A1	0-5 cm	Grevenmaat	5,61	25,9	50,0	68,3	61,4	26,7	131,9	905	136,6	123	0,9
GII 1A2	5-25 cm	Grevenmaat	5,32	11,3	36,9	32,5	43,2	14,3	74,7	420	88,1	94	1,3
GII 2A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,89	13,9	39,9	19,7	44,8	4,6	70,6	414	49,2	105	2,3
GII 2A2	5-25 cm	Grevenmaat	4,66	9,9	35,4	24,5	48,3	4,0	71,5	320	69,3	73	2,0
GII 3A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,01	30,1	73,4	19,3	160,2	5,6	90,7	349	26,3	177	8,3
GII 3A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,23	8,4	33,2	3,0	51,1	3,0	53,6	479	9,1	84	17,0
GIII 1A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,75	11,2	33,5	1,4	67,7	1,7	43,8	239	4,2	133	48,4
GIII 1A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,16	5,5	23,6	0,4	75,6	0,9	51,1	228	1,6	54	203,0
GIII 2A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,91	8,5	29,3	0,8	38,3	1,9	42,8	477	2,7	103	48,1
GIII 2A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,23	5,7	26,5	0,5	30,0	2,0	43,2	486	1,7	69	64,9
GIII 3A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,93	7,6	29,1	0,9	38,2	2,1	68,4	628	2,9	57	44,6
GIII 3A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,25	5,9	24,7	0,6	31,5	1,7	50,7	618	2,4	60	52,7
GIV 1A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,05	15,4	40,4	7,3	50,0	4,4	57,0	417	18,1	147	6,8
GIV 1A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,14	6,8	29,8	2,7	36,5	1,9	46,5	514	8,9	76	13,7
GIV 2A1	0-5 cm	Grevenmaat	3,12	13,7	41,5	9,0	54,7	2,8	69,0	716	21,7	103	6,1
GIV 2A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,15	9,4	37,8	5,9	45,9	1,6	59,8	777	15,7	81	7,8
GIV 3A1	0-5 cm	Grevenmaat	2,80	9,0	31,6	2,6	40,4	4,5	43,7	400	8,1	115	15,7
GIV 3A2	5-25 cm	Grevenmaat	3,03	5,3	24,1	0,9	36,6	1,8	28,1	307	3,9	102	39,1
VI 1A1	0-5 cm	Achter de V.	3,87	12,5	35,8	15,1	43,2	4,6	62,5	298	42,2	108	2,9
VI 1A2	5-25 cm	Achter de V.	4,61	5,9	23,7	14,4	22,4	3,4	35,1	236	60,7	93	1,6
VI 2A1	0-5 cm	Achter de V.	4,43	12,5	37,3	24,5	31,5	4,4	54,1	360	65,8	126	1,3
VI 2A2	5-25 cm	Achter de V.	4,82	5,7	26,8	17,1	24,3	2,3	31,6	265	63,9	98	1,4
VI 3A1	0-5 cm	Achter de V.	4,69	11,7	35,5	26,8	31,8	7,9	68,6	413	75,6	96	1,2
VI 3A2	5-25 cm	Achter de V.	4,70	3,6	22,9	15,9	20,5	4,6	53,6	354	69,6	37	1,3

Alterra nr.	diepte/cm	locatie	pH- KCl	Gloe- verlies	CEC	Uitwis selb.		P	P	Fe	Cabez	C/P	H/Ca
						Ca	H	anorg.	totaal	oxalaa t			
				%	cmol+/ kg			mg/10 0 g			%		
VI 4A1	0-5 cm	Achter de V.	4,62	9,4	32,6	21,8	33,1	5,1	66,2	121	67,0	77	1,5
VI 4A2	5-25 cm	Achter de V.	4,66	4,8	23,3	13,6	27,9	3,3	42,9	50	58,3	61	2,1
VI 5A0	F+H	Achter de V.	2,71	66,2	108,7	40,2	176,0	11,8	121,6	24	37,0	302	4,4
VI 5A1	0-5 cm	Achter de V.	2,85	26,1	41,8	7,3	76,0	3,9	62,3	244	17,6	224	10,3
VI 5A2	5-25 cm	Achter de V.	3,08	10,1	34,3	2,5	52,8	2,0	55,2	475	7,4	95	20,8
VI 6A0	F+H	Achter de V.	2,87	48,5	115,0	27,6	152,7	13,9	111,2	152	24,0	249	5,5
VI 6A1	0-5 cm	Achter de V.	2,87	20,8	42,1	6,3	66,6	5,2	61,5	205	15,0	184	10,5
VI 6A2	5-25 cm	Achter de V.	3,37	6,9	26,4	1,7	43,1	3,1	48,0	312	6,5	77	25,3
VI 7A0	F+H	Achter de V.	2,82	36,1	91,9	16,0	129,3	5,6	130,8	185	17,4	144	8,1
VI 7A1	0-5 cm	Achter de V.	3,11	16,7	41,2	3,3	65,0	2,7	71,3	502	8,1	122	19,4
VI 7A2	5-25 cm	Achter de V.	3,67	7,0	28,3	3,8	40,1	1,9	45,4	257	13,3	81	10,6
VI 8A1	0-5 cm	Achter de V.	4,43	19,7	42,7	34,8	54,5	8,2	79,6	408	81,4	138	1,6
VI 8A2	5-25 cm	Achter de V.	5,03	6,8	30,5	21,9	31,9	2,9	45,7	152	71,6	80	1,5
VI 9A1	0-5 cm	Achter de V.	4,53	13,9	39,2	26,3	47,9	8,5	82,1	499	67,0	94	1,8
VI 9A2	5-25 cm	Achter de V.	4,66	5,6	27,4	15,0	34,4	4,9	56,0	242	54,6	55	2,3
VI 10A1	0-5 cm	Achter de V.	5,25	14,8	40,6	38,6	44,1	26,3	92,6	1037	95,2	112	1,1
VI 10A2	5-25 cm	Achter de V.	4,91	7,6	34,0	19,7	35,7	15,5	55,6	814	57,9	94	1,8
VI 11A1	0-5 cm	Achter de V.	5,38	20,0	55,8	59,5	59,3	52,1	142,9	3466	106,7	110	1,0
VI 11A2	5-25 cm	Achter de V.	5,36	4,3	26,7	21,3	33,3	17,3	46,3	1781	79,6	74	1,6
VI 12A1	0-5 cm	Achter de V.	5,60	13,5	47,1	44,5	45,8	40,1	124,7	1680	94,5	80	1,0
VI 12A2	5-25 cm	Achter de V.	5,19	3,6	25,8	16,6	31,5	15,0	55,5	869	64,5	44	1,9
VI 13A1	0-5 cm	Achter de V.	5,69	8,8	29,8	21,7	21,3	22,2	69,3	802	72,8	94	1,0
VI 12A2	5-25 cm	Achter de V.	5,29	3,4	21,7	10,2	28,9	13,3	50,0	554	47,1	46	2,8
VII 1A1	0-5 cm	Achter de V.	3,07	10,1	32,3	2,8	43,5	14,5	79,1	474	8,8	78	15,4
VII 1A2	5-25 cm	Achter de V.	3,62	4,9	24,2	3,5	28,9	6,6	38,2	337	14,5	77	8,2
VII 2A1	0-5 cm	Achter de V.	3,32	10,5	33,7	8,3	39,4	15,4	61,1	450	24,7	115	4,7
VII 2A2	5-25 cm	Achter de V.	3,83	4,6	23,4	7,7	26,1	14,9	51,8	312	32,8	62	3,4
VII 3A1	0-5 cm	Achter de V.	5,72	7,4	29,4	28,3	51,5	61,0	115,7	1183	96,3	67	1,8
VII 3A2	5-25 cm	Achter de V.	5,92	4,8	26,4	23,3	45,3	68,8	125,1	1432	88,0	43	1,9

Aanhangsel II Analyse-uitslagen grondwatermonsters

nr.		Locatie	EGV	pH	Ca	Mg	K	Na	SO4	Cl	HCO3		
			mS/m		mg/l						mmol/l		
S1	rabbat	Smoddebos	112,0	7,5	130,8	19,6	3,9	44,7	97,3	95,0	6,5		
S2	rabbat	Smoddebos	85,8	7,0	128,9	15,7	7,1	15,1	28,6	32,0	8,0		
S3	greppel	Smoddebos	78,8	6,8	96,1	14,0	5,8	25,6	22,1	48,2	5,8		
S4	rabbat	Smoddebos	86,4	7,2	125,3	15,5	6,4	30,2	18,3	48,2	7,6		
G1	greppel	Grevenmaat	48,2	6,8	62,4	10,1	1,8	14,9	12,8	30,9	3,6		
G2	keileemvlak	Grevenmaat	76,5	7,2	96,9	16,6	3,6	23,3	35,7	61,8	5,2		
G3	greppel	Grevenmaat	162,0	7,5	213,6	27,9	0,8	60,2	208,3	102,0	9,2		
G4	rabat	Grevenmaat	130,0	7,4	164,5	23,8	0,7	46,4	164,2	82,3	7,1		
V1	laagte	AchterdeVoort	104,0	6,9	128,6	15,0	5,1	26,7	142,5	62,6	5,3		
V2	laagte	AchterdeVoort	219,0	6,7	277,6	40,6	12,7	48,3	556,0	105,6	7,1		
V3	eilandje	AchterdeVoort	260,5	7,2	423,5	38,2	3,7	59,1	715,5	150,0	7,1		
V4	flank van rug	AchterdeVoort	37,1	6,3	40,1	5,4	1,6	14,4	16,6	33,8	2,3		
V5	laagte	AchterdeVoort	52,8	6,6	67,4	6,2	2,6	25,9	45,3	52,2	3,1		

			K	A	K+A	dKA	ECc	ECm	dEC	IR	pH sat	Ver	Stuyfzand
			mmol+-/l			%	mS/m		%		10°C	za- digi ngs	watertype
S1	rabbat	Smoddebos	10,2	11,2	21,4	-4,8	109,5	112,0	2,2	70,9	7.06	7,5	F3CaHCO3+
S2	rabbat	Smoddebos	8,6	9,5	18,1	-5,2	86,3	85,8	-0,6	87,7	6.96	7,0	F3CaHCO3+
S3	greppel	Smoddebos	7,2	7,6	14,8	-2,7	73,6	78,8	6,6	77,9	7.20	6,8	F3CaHCO3+
S4	rabbat	Smoddebos	9,0	9,3	18,3	-1,8	88,1	86,4	-2,0	82,1	6.99	7,2	F3CaHCO3+
G1	greppel	Grevenmaat	4,6	4,7	9,4	-1,0	48,0	48,2	0,5	78,1	7.56	6,8	F2CaHCO3+
G2	keileemvlak	Grevenmaat	7,3	7,7	15,0	-2,5	76,1	76,5	0,5	73,5	7.25	7,2	F3CaHCO3+
G3	greppel	Grevenmaat	15,6	16,4	32,0	-2,6	160,4	162,0	1,0	78,7	6.74	7,5	F4CaHCO3+
G4	rabat	Grevenmaat	12,2	12,8	25,0	-2,6	128,0	130,0	1,6	78,0	6.94	7,4	F3CaHCO3+
V1	laagte	AchterdeVoort	8,9	10,0	19,0	-5,7	100,0	104,0	3,8	78,4	7.15	6,9	F3CaHCO3+
V2	laagte	AchterdeVoort	19,6	21,7	41,3	-4,9	216,2	219,0	1,3	82,3	6.79	6,7	F3CaSO4 +
V3	eilandje	AchterdeVoort	26,9	26,2	53,2	1,3	272,7	260,5	-4,7	83,3	6.64	7,2	F3CaSO4 +
V4	flank van rug	AchterdeVoort	3,1	3,5	6,7	-6,4	36,1	37,1	2,6	67,8	7.93	6,3	F2CaHCO3
V5	laagte	AchterdeVoort	5,1	5,5	10,6	-4,3	56,8	52,8	-7,6	69,6	7.60	6,6	F2CaHCO3

Aanhangsel III. Groeivorm van plantensoorten in relatie tot het humusprofiel: een voorlopige uitwerking

De vorming van een ectorganisch humusprofiel heeft grote gevolgen voor zuurgraad, Ca-verzadiging en mineralisatie in de top laag van de bodem: er ontstaat een gelaagdheid die, afhankelijk van de soort, meer of minder hindert of kan worden benut bij de opname van nutriënten. Ook verschilt de mechanische weerstand van de ectorganische laag meestal sterk van die van de minerale ondergrond, zeker in bossen op stagnatiebodems. Ook hier is de vraag in hoeverre een soort kan profiteren of niet van een organisch, makkelijk doorwortelbaar substraat. Tot slot kan de aanwezigheid van persistent strooisel op zich een belangrijke hindernis vormen voor de groei van nieuwe stengels en bladeren in het voorjaar en kunnen bladeren zo bedekt worden door strooisel dat de fotosynthese wordt geremd (Sydes & Grime 1981). De groeivorm, zowel boven- als ondergronds, bepaalt dus de tolerantie ten aanzien van diverse eigenschappen van het humusprofiel en mede daarmee de kans op overleving van een overblijvend plantenindividu.

Om aspecten van groeivorm van volwassen, overblijvende kruidachtige planten te kunnen beoordelen ten opzichte van kenmerken van het humusprofiel is een classificatiesysteem voor beworteling en bebladering toegepast op een aantal bosplanten die in het kader van dit project voorzichtig zijn uitgegraven. Ten aanzien van beworteling is de indeling van Plašiková (1970) aangepast en voor de bebladering die van Barkman (1990). Deze indelingen zijn vereenvoudigd tot een systeem waarmee de onder- en bovengrondse plasticiteit kan worden beschreven, zowel horizontaal als vertikaal.

Uiteraard speelt het humusprofiel ook een zeer belangrijke rol bij de vestiging van planten uit zaad of sporen. Hierover is echter al veel literatuur beschikbaar.

Beworteling

Alle onderzochte soorten zijn caulofyten in de zin van Plašiková: soorten met overblijvende wortelstelsels die, morfologisch gezien, als stengels moeten worden beschouwd en overblijvende adventiefwortels vormen. Binnen deze groep kunnen de volgende typen worden onderscheiden (voorlopig vereenvoudigd naar Plašiková uitsluitend op basis van het uitgegraven materiaal):

code	type	omschrijving	voorbeeldsoort
R-CC	Typische caulofyten	rhizoom afwezig, enkelvoudig of kort en weinig vertakt, niet modulair; adventiefwortels meer of minder aanwezig over de gehele lengte van het rhizoom	
R-CC1		rhizoom dun en horizontaal	Donkersporig bosviooltje
R-CC2		rhizoom kort, horizontaal of vertikaal, met dichtgeplaatste adventiefwortels	Gulden boterbloem
R-CC3		wortelstelsel ogenschijnlijk fibreus	Ruwe smele
R-CR	Rhizoom-caulofyten	rhizoom aanwezig, van verschillende lengte; min of meer modulair, met adventiefwortels op groeipunten, bij de (voormalige) bladinplanting e.d.	
R-CR1		rhizomen vrij dik en vlezig, met korte jaarlijkse aangroei	Bosanemoon
R-CR2		rhizomen lang, vertakt, niet vlezig, vaak dun en elastisch	Dalkruid
R-CR3		rhizomen ontstaan uit afstervende, legerende (bloei)stengels	Grote muur
R-CR4		rhizomen cilindrisch en relatief kort	Moerasspirea
R-CS	Stoloon-caulofyten	bovengrondse stengels met wortelende groeipunten of knopen	Gele dovenetel

Bebladering

Ten aanzien van de bebladering is vooral de plaatsing van de bladeren aan de stengel van belang (vereenvoudigd naar Barkman):

code	omschrijving	voorbeeldsoort
L-GP	overblijvende grasachtigen, bladen vnl. in het maaiveld	Boszegge
L-HR	kruidachtige wortelrozetplanten	Slanke sleutelbloem
L-HRS	kruidachtige rozetstengelbladplanten	Geel nagelkruid
L-HS	kruidachtige stengelbladplanten	Groot heksenkruid

Interpretatie van groeivormen

De betekenis van de groeivorm t.a.v. eigenschappen van het humusprofiel ligt vooral in de mogelijkheid te ontsnappen aan of juist gebruik te maken van ectorganische lagen (L, F, H). In grote lijnen neemt de tolerantie t.a.v. strooisel toe volgens de bewortelingsreeks reeks R-CC (typische caulofyten) < R-CR (rhizoomcaulofyten) < R-CS (stolooncaulofyten) en de bebladeringsreeks L-GP=L-HR (grasachtigen en wortelrozetplanten) < L-HRS (rozetstengelbladplanten) < L-HS (stengelbladplanten). Typisch-caulofytische wortelrozetplanten, zoals Slanke sleutelbloem en Muurhavikskruid, hebben geen enkele ontsnappingsmogelijkheid in horizontale en verticale richting (anders dan via zaad) en worden volgens dit simpele schema het meest bedreigd door strooiselaccumulatie. Uiteraard spelen specifieke aanpassingen (strategieën) een grote rol en de tolerantie of behoefte ten aanzien van strooiselaccumulatie moet dan ook voor elke soort afzonderlijk worden beoordeeld.