



Kennisnetwerk OBN

De nutriëntenkringloop tijdens herstel van basenrijke, vochtige bossen

Onderzoek op intacte en aangetaste boslocaties, en verslag van een bodemtransplantatie-experiment



De nutriëntenkringloop tijdens herstel van basenrijke, vochtige bossen

**Onderzoek op intacte en aangetaste boslocaties, en
verslag van een bodemtransplantatie-experiment**



© 2022 IPO, Vereniging het Interprovinciaal Overleg, BIJ12, uitvoeringsorganisatie van de gezamenlijke provincies, Utrecht.

Rapport- en projectnummer: OBN-2018-100-NZ
Driebergen, 2022

Deze publicatie is tot stand gekomen met financiële bijdragen van BIJ12, het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de provincies Noord-Brabant, Overijssel en Gelderland.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

*Wijze van citeren: Brouwer, E., R.F. van der Burg, M.L. Franssen, G.A. van Duinen, A.J.M. Jansen, J. van Diggelen & W.J. Emsens, 2022. **De nutriëntenkringloop tijdens herstel van basenrijke, vochtige bossen.** Rapportnummer OBN-2018-100-NZ, Driebergen.*

Deze uitgave is online gepubliceerd op www.natuurkennis.nl

Samenstelling
Emiel Brouwer, Onderzoekcentrum B-WARE
Rob van der Burg, Bosgroep Zuid Nederland
Louise Franssen, Stichting Bargerveen
Gert-Jan van Duinen, Stichting Bargerveen
André Jansen, Stichting Bargerveen
José van Diggelen, Onderzoekcentrum B-WARE
Willem-Jan Emsens, Onderzoekcentrum B-WARE

Foto voorkant
Foto graaf: Eiken-Haagbeukenbos in de Geelders, Noord-Brabant.
R. van der Burg

Productie
Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres: Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon: 0343-745250
E-mail: info@vbne.nl

Woord vooraf & dankwoord

Voor u ligt het eindrapport over herstel van vochtige, basenrijke bossen op de zandgronden en de rol van de nutriëntenkringloop hierin. Aanleiding voor dit onderzoek waren vragen uit de praktijk. Evenals veel andere ecosystemen, zijn onze soortenrijke bossen op veel plekken sterk gedegradeerd door onder meer sterke ontwatering, stikstofdepositie en een veranderd gebruik van de bossen. Gelukkig wordt de laatste jaren op steeds meer plekken geprobeerd om gedegradeerde bossen weer te herstellen. Twee veel gebruikte methoden zijn het herstel van de hydrologie en het terugbrengen van de oorspronkelijke boomsoorten met beter afbreekbaar en basenrijker strooisel. Een belangrijke vraag is vervolgens wat er gaat gebeuren met de laag zure humus die zich op veel plekken heeft opgehoopt. Komt de afbraak weer op gang, en leidt het vrijkomen van de voedingsstoffen tot verzuuring of worden deze vastgelegd aan de bodem, in de vegetatie of in stabiele humus?

Dit onderzoek is een initiatief van het OBN-netwerk en wordt deels gefinancierd vanuit OBN. Daarnaast zijn er drie provincies die tegen de genoemde vragen opliepen bij het herstel en behoud van vochtige bossen, én die bereid waren het uitgevoerde onderzoek in belangrijke mate te financieren. Dit waren de provincies Noord-Brabant, Overijssel en Gelderland. Bij de uitvoering van het onderzoek hebben we veel hulp gehad van diverse terreinbeheerders van Staatsbosbeheer en de Vereniging Natuurmonumenten, met name bij het selecteren van locaties, het opsporen van de juiste peilbuizen en hierbij horende meetgegevens en het bijeenbrengen van allerlei achtergrondgegevens. Dit waren Ellen ter Stege, Michiel Schaap, Adrienne Lemaire, Annemieke Ouwehand, Rick Ruis, Hans Backx, Roos Amarante van Driel, Nola Leenen en Lucas den Besten.

Verder hebben een aantal medewerkers van de organisaties die het onderzoek hebben uitgevoerd veel praktisch werk opgeknapt. Jeroen Graafland en Rick Kuiperij hebben lange dagen gemaakt bij het opsporen en bemonsteren van peilbuizen, en het zoeken naar verplaatste plaggen, en een kromme rug gekregen van het uitzetten van de experimenten. Voor hun assistentie bij het veld- en labwerk danken we verder Jan Kuper, Julian Brouwer en Carmen Hiddes. De LESA's zijn van nuttig commentaar voorzien door Remco Versluijs, Ilse Diepeveen en Boy Possen. En Leon van den Berg heeft geholpen bij de analyse van de lichtmetingen.

Speciale dank gaat uit naar Marcel Horsthuis, die zowel het tussenrapport als het concept-eindrapport van uitgebreid en zeer nuttig commentaar heeft voorzien.

Wij wensen u veel leesplezier toe!

Emiel Brouwer, mede namens de overige auteurs

Summary

The area of old forest in the Netherlands is small, and most of the small remains are situated on dry, acidic, sandy soils. Species rich, deciduous forests on damp soils are restricted to some slopes in the province of Limburg, and to loamy soils that can be found scattered throughout the Pleistocene sand areas. In the latter areas, many of the remaining forests suffer from intensive drainage or have acidified after drainage and the plantation of tree species with very base-poor litter such as Beech (*Fagus sylvatica*) and Pines (*Pinus species*). Furthermore, excess nitrogen deposition accelerates acidification and causes further eutrophication. Restoration efforts concentrate on the reduction of drainage and replacement of tree species producing base-poor litter by more characteristic species that generally produce more base-rich litter.

In the first part of this study, rich deciduous forests were studied from a landscape scale down to soil-nutrient-biodiversity interactions. On a landscape scale, four types of forests were distinguished, based on differences in hydrologie. Two forest types depend on local hydrological systems that are present on top of a clay or loam layer in the upper meters of the soil. Stellario-Carpinetum forest is present on the somewhat more elevated parts, whereas Alno-Padion forest is present on sites with influence of groundwater during a large part of the year. In particular along small rivers, Alno-Padion forests occur on sites with seepage of groundwater from larger aquifers, mostly sand layers. Here, a distinction is made between sites with moderate groundwater seepage from thin aquifers and sites with continuously high groundwater pressure transported through thick sand layers.

The nutrient cycle of two woodland types (Alno-Padion and Stellario-Carpinetum woodlands) was studied in intact situations as well as drained and/or acidified situations. In intact situations, the forest soil has a high capacity to immobilize phosphorus, probably due to binding of phosphorus to iron and/or calcium, and by incorporation in living and dead organic matter. High groundwater levels in winter, containing iron and calcium, assure the continuous immobilisation of phosphorus. Under the current circumstances with a high nitrogen deposition, plant growth is primarily limited by a low phosphorus availability. However, drainage reduces the supply of groundwater containing calcium and iron and ultimately leads to acidification and reduced immobilisation of phosphorus. The acidification accelerates the release of phosphorus bound to iron and calcium compounds. Thus, drainage and/or acidification leads to periodically enhanced availability of phosphorus. After prolonged and severe acidification this phosphorus will eventually be immobilised by aluminium. Drainage also leads to an enhanced availability of nitrate, because temporarily wet and anaerobic conditions that enable denitrification are becoming rare. Moreover, atmospheric nitrogen deposition further enhances the nitrogen availability. The simultaneously enhanced availability of both nitrogen and phosphorus leads to a rapid expansion of species preferring acidic, nutrient rich conditions, such as brambles (*Rubus species*) and Ivy (*Hedera helix*).

Both the acidification of the topsoil and the shift towards more base-poor litter trigger serious changes in the soil community. First, invertebrates such as earthworms (*Lumbricidae*) and millipedes (*Diplopoda*) decline. As a consequence, the reduction of the particle size of the litter ("shredding") slows down and the mixing with the mineral, loamy topsoil comes to a halt. A sharp boundary between the mineral soil and a layer of coarse, acid, poorly humified litter develops. In the litter layer, fungal activity and in particular bacterial activity is reduced, which further stimulates the accumulation of coarse organic matter. In this layer, litter-decomposing fungi and ectomycorrhizal fungi that are often facultative saprophytic, become dominant. Such as Funnel mushrooms (*Clitocybe species*), Rollrim mushrooms (*Paxillus species*) and Common earthball (*Scleroderma citrinum*).

In the second part of the study, a transplantation experiment was carried out. Sods from the ectorganic topsoil on a drained and acidified site (Achter de Voort, Overijssel), were transplanted to four different location types: intact locations, drained (but not acidified) locations, acidified (but not drained) locations and locations that were both drained and acidified. Within two years, clear

differences developed between the sods on intact locations on the one hand and the sods on drained + acidified locations on the other hand. On intact sites, sods were quickly colonized by earthworms and other invertebrates. A peak in nutrient availability occurred in all sods, partly as a result of the transplantation itself. However, in the intact situation a more active phosphorus immobilisation was observed. The size of the sods (1 x 1 meter), the area needed for all the different samples and the very uneven sod thickness did not allow reliable measurements of a possible reduction of the thickness of the litter layer (=sod thickness). After two years, the sods were colonized by all kind of plant species that were also present in the surroundings of the receiving site and to a lesser extent by species from the donor site. Notwithstanding the peak in nutrient availability in the year after transplantation, no significant increase occurred of plant species indicating eutrophic conditions.

On a landscape scale, the basis for restoration of damp deciduous forests is often formed by restoration of the hydrology. For the forest types that depend on clay- or loam layers in the subsoil, restoration of the local system on top of this layer is most important. Restoration of the forest types along the rivers is often more difficult, because hydrological problems (quantitative as well as qualitative) are present on a larger, regional scale and generally extend beyond the boundaries of the nature reserves.

On a site-level, the barriers towards a different alternative stable state have to be overcome; the acidified top layer with coarse organic matter must become less acid and the mixing with a well buffered mineral subsoil must be restarted. The data from the reference sites and in particular from the transplantation experiment suggest that it is possible to make this transition if the original hydrological conditions and groundwater composition can be restored, and if sufficient "rich litter" tree species are present. Plant growth is primarily limited by a low phosphate availability and forest soils rich in loam have enough capacity to immobilise additional phosphorus that is released when decomposition is again activated. However, if the hydrology is not fully restored, if the mineral soil is strongly acidified or if "poor-litter" trees are still dominant, there is a significant risk that plant species from eutrophic circumstances become dominant.

The report is concluded with a contribution to possible restoration measures, based on the newly gained insights.

Samenvatting

Het areaal goed ontwikkeld, oud bos is in Nederland klein en het grootste oppervlak ligt op de droge, kalkarme zandgronden. Snippers soortenrijke vochtige bossen zijn vooral nog te vinden op de Zuid-Limburgse krijthellingen, aan de binnenduinrand en in sommige beekdalen, en op leembossen verspreid in het zuiden en oosten van Nederland. Deze beekdalbossen en leembossen hebben sterk te lijden van ontwatering, waardoor verzuring optreedt. De aanplant van bomen met basenarm strooisel, zoals Beuk (*Fagus sylvatica*) en dennen (*Pinus* spp) heeft deze verzuring nog aanzienlijk versterkt. Een verdere aantasting vond en vindt plaats door de te hoge stikstofdepositie. Deze leidt tot vermesting en tot nog verdere verzuring. Bij het herstel van vochtig bos staan daarom ingrepen in de waterhuishouding en in de boomsamenstelling centraal, waarbij gestreefd wordt naar herstel van voldoende hoge, maar niet te hoge grondwaterstanden en naar herstel van een kroonlaag met een voldoende aandeel soorten met relatief basenrijk strooisel.

In het eerste deel van dit onderzoek zijn vochtige bossen op leemgronden en in beekdalen bestudeerd in een brede context, dat wil zeggen zowel vanuit de landschappelijke context als op het niveau van de standplaats. Op landschapsschaal zijn op basis van hydrologische kenmerken 4 typen vochtig bos onderscheiden. In twee typen is een lokaal hydrologisch systeem aanwezig op een klei- of leemlaag in de bovenste 1-3 meter van de bodem. Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum*) is aanwezig op de iets hogere en iets minder vochtige plekken, terwijl op plekken die alleen in de zomer oppervlakkig uitdrogen het Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*) overheerst. Op permanent natte plekken kunnen ook broekbossen aanwezig zijn, maar deze zijn voor dit onderzoek niet bekeken. In beekdalen staan vochtige bossen vooral onder invloed van grotere grondwatersystemen. Hier vinden we Vogelkers-Essenbos, vaak in mozaïek met of volgend op de gradiënt van Elzenbroekbos (*Alnion glutinosae*). Er is een type onderscheiden dat afhankelijk is van een gematigde grondwatertoevoer uit een relatief dun zandpakket waarbij de grondwateraanvoer in droge tijden sterk vermindert, en een type dat kenmerkend is voor een jaarrond sterke grondwatertoevoer uit een dik zandpakket.

Zowel in intacte vormen van deze bossen als in door verzuring, verdroging en/of vermesting aangetaste bossen, is de nutriëntencyclus in detail bekeken: de aanvoer van voedingsstoffen via het strooisel en de mate waarin deze voedingsstoffen worden vastgelegd aan de bodem, in het bodemleven en in de vegetatie. In de intacte situatie kan de bodem veel fosfaat vastleggen, waarschijnlijk doordat fosfaat kan binden aan ijzer en/of calcium, maar ook doordat fosfaat wordt ingebouwd in levende biomassa en achterblijft in een moeilijk afbreekbare restfractie humus. Hoge grondwaterstanden in de winter zorgen voor een jaarlijkse aanvulling van de voorraad calcium en ijzer. Bij de huidige hoge stikstofdepositie wordt de plantengroei vooral beperkt door een lage beschikbaarheid van fosfor. Ontwatering leidt ertoe dat er onvoldoende aanvulling van de calcium- en ijzervoorraden plaatsvindt, waardoor fosfaat minder goed bindt aan de bodem. Ook vindt er geleidelijk verzuring plaats, wat het vrijkomen van nog gebonden fosfaat versnelt. Zo leidt verdroging via verzuring tot vermesting. Ook de dominantie van bomen met basenarm strooisel leidt tot verzuring en vermesting.

Ontwatering leidt ook tot een verhoogde nitraatbeschikbaarheid. In intacte bossen wordt veel nitraat op natte, zuurstofarme plekken omgezet in gasvormig stikstof en afgevoerd naar de lucht. Deze afvoer vermindert bij verdroging. Daarnaast zorgt de veel te hoge stikstofdepositie voor een verdere aanrijking met stikstof. De mobilisatie van fosfor en de ophoping van stikstof leiden tot een sterke toename van enkele eutrafente, zuurtolerante plantensoorten zoals bramen (*Rubus* spp) en Klimop (*Hedera helix*).

Zowel de oppervlakkige bodemverzuring als de dominantie van boomsoorten met basenarm strooisel zorgen voor een grote verschuiving in het bodemleven dat is betrokken bij de strooiselafbraak, die zichtbaar wordt in de verschuiving van mull- en moder-humusprofielen naar mor-humusprofielen. Eerst gaan ongewervelden zoals wormen (*Lumbricidae*) en miljoenpoten

(*Diplopoda*) achteruit. Deze soortgroepen versnipperen het strooisel en mengen dit met de vaak lemige ondergrond. Wanneer dit niet meer gebeurt, ontstaat een scherpe grens tussen een laag zure, ruwe humus en de minerale ondergrond. In deze ruwe humuslaag wordt de activiteit van bodemleven sterk geremd, waarbij vooral zuurtolerante schimmels nog in enige mate actief zijn. Dit zorgt voor een snellere ophoping van ruwe humus. In de humuslaag domineren saprotrofe schimmels, of schimmels die ectomycorrhiza vormen maar er deels ook een saprotrofe levenswijze op na kunnen houden. Bijvoorbeeld Trechterzwammen (*Clitocybe* spp), Krulzomen (*Paxillus* spp) en Aardappelbovist (*Scleroderma citrinum*).

In het tweede deel van dit onderzoek is een transplantatie-experiment uitgevoerd. Plaggen van een zure humuslaag die ontstaan was op een ontwaterde en verzuurde locatie (Achter de Voort, Overijssel), zijn verplaatst naar 4 verschillende situaties:

- Intacte locaties met vochtig bos
- Ontwaterd vochtig bos met een (nog) niet verzuurde bodem
- Verzuurd, maar niet ontwaterd, vochtig bos
- Zowel ontwaterd als verzuurd vochtig bos

Binnen twee jaar na verplaatsing vonden er duidelijke verschillen in ontwikkeling plaats tussen de plaggen die in de intacte bossen zijn geplaatst en de plaggen die in de ontwaterde en verzuurde bossen zijn geplaatst. De plaggen op intacte locaties werden snel gekoloniseerd door wormen en andere ongewervelden. In alle plaggen werd het eerste jaar een piek gemeten in de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen; een effect van de verstoring als gevolg van de verplaatsing. Maar vooral in de plaggen in de intacte situatie werd daarna ook weer een sterke daling van de fosfaatbeschikbaarheid gemeten. Door het vrij kleine formaat van de verplaatste plaggen (1x1 meter), de hoeveelheid materiaal die nodig was voor de andere metingen, de vrij sterk variërende dikte van de plaggen, en de menging met de bodem onder de plag, was het niet mogelijk om een statistisch betrouwbare uitspraak te doen over de mate waarin de humuslaag na twee jaar was afgebroken. Na twee jaar waren de plaggen gekoloniseerd door allerlei plantensoorten die al aanwezig waren in de plaggen, en in mindere mate ook door soorten die aanwezig waren op de locaties waar de plaggen zijn neergelegd. Ondanks de forse piek in beschikbare voedingsstoffen in het eerste jaar werden de plaggen niet sneller gekoloniseerd door eutrafente plantensoorten dan door kenmerkende bossoorten.

Op landschapsschaal wordt de basis voor herstel van vochtige bossen vooral gelegd door het herstel van de hydrologie. Voor de stagnatiebossen betekent dit vooral herstel van het lokale grondwatersysteem boven ondiepe klei- of leemlagen. Vaak kan hier worden volstaan met "interne" maatregelen, dus maatregelen binnen het natuurgebied zelf. Het hydrologisch herstel van de beekdalbossen is vaak moeilijker, omdat zowel de kwantiteit als de kwaliteit van het grondwater vaak beïnvloed is door agrarische grondgebruik rondom het beekdal. Vooral indien er sprake is van grondwater uit een dik zandpakket, kan de hydrologische beïnvloeding tot kilometers buiten de reservaatsgrenzen reiken.

Op standplaatsniveau moeten de knelpunten worden overwonnen die een terugkeer naar de oorspronkelijke staat met een goede humusafbraak en vastlegging van voedingsstoffen in de weg staan: de verzuring van de toplaag moet ongedaan gemaakt worden en wormen en andere ongewervelden moeten weer zorgen voor een goede menging met de minerale ondergrond. De resultaten van het transplantatie-experiment laten zien dat de terugkeer naar zo'n "alternative stable state" mogelijk is als de oorspronkelijke grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit kan worden hersteld, en als er weer een gezond aandeel van boomsoorten met basenrijk strooisel aanwezig is. De plantengroei in vochtig bos wordt vooral beperkt door de beschikbaarheid van fosfaat en de vaak lemige bodems van vochtige bossen hebben meestal ruim voldoende capaciteit om het fosfaat te binden dat vrijkomt wanneer de afbraak van de opgehoopte, zure humus weer op gang komt. Echter, er zijn ook omstandigheden waar gedeeltelijk herstel tot verdere vermesting

kan leiden. Bijvoorbeeld wanneer de bodem te sterk is verzuurd, daar waar te veel bomen met basenarm strooisel blijven staan, of indien het water te weinig ijzer en/of calcium bevat. Ook is er bij vernatting risico op boomsterfte, waardoor er veel licht op de bodem komt en er tijdelijk een sterke verruiging van de ondergroei kan optreden. Het rapport sluit daarom af met het onderscheiden van een aantal situaties en met een voorstel voor maatregelenpakketten die het beste bij deze situatie aansluiten.

Inhoud

1 Inleiding	11
1.1 Vochtige bossen op basenrijke bodem	11
1.2 Aanleiding voor en opzet van dit onderzoek	11
1.3 Herstel humusafbraak via hydrologie en ingrijpen in boomsamenstelling	12
1.4 Probleemstelling: hoe reageert nutriëntenkringloop op deze ingrepen	13
1.5 Leeswijzer	14
2 Opzet en uitvoering studie landschapsecologie & nutriëntenkringloop	15
2.1 Typologie vochtige bossen & gegevensverwerking	15
2.2 Selectie van de onderzoekslocaties	16
3 Ecologisch functioneren op landschapsschaal	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Methode	19
3.3 De hoofdlijn: vier systeemtypen	20
3.4 Eiken-Haagbeukenbossen op een stagnerende laag (type 1)	26
3.5 Vogelkers-Essenbos op een dun freatisch pakket (type 2)	28
3.6 Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket (type 3)	31
3.7 Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en sterke kwel (type 4)	34
3.8 De betekenis van systeemtypen voor maatregelen	36
4 Ecologisch functioneren op standplaatsniveau	37
4.1 Vegetatie & lichtbeschikbaarheid	37
4.2 Bodem & strooiselkwaliteit	43
4.2.1 Bodem	43
4.2.2 Strooiselkwaliteit	54
4.3 Microbieel bodemleven	63
4.3.1 Vetzuur-analyses	63
4.3.2 DNA-analyses	67
4.4 Bodemfauna	76
4.5 De nutriëntenkringloop als bepalende factor in de standplaatscondities	82
4.6 Effecten degradatiefactoren op nutriëntenkringloop	83
5 Strooiselophoping en herstelbeheer: een transplantatie-experiment	92

5.1	Opzet en uitvoer transplantatie-experiment	92
5.2	Vegetatie-ontwikkeling na transplantatie	96
5.3	Buffering en nutriëntenhuishouding na transplantatie	100
5.4	Ontwikkeling bodemleven na transplantatie	105
5.5	Samenvatting & conclusies transplantatie-experiment	107
6	Synthese	109
6.1	Vochtige bossen op landschapsschaal	109
6.2	Humusafbraak en voedingsstoffen in de bovenste bodemlaag	110
6.3	Degradatiefactoren en invloed op humus en voedingsstoffen	111
6.4	Herstel van humusafbraak en nutriëntenhuishouding	112
6.4.1	Ingrepen in de kroonlaag	112
6.4.2	Herstel van de waterhuishouding	113
7	Herstel van vochtig bos; aanbevelingen	114
7.1	Aantastingen en herstelmogelijkheden	114
7.2	Maatregelen	114
7.3	Aandachtspunten bij hydrologische maatregelen in relatie tot bestaande natuurwaarden	121
	Referenties	126
	Bijlagen	129

1 Inleiding

1.1 Vochtige bossen op basenrijke bodem

In veel vochtige bossen is verdroging een groot probleem, naast de bekende knelpunten zoals te weinig structuur, onvoldoende variatie in boomsoorten, onvoldoende groot, dood hout (zowel staand als liggend) en invang van overmatige hoeveelheden stikstof. Verdroging uit zich vooral in de vorm van gedaalde grondwaterstanden en afname van kwel, maar hierdoor wordt tevens (verdere) vermesting en verzuring veroorzaakt.

Vochtige bossen zijn bossen waar de wortelzone in de winter waterverzadigd raakt en in de zomer voldoende uitdroogt om doorluchting mogelijk te maken. Veel van deze bossen zijn gebonden aan basenrijke leem- of kleibodems, al dan niet bedekt door een dun zandpakket en/of worden beïnvloed door basenrijke kwel. Dit geldt in het bijzonder voor de vochtige bossen met een van oorsprong soortenrijke ondergroei. Binnen de systematiek van Natura 2000 behoren de vochtige bossen tot de zogenoemde Vochtige alluviale bossen (H91E0) en de Eiken-Haagbeukenbossen van de hogere zandgronden (H9160A). Een deel van de broekbossen valt ook onder de Vochtige alluviale bossen, maar broekbossen zijn nat en niet vochtig en om die reden niet in dit onderzoek betrokken. De vochtige bossen vormen vaak een gradiënt langs beken, van alluviale bossen binnen het overstromingsbereik van de beek, naar Eiken-Haagbeukenbossen op de flanken met daarboven Beuken-Eikenbossen op de zuurdere zandgronden. Maar ook buiten de beekdalen komen deze vochtige bossen voor op locaties met hoge grondwaterstanden of met lagen in de ondiepe ondergrond die slecht water doorlaten. De soortenrijke hellingbossen in Zuid-Limburg zijn buiten het onderzoek gelaten omdat ze onderdeel zijn van het heuvelland en niet van de hogere zandgronden.

Door begreppeling, diepe beekinsnijdingen en landbouwsloten is de grondwaterinvloed sterk afgenomen en de kwaliteit van het grondwater wordt vaak negatief beïnvloed door inspoeling van nitraat en/of sulfaat vanuit de aangrenzende landbouwgebieden. De natte delen worden aangetast door aanvoer van slib en overstroming met te voedselrijk beek- of slootwater. Als gevolg van al deze aantastingen is het oppervlak met nog betrekkelijk goed ontwikkelde vochtige bossen klein. Een deel daarvan is beschermd via Natura 2000. Bekende voorbeelden zijn de bossen in de Natura 2000-gebieden Landgoederen Oldenzaal, Achter de Voort, Landgoederen Brummen, Willinks Weust, De Brand en Ulvenhoutse Bos. Andere nog betrekkelijk goed ontwikkelde vochtige bossen zijn te vinden in Midden-Brabant (Scheeken, Mortelen, Wijboschbroek, Geelders), in Midden-Limburg het IJzerenbos, ten zuiden van Enschede (Smalenbroek), op de overgang van Veluwe naar het IJsseldal met name tussen Dieren en Zutphen, in de omgeving van Winterswijk en in de noordelijke Gelderse Vallei, en op de potklei in Drenthe nabij Rhoden. Deze bossen zijn vrijwel steeds onderdeel van de provinciale natuurnetwerken. Dit onderzoek beperkt zich tot de basenrijke, vochtige bossen op de hogere zandgronden. De bossen komen echter ook voor op andere plekken, met name in Zuid-Limburg en langs de binnenduinarand.

1.2 Aanleiding voor en opzet van dit onderzoek

Voor de laatste tien jaar wordt op steeds meer locaties geprobeerd om de biodiversiteit in vochtige bossen weer te herstellen. Onder meer door herstel van de hydrologie en het weer vergroten van het aandeel boomsoorten met goed afbreekbaar strooisel. Dit levert op een aantal locaties goede resultaten op. Een probleem dat op veel plekken optreedt is dat tijdens de periode

met ernstige verdroging en/of dominantie van boomsoorten die moeilijk afbreekbaar strooisel produceren, zich een dikke laag ruwe humus heeft opgebouwd. Er is daarom een onderzoek opgestart waarin gekeken wordt hoe de nutriëntenkringloop in het vochtige bos is gewijzigd door deze beide factoren, en hoe de dikke humuslaag zich gaat ontwikkelen bij herstel van de hydrologie c.q. herstel van het aandeel boomsoorten die goed afbreekbaar en meer basenhoudend strooisel produceren.

Het onderzoek bestaat uit drie delen. Het eerste deel is een landschapsecologisch onderzoek, waarin de ligging van de Eiken-Haagbeukenbossen en Vogelkers-Essenbossen in de onderzoeksgebieden in landschapsecologische context wordt onderzocht. Hierdoor kunnen we de sturende abiotische processen en verschillende systeemtypen beter begrijpen, wat van groot belang is bij het kiezen van de juiste herstelmaatregelen. Het tweede deel is een verkennend veldonderzoek waarin in beeld is gebracht wat de nutriëntenstatus is van intacte referentiebossen, hoe deze samenhangt met bodemtype, strooiseltype en mate van verdroging, en hoe de nutriëntenkringloop wijzigt in verdroogde bossen en bossen waar bomen met slecht afbrekend strooisel overheersen. Het derde deel bestaat uit een aanvullend experiment waarin is getest hoe strooiselafbraak wijzigt bij vernatting en/of aanplant van bomen met goed verterend strooisel, en in welke mate de vrijkomende voedingsstoffen worden vastgelegd. Daarna volgt een concluderend hoofdstuk en wordt aangegeven hoe de verworven inzichten kunnen worden toegepast bij het herstel van verdroogde en verzuurde, vochtige bossen.

1.3 Herstel humusafbraak via hydrologie en ingrijpen in boomsamenstelling

Door verdroging en door aanplant van bomen die zuur strooisel produceren treden zoals gezegd verzuring en strooiselophoping op. Deze ophoping van zuur strooisel heeft een grote invloed op het bodemleven; bodemfauna neemt af en ectomycorrhiza vormende schimmels nemen toe. Uit het eerdere pre-advies vochtige bossen is gebleken dat hydrologisch herstel de omzetting van ruwe humus weer op gang kan brengen, wat gunstig is voor behoud en herstel van een soortenrijke kruid- en moslaag met veel kenmerkende soorten van vochtige bossen. In deze humuslaag zit een flinke voorraad basische kationen opgesloten, die na afbraak vrijkomen en kunnen bijdragen aan een betere basenverzadiging van de bodem. Echter, tegelijkertijd komen ook de hierin opgeslagen voedingsstoffen, met name stikstof en fosfaat, vrij. Of dit ook leidt tot verruiging van de ondergroei, is afhankelijk van wat er na de mineralisatie met deze voedingsstoffen gebeurt. Door herstel van de grondwaterinvloed kan er mogelijk meer fosfaat aan calcium en/of ijzer worden gebonden. Ook neemt de mate van denitrificatie doorgaans ook toe onder nattere, minder zure condities. Verder kan een deel van de voedingsstoffen worden vastgelegd in de biomassa van het weer toenemende bodemleven. En het eindproduct van de humusafbraak onder de verbeterde condities is een stabiele humusvorm waarin ook veel voedingsstoffen kunnen worden vastgelegd. Verruiging is vooral te verwachten als er geen of weinig mechanismen actief zijn die voedingsstoffen kunnen afvoeren (bijvoorbeeld dénitrificatie) of vastleggen in een moeilijk toegankelijke vorm zoals fosforbinding aan calcium, ijzer of aluminium of vastlegging van voedingsstoffen in stabiele humus. De makkelijk beschikbare fracties van stikstof en fosfaat blijven dan langere tijd hoog en ruigtesoorten als Grote brandnetel (*Urtica dioica*) en bramen (*Rubus* spp.) grijpen hun kans.

Naast hydrologisch herstel biedt ook omvorming van de boomlaag een weg om de strooiselafbraak te stimuleren en de basenrijkdom van de toplaag van de bodem weer te vergroten. Boomsoorten met zuur strooisel zoals de meeste naaldbomen, Beuk (*Fagus sylvatica*), Amerikaanse eik (*Quercus rubra*) en in mindere mate Zomereik (*Q. robur*) remmen de strooiselafbraak terwijl boomsoorten met basenrijk strooisel zorgen voor een snelle strooiselafbraak. Ook menging speelt hierin een grote rol; in gemengde opstanden verloopt de strooiselafbraak doorgaans sneller dan in

monoculturen van boomsoorten, ongeacht of het rijk- of zuur strooisel soorten betreft. Hoewel bosvorming vooral voor de basenarme dekzandbossen aanbevolen wordt heeft het, in ieder geval op de korte termijn, het grootste effect in bossen op een basenrijke bodem (Desie et al 2019). Wanneer ingrepen in de boomlaag plaatsvinden op verdroogde locaties, is de kans op verruiging relatief groot; de denitrificatie blijft achter en er wordt geen calcium en/of ijzer aangevoerd met grondwater, waaraan fosfaat zou kunnen binden.

1.4 Probleemstelling: hoe reageert nutriëntenkringloop op deze ingrepen

In vergelijking met lage vegetaties is de nutriëntenhuishouding in bossen aanzienlijk complexer. Vanuit de kroonlaag vindt een gestage aanvoer van organisch materiaal plaats, voornamelijk in de vorm van afgevallen bladeren. Hierdoor vindt bodenvorming plaats, met voor elk type bodem en voor elke hydrologische situatie een eigen humusprofiel variërend van mull, via moder naar morbodems en allerlei varianten hierop al naar gelang het bodemtype en de waterhuishouding. Aan de andere kant moet de ondergroei de voedingsstoffen die in de minerale bodem aanwezig zijn en die bij humusafbraak vrijkomen delen met de bomen, die via hun wortels de via het afgevallen blad verloren gegane stoffen weer aanvullen. De stofstromen zijn dus aanzienlijk groter dan in lage vegetaties. Bovendien is de rol van bacteriën en schimmels in de afbraak van organisch materiaal en de herverdeling van voedingsstoffen ook groter. Met het ouder worden van het bos vormt zich een bodem waarin een aanzienlijke humusfractie aanwezig is. Dit proces wordt onderbroken wanneer bomen omvallen of afsterven en het hierdoor gewijzigde microklimaat doorgaans een tijdelijke versnelling van de humusafbraak tot gevolg heeft. Daarnaast ontstaat hierdoor ruimtelijke variatie doordat plaatselijk groot dood hout verteert.

Zelfs in veel van onze oudere bossen is de bodenvorming in bos-terminologie nog jong en onvoltooid. Bovendien is deze door verdroging, zure neerslag en aanplant van soorten met zuur strooisel op een zijspoor geraakt. In de paragraaf 1.2 is geschetst hoe herstel van de waterhuishouding en/of het vervangen van de arm strooisel soorten mogelijk de bodenvorming weer in de juiste richting kunnen sturen. In grote lijnen betekent dit dat de opgetreden verschuiving van moder- en mull-profielen naar mor-profielen weer wordt teruggedraaid, dus dat de opgehoopte laag met ruwe, zure humus minder zuur wordt en weer af gaat breken. De vraag is echter of dit zonder bijverschijnselen zal gebeuren.

De belangrijkste kennishiaten zijn de volgende:

- Herstel van hydrologie en soortensamenstelling van de boomlaag kunnen leiden tot een herstel van de humusafbraak. Maar herstelt zich dan automatisch het bodemleven (schimmels, bacteriën, fauna) dat hiervoor moet zorgen, of is actief ingrijpen gewenst?
- Leidt de afbraak van de opgehoopte humus tot een tijdelijk sterk verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen? Welke mechanismen zijn actief bij het verlagen van de beschikbaarheid van voedingsstoffen?
- Leidt deze tijdelijke vermisting tot een wijziging van de vegetatie, en hoe lang blijft een mogelijke verruiging in de vegetatie na-ijlen?
- Wat is het effect van de nog altijd veel te hoge stikstofdepositie op het herstel van de nutriëntenkringloop?
- Wat is het effect van de samenstelling van de minerale bodem en van het grondwater op het herstel van de nutriëntenkringloop? Met name de mate waarin basen worden aangeleverd lijkt van belang.
- Welke boomsoorten hebben het beste effect op herstel van de nutriëntenkringloop? Die vraag geldt met name voor de kenmerkende soorten van goed ontwikkelde, vochtige bossen zoals lindes (*Tilia* spp.), Haagbeuk (*Carpinus betulus*), Hazelaar (*Corylus avellana*), Gewone es (*Fraxinus excelsior*), Zoete kers (*Prunus avium*), en Zomereik, maar ook

soorten die vaak worden aangeplant zoals populieren (*Populus* spp.) en Schietwilg (*Salix alba*).

Daarnaast zijn er ook praktische vragen:

- In welke gevallen zijn vermestingseffecten als gevolg van versterkte afbraak het grootst?
- Is herintroductie van bodemleven gewenst, en zo ja om welke soorten/soortgroepen gaat het dan?
- Hoe moet er worden omgegaan met de vaak fijnmazige greppel- en rabatstructuur die in veel vochtige bossen aanwezig is?

De nutriëntenkringloop in bossen in het algemeen is al uitgebreid onderzocht, waarbij naar voren komt dat deze sterk beïnvloed wordt door onder meer (micro-)klimaat, bodemtype, boomsamenstelling en hydrologie. Juist op het niveau van specifieke levensgemeenschappen is er onvoldoende kennis om ingrijpende beheermaatregelen op te kunnen baseren. Dit onderzoek beoogt om meer inzicht te krijgen in de nutriëntenkringloop van Eiken-Haagbeukenbossen en Vogelkers-Essenbossen, in het bijzonder bij verdroging en verzuring en het herstel hiervan. Voor deze specifieke situaties zijn zo veel mogelijk de relevante factoren in het onderzoek betrokken die de nutriëntenkringloop sturen. Dit zijn met name de waterhuishouding, samenstelling van bodem en water, vegetatie, lichtklimaat, strooiselkwaliteit en bodemleven.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport doet verslag van een drietal deelstudies waarin de geformuleerde kennisvragen worden beantwoord. De eerste twee deelstudies omvatten een beschrijvend onderzoek van een aantal locaties met intacte vormen van Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos. De selectie van de locaties en de aanpak van de eerste twee deelstudies is weergegeven in **hoofdstuk 2**.

In **hoofdstuk 3** is middels een landschapsecologische systeemanalyse bepaald hoe de gekozen locaties zijn ingebed in hun omgeving en in welke opzichten deze inbedding is aangetast. Eventuele herstelmaatregelen werken optimaal wanneer deze bijdragen aan herstel van deze inbedding in het landschap. De systeemanalyses per gebied zijn in een apart rapport gezet, dat als **bijlage D** is toegevoegd aan het hoofdrapport.

In **hoofdstuk 4** is vervolgens verder in detail gekeken naar de bosbodem en de verschillende componenten die hier bij de nutriëntenkringloop zijn betrokken. Dit is enerzijds de levende component: vegetatie, macrofungi, microbieel bodemleven, en ongewervelden. En anderzijds is dit de niet (meer) levende component: samenstelling van de minerale bodem, het organisch materiaal en van vers afgevallen boombladeren. De intacte situatie is beschreven voor Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos. Daarnaast is beschreven welke wijzigingen er optreden bij verdroging en/of verzuring.

Hoofdstuk 5 omvat de derde deelstudie. Hier is geprobeerd om een antwoord te vinden op de vraag hoe de nutriëntenkringloop in een verzuurde & verdroogde situatie gaat wijzigen indien verzuring en/of verdroging weer worden opgeheven. Dit is gedaan door de ecto-organische laag die ontstaan is in een langdurig verdroogde en daardoor verzuurde situatie te verplaatsen naar situaties waar verzuring en/of verdroging niet zijn opgetreden, en de verplaatste plaggen 2 jaar lang te volgen. Dit biedt enig zicht op de te verwachten effecten bij het herstellen van de intacte situatie.

In **hoofdstuk 6** wordt de opgedane kennis vervolgens verwerkt tot een synthese en in **hoofdstuk 7** zijn voorstellen voor herstelmaatregelen geformuleerd die gebaseerd zijn op de nieuwe inzichten.

2 Opzet en uitvoering studie landschapsecologie & nutriëntenkringloop

2.1 Typologie vochtige bossen & gegevensverwerking

Ondanks het nog slechts kleine oppervlak aan goed ontwikkeld, basenrijk, vochtig bos dat nog aanwezig is op de hogere zandgronden is er toch een aanzienlijke variatie in typen bos aanwezig. Dit leidt ook tot verschillen in respons op bijvoorbeeld verdroging, vermessing en hydrologische herstelmaatregelen. Om deze reden is eerst gekeken welke typen vochtig, basenrijk bos er aanwezig zijn op de zandgronden en hoe deze voor het voorliggende onderzoek het beste konden worden onderverdeeld. In dit onderzoek is de vegetatiekundige indeling als uitgangspunt genomen. Vervolgens is in hoofdstuk 3 op basis van de landschapsecologische en vooral hydrologische context een verdere onderverdeling gemaakt.

Stortelder e.a. (1999) maken in navolging van vele anderen onderscheid tussen het verbond van Els en Vogelkers (*Alno-Padion*) en het Haagbeukenverbond (*Carpinion betuli*). Het belangrijkste onderscheid in standplaats is dat de associaties van het *Alno-Padion* op nattere en voedselrijkere standplaatsen voorkomen dan de associaties van het *Carpinion*. De typische *Alno-Padion* associatie van de hogere zandgronden is het Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*). Binnen het *Carpinion* worden sinds kort drie associaties onderscheiden (Schaminee e.a, 2017). Op relatief zure zand- en leembodems komt het Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum*) voor, op basenrijke leembodems het Sleutelbloem-Eikenhaagbeukenbos (*Primulo elatioris Carpinetum*), en op kalkbodems het Kalk-Eikenhaagbeukenbos (*Orchido-Carpinetum*). In ons onderzoek is vooral het Sleutelbloem-Eikenhaagbeukenbos betrokken en het zuurdere Eiken-Haagbeukenbos in enge zin. In Willinks Weust (Winterswijk) komt ook het Kalk-Eikenhaagbeukenbos voor. Het Eiken-Haagbeukenbos in enge zin, vormt in allerlei kenmerken min of meer een overgang tussen de basenrijke vochtige bossen en de basenarme Eiken- en Beukenbossen (*Quercetea robori-petraeae*). Deze associatie komt wel over een groter oppervlak voor op de zandgronden dan de andere associaties. Hieronder vallen ook het Gierstgras-Beukenbos (*Milio-Fagetum*) en het Kamperfoelierijk Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum periclymenotusum*), dat door van der Werff (1991) voor Nederland is onderscheiden. Voor het gemak wordt in het vervolg meestal alleen onderscheid gemaakt tussen Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos.

In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de landschapsecologische positie van de onderzochte bossen. Dit heeft met name consequenties voor een eventuele keuze voor herstelmaatregelen. Hierbij zijn voor het Vogelkers-Essenbos drie landschapsecologische typen onderscheiden.

Ook bij de beschrijving van de onderzochte locaties op standplaatsniveau is de vegetatiekundige tweedeling als uitgangspunt gehanteerd. Maar hier zijn van beide associaties ook verdroogde varianten onderscheiden, en er is een bostype onderscheiden op verdroogde standplaatsen waar bovendien bomen met basenarm strooisel domineren in de kroonlaag. Verder is ook een Vogelkers-Essenbos onderscheiden op fosfaatrijke beeksedimenten, en een bostype op basenrijke, vochtige bodem dat in de kroonlaag wordt gedomineerd door Schietwilg of Canadapopulier (*Populus x canadensis*). Dominantie van wilgen of populieren lijkt vooral te leiden tot een eutrafente ondergroei. Dit is ook het geval in het rivierengebied, waar aanplant van populieren en wilgen op standplaatsen van hardhoutoobos leidt tot dominantie van Grote brandnetel in de ondergroei, die pas vermindert als soorten als Eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*) en Zomereik zich

uitbreiden (Wolf e.a., 2001). Daarmee zijn de twee meest voorkomende associaties van vochtig bos en de gedegradeerde vormen hiervan in het onderzoek betrokken.

Voor het transplantatie-experiment tenslotte, is geen onderscheid gemaakt in Vogelkers-Essenbos of Eiken-Haagbeukenbos. Hier is alleen onderscheid gemaakt tussen een intact bos op basenrijke, vochtige bodem en varianten waar verzuring, verdroging of een combinatie van beiden is opgetreden.

2.2 Selectie van de onderzoekslocaties

In de drie betrokken provincies Noord-Brabant, Overijssel en Gelderland zijn onderzoekslocaties geselecteerd, waarbij de in het onderzoeksplan genoemde indeling als uitgangspunt is gehanteerd. Dit betekent dat er is gezocht naar 7 typen onderzoekslocaties, elk in viervoud. Het gaat om de volgende typen bos:

- "Intact" (=goed ontwikkeld, niet verdroogd, verzuurd of vermest) Eiken-Haagbeukenbos
- "Intact" (=goed ontwikkeld, niet verdroogd, verzuurd of vermest) Vogelkers-Essenbos
- Verdroogd Eiken-Haagbeukenbos
- Verdroogd Vogelkers-Essenbos
- Potentieel Eiken-Haagbeukenbos of Vogelkers-Essenbos dat verdroogd is en beplant met bomen die zuur strooisel produceren
- Potentieel Eiken-Haagbeukenbos of Vogelkers-Essenbos dat ingeplant is met wilg of populier, en mogelijk daardoor vermest
- Potentieel Vogelkers-Essenbos dat beïnvloed is door voedselrijke beekafzettingen

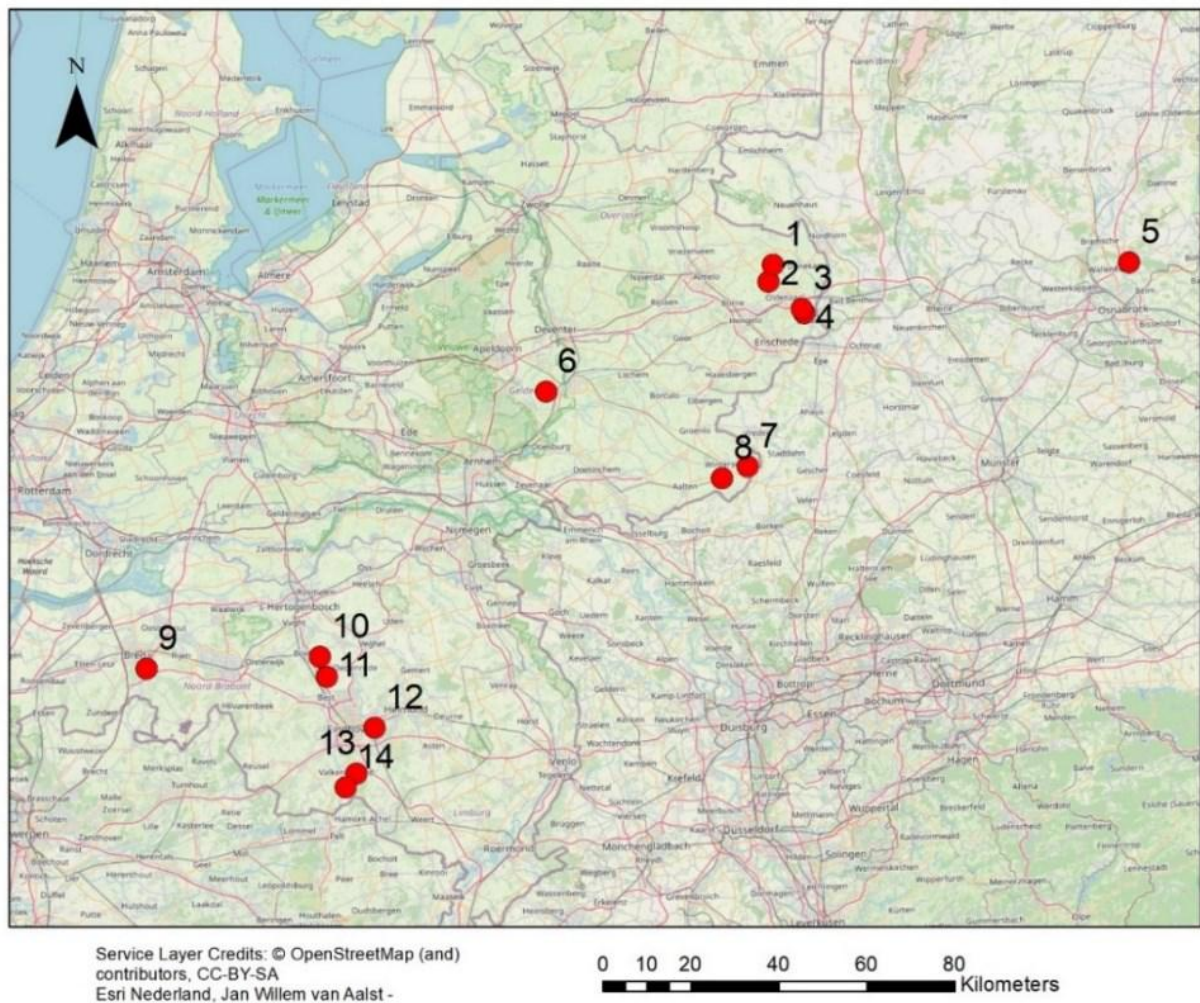
In de provincies Overijssel en Gelderland zijn locaties geselecteerd in nauw overleg met de provincie, meest gaat het om terreinen waar al relatief veel hydrologische gegevens van zijn en waar herstelwerkzaamheden worden uitgevoerd (zie tabel 2.1). Ook in Noord-Brabant zijn locaties geselecteerd waar voor andere onderzoeken al met name hydrologische gegevens zijn verzameld. In totaal zijn 30 locaties geselecteerd; naast de 7 typen onderzoekslocaties in viervoud is van zowel het Eiken-Haagbeukenbos als het Vogelkers-Essenbos een goed ontwikkelde referentielocatie uit aangrenzend Duitsland toegevoegd. Vooraf is met behulp van informatie van de provincies en de terreinbeheerders gezocht naar locaties in de buurt van bestaande peilbuizen. Daar waar geen peilbuis in de buurt was, is een nieuwe peilbuis geplaatst.

Tijdens de selectie bleek al snel dat het afgrenzen van de verschillende bostypen lastig is, en niet altijd mogelijk is op louter objectieve criteria. Het Eiken-Haagbeukenbos en het Vogelkers-Essenbos vertonen een zekere overlap, en op vrijwel alle Nederlands locaties is wel enige invloed van vermesting en/of verdroging aanwezig. Voor de uiteindelijke statistische verwerking is het dus nog onzeker of de oorspronkelijke indeling in 7 categorieën voor alle locaties overeind kan blijven. Niettemin is een goede spreiding aanwezig van intacte vochtige bossen en vermeste, verdroogde en/of verzuurde varianten.

Tabel 2.1 Overzicht van de geselecteerde locaties. NB = Noord-Brabant. O = Overijssel. G = Gelderland, Dld= Duitsland

Table 2.1. **Overview of the selected reference sites.** NB = Noord-Brabant. O = Overijssel. G = Gelderland, Dld= Duitsland (Germany)

Bostype/toestand						
	Prov	Gebied (code)	Beknopte typering	Code	x	y
Carpinion/Intact (SC)						
	NB	Geelders (Ge)	Bos van populier, eik en es, lage rabatten	GESC	154256	399784
	O	Smoddebos (SB)	Bos van eik, es en haagbeuk lage rabatten	SBSC1	264089	477945
	O	Smoddebos (SB)	Bos van eik, es en haagbeuk lage rabatten	SBSC2	264177	477979
	G	Willinks Weust (WW)	Es en haagbeuk	WWSC	251374	442705
	Dld	Kohkamp	Haagbeuk, Wintereik en Zachte berk	KKSC1		
	Dld	Kohkamp	Haagbeuk, Zomereik en Zachte berk	KKSC2		
Carpinion/Verdroogd (VSC)						
	NB	Geelders (Ge)	Populier met eik en es op hoge rabatten	GEVSC1	154277	399816
	NB	Geelders (Ge)	Populier met eik en es langs gegraven bovenloopje	GEVSC2	154158	399739
	O	Achter de Voort (AV)	Eik en hazelaar, langs kanaal (verdroogd?)	AVVSC	257017	488821
	G	Willinks Weust (WW)	Es en haagbeuk, langs gegraven loopje (verdroging?)	WWVSC	251077	442664
Alno-Padion/Intact (AP)						
	NB	Ulvenhoutse bos (UI)	Eik en els in beekdal, lage rabatten, kwel aan maaiveld	ULAP	115028	396724
	O	Achter de Voort (AV)	Wilg en eik	AVAP	257165	489012
	O	Snoeijingsbeek (SnB)	Eik, els, es, in beekdal, lage rabatten	SnBAP	263797	478604
	G	Bekendelle (Be)	Es, els, eik in beekdal	BeAP	245443	440183
	Dld	Kohkamp	Haagbeuk, Zwarte els, Gewone es en Zachte berk	KKAP1		
	Dld	Kohkamp	Haagbeuk, Zwarte els, Gewone es	KKAP2		
Alno-Padion/Verdroogd (VAP)						
	NB	Collse bossen (CB)	Eik en hazelaar op beekdalflank, diepe landbouwsloten	CbVAP	166170	383797
	NB	Tongelreep (TR)	Populier met eik en els, verdroging door diepe beek	TrVAP	162424	373051
	G	Voorstonden (Vo)	Es, eik en els op hoge rabatten	VoVAP1	207002	460128
	O	Lemselermaten (LM)	els en es; verdroging?	LMVAP2	256073	484938
	G	Voorstonden (Vo)	Eik en beuk, meer Quercion, langs bovenloopje	VoVAP2	205609	460104
Alno-Padion/Voedselrijke beekafzetting (EAP)						
	NB	Malpie (Ma)	populier en els, overstroming	MaEAP	159910	369852
	G	Bekendelle (Be)	es en eik langs oude meander	BeEAP	245567	440218
	O	Snoeijingsbeek (SnB)	laagte langs intacte referentie	SNEAP	263797	478604
Carpinion/Alno-Padion/Verdroogd en bomen met zuur strooisel (ZU)						
	NB	Geelders (Ge)	Amerikaanse eik	GEZu	153893	399980
	O	Achter de Voort (AV)	Overgang oude eik/es en jong elzenbos	AVVAP	257009	489045
	O	Snoeijingsbeek (SnB)	sparrenaanplant en beuk	SnBZu	263766	478682
	G	Bekendelle (Be)	beuken/eikenbos langs sloot	BeZu	xxx	yyy
	G	Voorstonden (Vo)	beuken/eikenbos met rabatten	VoZu	205640	459620
Carpinion/Alno-Padion/Bomen met voedselrijk blad (EU)						
	NB	Geelders (Ge)	populier met onderetage hazelaar, lage rabatten)	GEEu	154182	399718
	NB	Scheeken (Sc)	wilg op rabatten	SCEu1	156435	396208
	NB	Boskant (Bo)	populier op rabatten	BOEu	157827	395726
	NB	Scheeken (Sc)	oude populier, lage rabatten en onderetage hazelaar	SCSC2	155191	395881



Figuur 2.1 Locaties van de onderzoeksgebieden: Achter de Voort (1), Lemselermaten (2), Snoeyinksbeek (3), Smoddebos (4), Kohkamp (5), Voorstonden (6), Willinks Weust (7), Bekendelle (8), Ulvenhoutse bos (9), Geelders (10), Scheeken en Boskant (11), Urkhovense Zeggen/Collse bos (12), Tongelreep (13), Malpie (14).

Figure 2.1 Locations of the research sites: Achter de Voort (1), Lemselermaten (2), Snoeyinksbeek (3), Smoddebos (4), Kohkamp (5), Voorstonden (6), Willinks Weust (7), Bekendelle (8), Ulvenhoutse bos (9), Geelders (10), Scheeken en Boskant (11), Urkhovense Zeggen/Collse bos (12), Tongelreep (13), Malpie (14).

3 Ecologisch functioneren op landschapsschaal

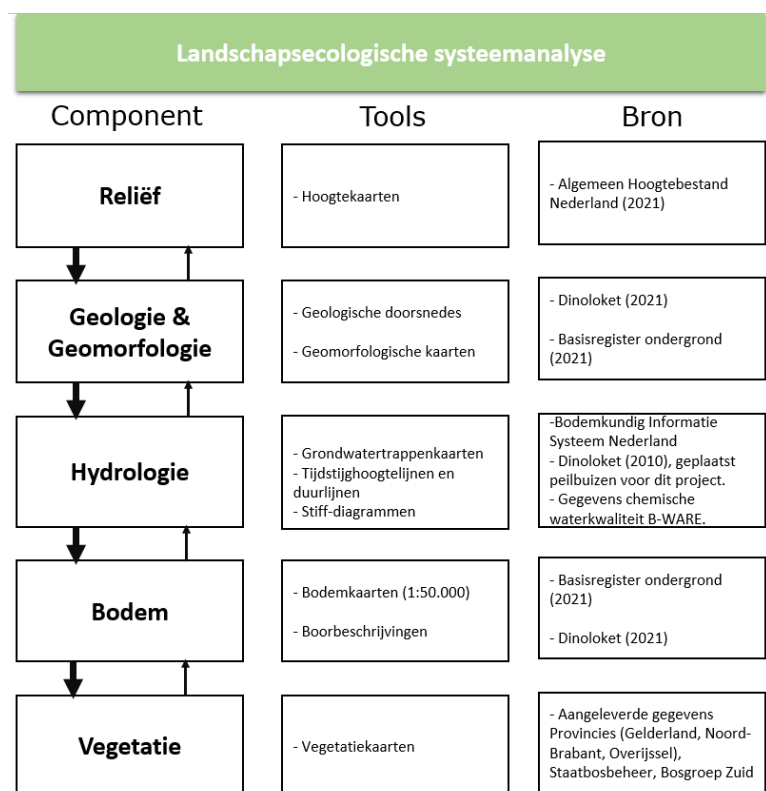
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de sturende abiotische processen voor vochtige bossen van het Eiken-Haagbeukenbos en het Vogelkers-Essenbos in 14 gebieden, verspreid over de provincies Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel en één gebied in Duitsland (Figuur 2.1). Het doel hiervan is om de ligging van deze vochtige bossen in landschapsecologische context te begrijpen. Systeembegrip is belangrijk om de sturende factoren te duiden en daarmee te weten wat er nodig is voor natuurherstel.

3.2 Methode

Dit onderzoek is uitgevoerd volgens de methode van de landschapsecologische systeemanalyse (Van der Molen et al., 2010). In een landschapsecologische analyse (LESA) worden op de schaal van een landschap de abiotische processen vastgesteld die de standplaatscondities van de vegetatie in een gebied bepalen. Van de onderzoeksgebieden hebben we op een systematisch wijze informatie verzameld over het reliëf, geologie, geomorfologie, hydrologie, bodem en vegetatie, met een focus op de ligging van de vochtige bossen (Figuur 3.1).

Er is grotendeels gebruik gemaakt van bestaande gegevens, weergegeven in Figuur 3.1. Daarnaast hebben we de data gebruikt die is verzameld in het kader van dit OBN onderzoek en bestaande LESA's en Natura 2000-beheerplannen geraadpleegd. Deze informatie is verwerkt tot kaarten en tekst en beschikbaar in Bijlage D. Ten behoeve van de leesbaarheid van deze synthese zijn de geraadpleegde bronnen in de bijlage opgenomen. De verzamelde gegevens hebben we samengevat in een overzichtstabel (Tabel 3.2) en op een logische wijze verdeeld in vier systeemtypen. Van de onderscheiden typen hebben we schematische doorsneden vervaardigd op basis van de beschikbare data en interpretatie.



Figuur 3.1 Werkkader Landschapsecologische systeemanalyse

Figure 3.1 Framework for the landscape ecological system analysis

3.3 De hoofdlijn: vier systeemtypen

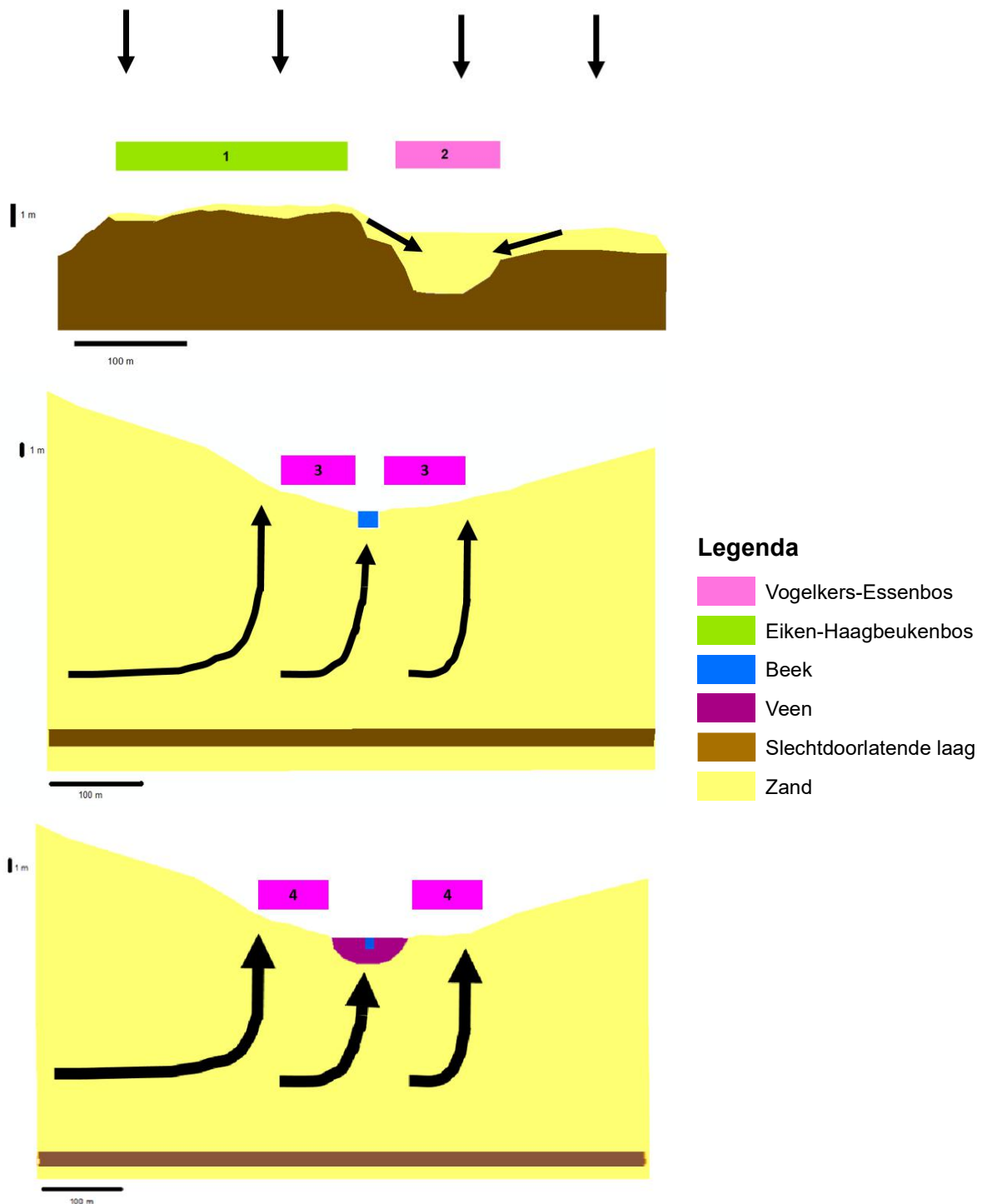
In de landschapsecologische systeemanalyse hebben we vier kenmerkende systeemtypen onderscheiden (Tabel 3.1). Eiken-Haagbeukenbossen en Vogelkers-Essenbossen komen voor op zanden in een dun freatisch watervoerend pakket met daaronder een slecht doorlatende laag van klei of leem, waarop regenwater en recent geïnfiltreerd, jong grondwater stagneren (Figuur 3.2A). Deze bossen worden daarom wel stagnatiebossen genoemd. Vogelkers-Essenbossen kunnen ook voorkomen in gebieden met dikkere watervoerende pakketten in beekdalen en zijn daar afhankelijk van kwel van basenrijk grondwater. Het Vogelkers-Essenbos staat dan direct langs de beek (Figuur 3.2B) of hoger op de gradiënt in een beekdal met zeer sterkere kweldruk en een veenpakket, (Figuur 3.2C).

De doorsnedes (Figuur 3.3; Figuur 3.4) geven een schematisch beeld van de landschapsecologische positie van vier bostypes in de verschillende gebieden en worden nader toegelicht in de volgende paragrafen. In Tabel 3.1 zijn hun belangrijkste eigenschappen samengevat en in Tabel 3.2 de lokale kenmerken van de vier onderscheiden typen samengevat voor de 14 onderzochte terreinen. In de volgende paragrafen bespreken we deze systeemtypen in meer detail.

Tabel 3.1. De vier systeemtypen met haar belangrijkste kenmerken.

Table 3.1. The four system types with its most important characteristics.

	1	2	3	4
Type	Eiken-Haagbeukenbossen op zand in een dun watervoerend pakket op klei of leem (stagnatiebos)	Vogelkers-Essenbos op zand van een dun watervoerend pakket op klei of leem	Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en zwakke kwel	Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en sterke kwel
Dikte freatisch watervoerend pakket	Dun	Dun	Dik	Dik
Type grondwatersysteem	Zeer lokaal, geen diepe kwel, alleen lokaal grondwater	Lokaal, geen diepe kwel, alleen lokaal grondwater.	Regionaal, van nature zwakke kwel.	Regionaal, van nature sterke kwel.
Kwaliteit	Vaak verdroogd, maar ook nog aanwezig in goede kwaliteit	Vaak verdroogd, maar ook nog aanwezig in goede kwaliteit	Meestal sterk verdroogd	Meestal sterk verdroogd
Geschikte maatregelen voor systeemherstel	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten.	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten Regionaal	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten Regionaal



Figuur 3.2 Schematische weergave van de vier verschillende typen vochtige bossen. De nummers corresponderen met het typenummer en de pijlen geven de grondwaterstroming en in lokale grondwatersystemen de invloed van regenwater weer. De dikte van de pijl geeft de intensiteit van de grondwaterstroming weer.

Figure 3.2 Schematic representation of the four different types of moist forests. The numbers correspond to the type number and the arrows indicate the groundwater flow and in local groundwater systems the influence of rainwater. The thickness of the arrow indicates the intensity of the groundwater flow.

Tabel 3.2 Indeling en kenmerken van het Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos in de onderzoeksgebieden

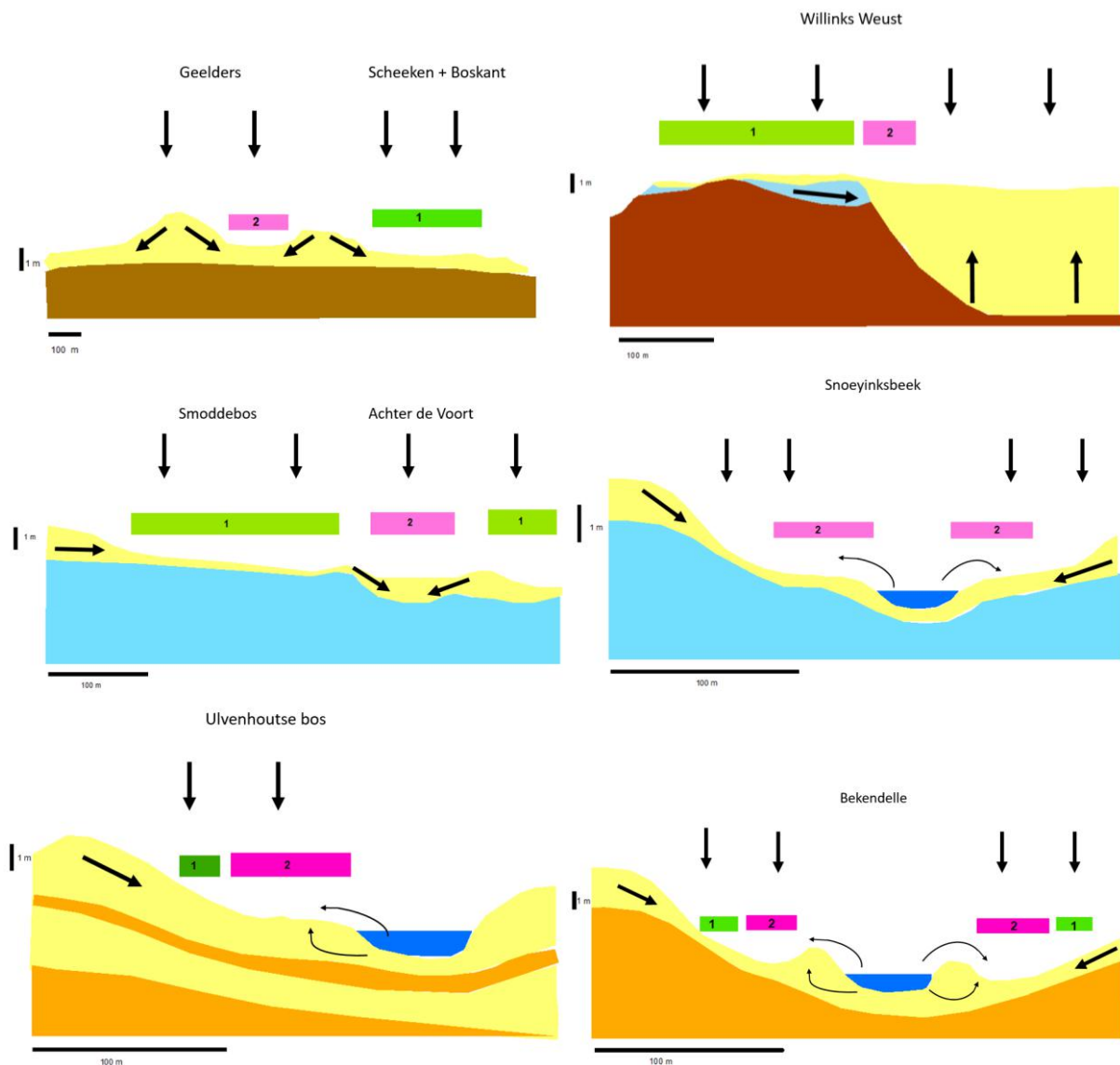
Table 3.2 Characteristics of the research sites

Ty - pe	Gebied	Vegetatie -type	Kwaliteit	Bodemtype	Waterkwaliteit grondwater	GW - trap	Duur - lijn	Dikte WVP	Geologie	Geomorfologie
1	Willinks Weust	Eiken-Haagbeukenbos	Verdroogd	Veldpodzolgrond (Hn23), leemarm en zwak lemig fijn zand	Basenarm	V	Convex	Zeerdun (<0,25 m)	Ondiep Muschelkalk/Bontzandsteen aanwezig met hierboven keileem en dekzand	Vereffeningsrestwellingen / geërodeerde grondmorene
	Willinks Weust	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	Keileemgrond en (KX)	Basenrijk	V	-	Zeerdun (<1m)	Ondiep Muschelkalk/Bontzandsteen aanwezig met hierboven keileem en dekzand	Vereffeningsrestwellingen/ geërodeerde grondmorene
	Smoddeboos	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	Keileemgrond en (KX)	Basenrijk	V	Concaaf	Zeerdun (<0,25 m)	Zeerdunne laag dekzand (BX) met daaronder dikke laag keileem (ca 15 m)	Grondmorene
	Scheeken en Boskant	Eiken-Haagbeukenbos	Goed (lokaal)	Beekeerdgrond/Vlakvaaggrond, lemig fijn zand	-	V	Concaaf	Dun (< 1,5m)	Ondiepe leemlaag (BxLM) in dekzand (BX)	Verspoelde dekzanden/löss
	Achter de Voort	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	zeer ondiepe keileem	Basenrijk, verhoogd sulfaat	V	Concaaf	Dun (<2m)	Dunne laag dekzand (BX) op keileem	Grondmorene
	Ulvenhoutse bos	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	Beekeerdgrond, leemarm en zwak lemig fijn zand	-	III	-	Dun (<2m)	Dunne dekzandlaag (BX) met ondiepe kleilaag (SY). Hieronder nog een zandlaag, met daaronder dikke kleilaag (Wak1)	Dalvormige laagte zonder veen
	Bekendelle	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	Beekeerdgrond, leemarm en zwak lemig fijn zand Vorstvaaggrond, leemarm en zwak lemig zand	Basenrijk	III	Concaaf	Dun, exacte diepte onbekend	Laag dekzand (BX) en fluvio-periglaciaal afzettingen (DR) met daaronder zeer dik pakket tertiaire klei (RU)	Beekdalbodem met meanderruggen en geulen In smeltwatergeul
	Kohkamp	Eiken-Haagbeukenbos	Goed	Lemig zand	Basenrijk	-	-	Dun (<1m)	Bovenin een dunne zandlaag met hieronder een basenarme leemlaag. Hieronder nog een zandlaag en daaronder basenrijke klei en gesteente	Beekdal in smeltwaterdal

Vervolg Tabel 3.2

Continuation of Table 3.2

Ty - pe	Gebied	Vegetatie-type	Kwaliteit	Bodemtype	Waterkwaliteit grondwater	GW - tra p	Duur- lijn	Dikte WVP	Geologie	Geomorfologie
2	Kohkamp	Vogelker s- Essenbos	Goed	Lemig zand	Basenrijk	-	-	Dun (<2m)	Bovenin een dunne zandlaag (0-2m) met hieronder een basenarme leemlaag. Hieronder nog een zandlaag en daaronder basenrijke klei en gesteente	Beekdal in smeltwaterdal
	Ulvenhoutse bos	Vogelker s- Essenbos	Goed	Beekeerdgrond , leemarm en zwak lemig fijn zand	Matig basenrijk	III	Concaaf	Dun (<2m)	Dunne laag dekzand (BX) op dikke kleilaag (SY).	Dalvormige laagte zonder veen
	Willinks Weust	Vogelker s- Essenbos	Goed	Moerige grond en beekeerdgrond , lemig fijn zand / keileem	-	III	-	Dun (<1 m)	Ondiep Muschelkalk/Bontzanden aanwezig met hierboven keileem en dekzand	Vereffeningssrestwelvingen/ geërodeerde grondmorene
	Achter de Voort	Vogelker s- Essenbos	Goed	Keileembodem	Basenrijk, verhoogd sulfaat	III	Concaaf	Dun (<2m)	Dunne laag dekzand (BX) op keileem	Grondmorene
	Bekendelle	Vogelker s- Essenbos	Goed	Beekeerdgrond , leemarm en zwak lemig fijn zand Vlakvaaggrond en, leemarm en zwaklemig fijn zand	Basenrijk	III	-	Dun, exacte diepte onbekend	Laag dekzand (BX) en fluvio-periglaciaal afzettingen (DR) met daaronder zeer dik pakket tertiaire klei (RU)	Beekdalbodem met meanderruggen en geulen In smeltwatergeul
	Snoeyinkse beek	Vogelker s- Essenbos	Goed	Zeer ondiepe keileem	Basenrijk	V	Concaaf	Zeer dun (<0,5 m)	Dunne laag dekzand (BX) op keileem	Droogdal/Dalvormige laagte in stuwwal.
	Geelders	Vogelker s- Essenbos	Goed	Beekeerdgrond , lemig fijn zand	Basenrijk	V	Concaaf	Dun (<1m)	Ondiepe leemlaag (BxLMk1) in dekzand (BX)	Dekzandvlakte/dalvormige laagte zonder veen
3	Voorstonden	Vogelker s- Essenbos	Verdroomd	Beekeerdgrond , lemig fijn zand + Kalkloze poldervaaggrond, zavel en lichte klei	Basenrijk	II	Sigmoïd	Dik (10-15m)	Dekzand (BX) en fluviaal zand (KR)	Dalvormige laagte zonder veen
	Lemselermaten	Vogelker s- Essenbos	Verdroomd	Venige beekdalgrond	Basenrijk	II	Concaaf (locatie niet optimaal)	Dik (ca 10-15m) met ondiep een vermoedelijk onderbroken leemlaag	Dekzand (BX) vrij ondiep leem/kleilaag ca 3m -mv (BX). Onderkant freatisch WVP ca 10-15 m -mv, tertiaire klei	Dalvormige laagte zonder veen
	Tongelreep	Vogelker s- Essenbos	Verdroomd	Gooreerdgrond en, leemarm en zwak lemig fijn zand	Basenarm	III	Sigmoïd	Dik (15-20 m)	Dik zandpakket BX, kleiige eenheid (BX) en dan dik zandpakket (ST)	Dalvormige laagte zonder veen
4	Urkhovense zeggen en Collse bos	Vogelker s- Essenbos	Verdroomd	Beekeerdgrond , leemarm en zwak lemig fijn zand	Basenarm	II en III	Sigmoïd	Dik (<20 m)	Dik zandpakket BX en ST. Ondiepe, doorbroken aanwezige leemlaag (BxLMk1)	Beekdalbodem (Urkhovense Zeggen) en Laagte zonder randwal in vlakte van ten dele verspoelde dekzanden (Collse bos)
	Malpie	Vogelker s- Essenbos	Verdroomd	Venige beekdalgronden	Basenarm	III	Sigmoïd	Dik (10-15m)	Dik zandpakket BX en ST met dunne kleilaag op ca 10-15 m -mv (STk1)	Beekdalbodem met veen/lage landduinen met bijbehorende vlakten/laagten

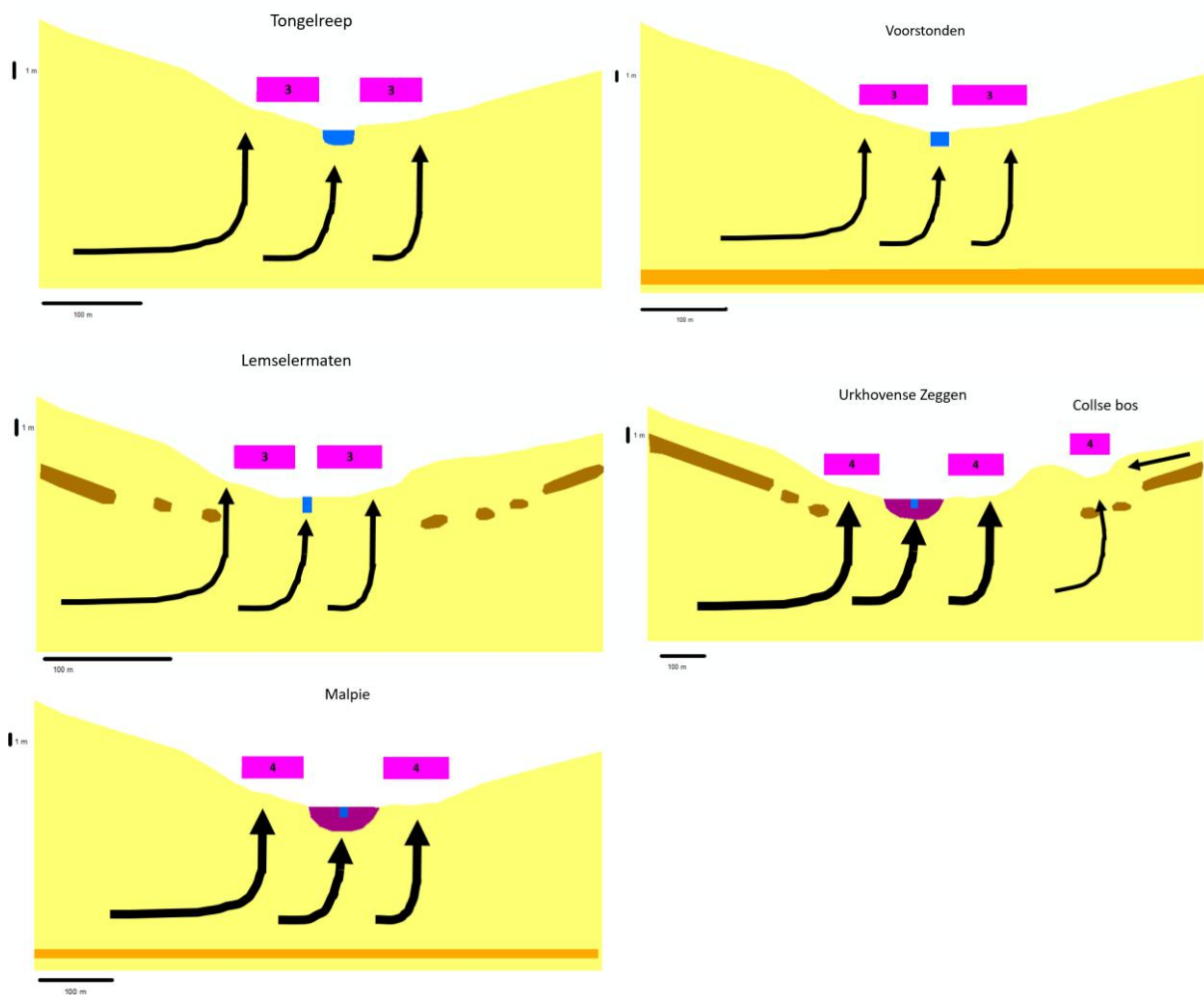


Legenda

Vogelkers-Essenbos	Beek	Zand	Leem	Gesteente
Eiken-Haagbeukenbos	Veen	Keileem	Klei	

Figuur 3.3. Landschappelijke ligging van vochtige bossen met een stagnerende ondergrond (type 1 en 2): Geelders, Scheeken en Boskant, Willinks Weust, Smoddebos, Achter de Voort, Snoeyinksbeek, Ulvenhoutse bos en Bekendelle. Zie Figuur 3.2 voor toelichting.

Figure 3.3. Landscape position of moist forests with a stagnant subsoil (type 1 and 2): Scheeken and Boskant, Willinks Weust, Smoddebos, Achter de Voort, Snoeyinksbeek, Ulvenhoutse bos and Bekendelle. See Figure 3.2 for an explanation.



Legenda

 Vogelkers-Essenbos	 Beek	 Zand	 Leem	 Gesteente
 Eiken-Haagbeukenbos	 Veen	 Keileem	 Klei	

Figuur 3.4 Landschappelijke ligging van vochtige bossen zonder een zeer oppervlakkige stagnerende ondergrond (type 3 en 4): Tongelreep, Voorstonden, Lemselermaten, Urkhovense Zeggen en Collse bos en de Malpie. Zie Figuur 3.2 voor toelichting.

Figure 3.4 Landscape position of moist forests without a very shallow stagnant surface (type 3 and 4): Tongelreep, Voorstonden, Lemselermaten, Urkhovense Zeggen and Collse bos, and the Malpie. See Figure 3.2 for an explanation.

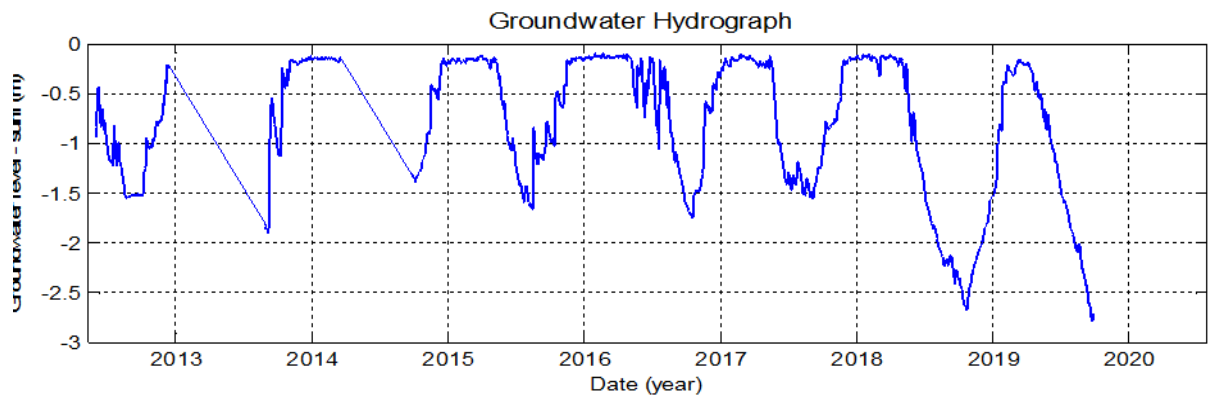
3.4 Eiken-Haagbeukenbossen op een stagnerende laag (type 1)

Eiken-Haagbeukenbossen op een ondiepe, stagnerende laag zijn aangetroffen in Willinks Weust, Smoddebos, Achter de Voort, de Scheeken/Boskant, Bekendelle, Ulvenhoutse bos en de Kohkamp (Tabel 3.2). Er is sprake van een zeer dun watervoerend pakket van vaak nog geen meter dik. De bodem bestaat uit een dun zandpakket met vaak een (sterk) lemig karakter, met hieronder de stagnerende laag (Figuur 3.3; a,c,d,e,f). Er is daarom sprake van een zeer lokaal grondwatersysteem, het watervoerend pakket vult zich snel met regenwater, maar in droge perioden zakken de grondwaterstanden ook weer snel weg. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) is dus hoog, tot in maaiveld, terwijl de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) vrij diep wegzakt, vaak tot op de slecht doorlatende laag (Figuur 3.5, Figuur 3.7). Dit is kenmerkend voor grondwatertrap V (GHG <40 cm -mv, GLG >120 cm -mv). De duurlijnen van de peilbuizen die in deze bossen staan, zijn over het algemeen bolvormig (Figuur 3.6, Figuur 3.8), wat betekent dat de gemiddelde toevoer van grondwater groter is dan de gemiddelde afvoer. In dit geval duidt dit niet op kwel, maar op vertraagde afvoer vanwege langdurige stagnatie.

De oorsprong en materiaal van de ondiepe stagnerende laag is verschillend. In het Smoddebos en Achter de Voort is het keileem en in de Scheeken/Boskant gaat het om een dikke laag Brabantse leem (het laagpakket van Liempde). In Willinks Weust is ook keileem aanwezig, maar vindt tevens stagnatie plaats op de gesteentes Muschelkalk en Bontzandsteen die hier zeer ondiep voorkomen. In het Ulvenhoutse bos is een dikke kleilaag aanwezig op ca. 4 m -mv en in Bekendelle ligt een dik pakket Tertiaire klei onder de fluvio-periglaciale afzettingen en/of dekzand. Het ionenarme regenwater wordt tijdens het contact met de basen- of kalkrijke oppervlakkige slecht doorlatende laag aangerijkt met basen (Figuur 3.9).

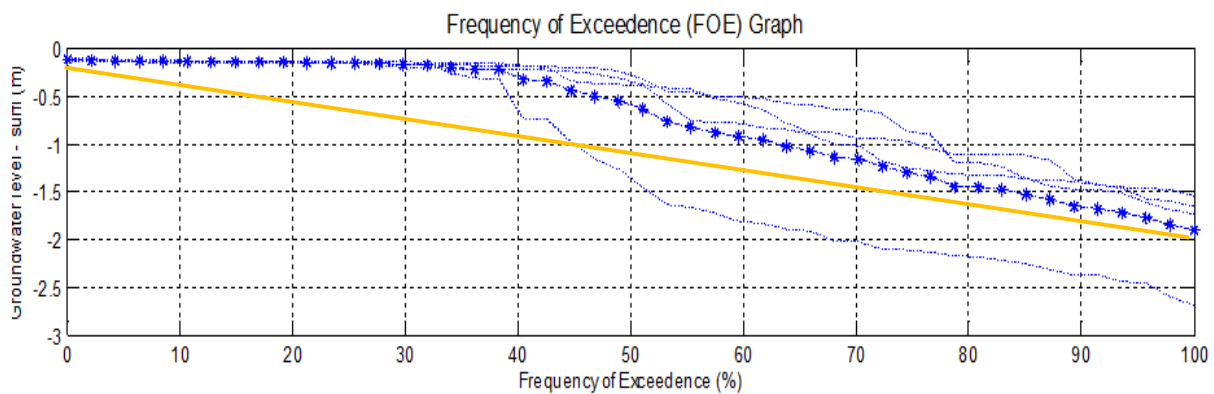
Eiken-Haagbeukenbossen in Bekendelle, Ulvenhoutse bos en in Kohkamp liggen in een beekdal. Hier komt het bostype voor in mozaïek met typische beekbegeleidende bossen, zoals Vogelkers-Essenbos en Elzenbroekbos. Het bos komt meestal voor in smalle stroken langs de beek, vaak op een betrekkelijk steile beekdalhelling. Hier kunnen ondanks de steile helling toch natte omstandigheden ontstaan in de winter door oppervlakkige stagnatie van grond- en regenwater.

Alle zeven genoemde onderzoeksgebieden bevatten Eiken-Haagbeukenbossen van goede kwaliteit. Met name in het Smoddebos, Willinks Weust en Achter de Voort zijn hiervan relatief grote oppervlaktes te vinden. De Scheeken en Boskant kennen een verdrogingsprobleem, maar ook hier zijn lokaal nog begroeiingen aanwezig van goede kwaliteit. Over het algemeen zijn de bossen van dit type geleidelijk in kwaliteit achteruitgegaan, maar minder sterk verdroogd dan andere typen vochtige bossen (van der Werf, 1991; Weeda et al, 2005). Dit heeft waarschijnlijk te maken met de stagnatie op een zeer slecht doorlatende laag, waardoor bovenlokale ingrepen in de waterhuishouding c.q. de diepere watervoerende pakketten – voor zover aanwezig – van (betrekkelijk) geringe invloed zijn. Verdroging in dit systeemtype wordt in eerste instantie vooral veroorzaakt door interne ontwatering: rabatten, greppels en sloten.



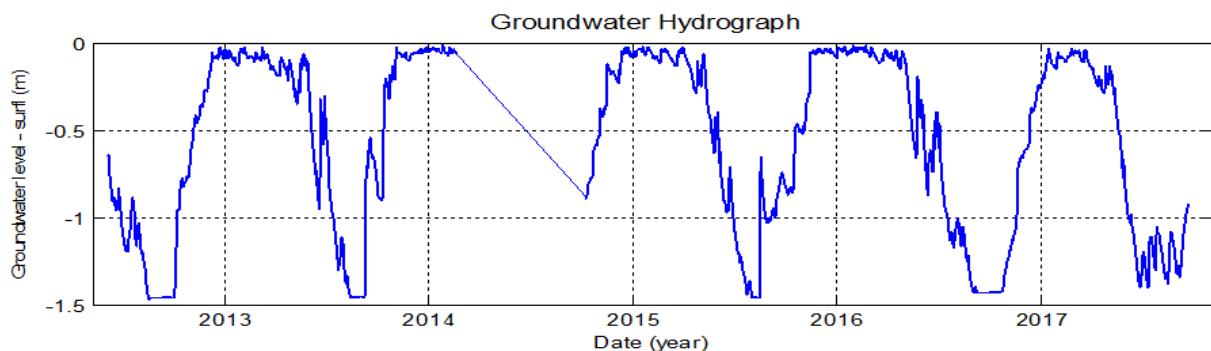
Figuur 3.5 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuis B29C1545. Smoddebos.

Figure 3.5 Groundwater hydrograph of piezometer B29C1545. Smoddebos.



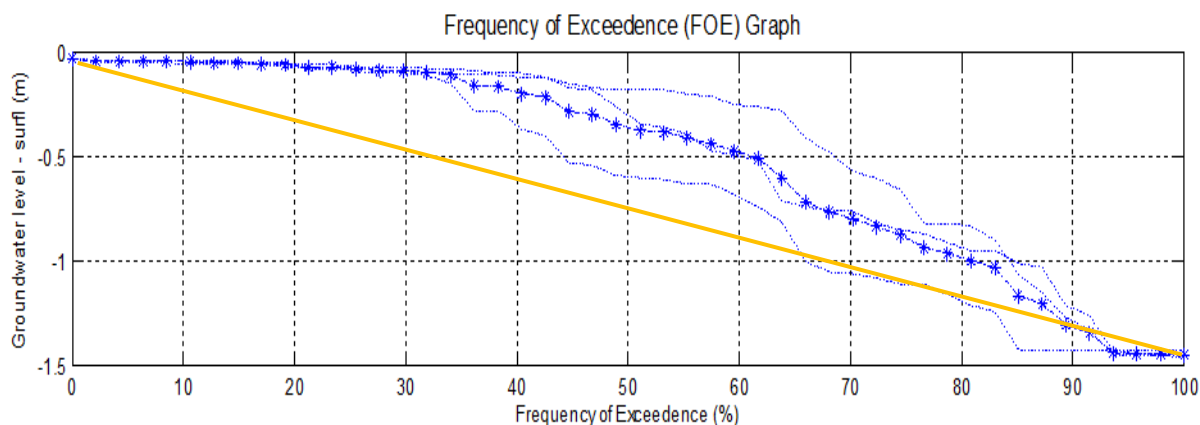
Figuur 3.6 Duurlijnen van het diepe filter van peilbuis B29C1545 in het Smoddebos, met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2013-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.6 Frequency of exceedance graph of the deep filter of monitoring well B29C1545 in the Smoddebos, with a oranje helpline. The graphs are visualised for the years 2013-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



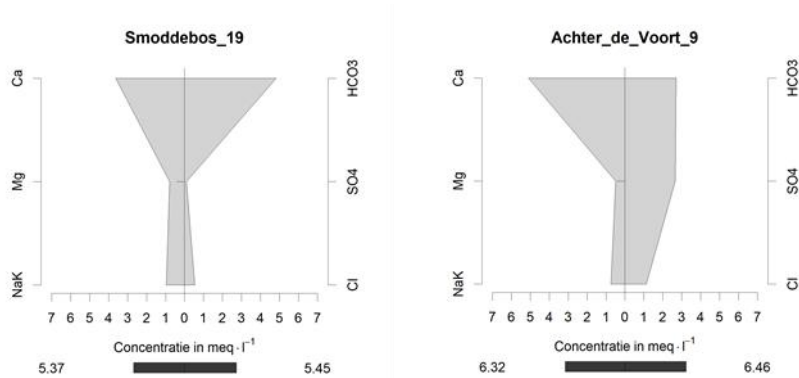
Figuur 3.7 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B28F1440 in Achter de Voort.

Figure 3.7 Groundwater Hydrograph of monitoring well B28F1440 in Achter de Voort.



Figuur 3.8 Duurlijnen van peilbuis B28F1440 diepe filter in Achter de Voort met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2013-2017 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.8 Frequency of exceedance graph of the deep filter of monitoring well B28F1440 in Achter de Voort, with a yellow helpline. The graphs are visualised for the years 2013-2017 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



Figuur 3.9 Stiffdiagrammen van het Smoldebos en Achter de Voort.

Figure 3.9 Stiff diagrams of the Smoldebos and Achter de Voort.

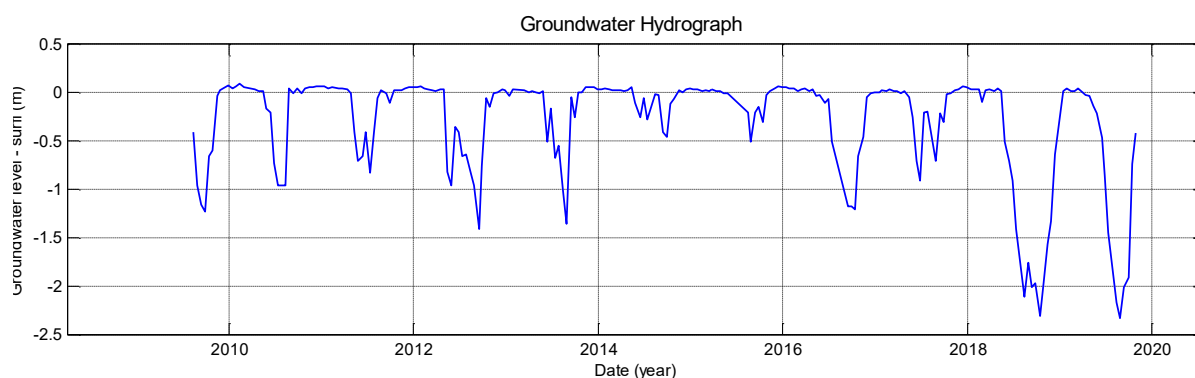
3.5 Vogelkers-Essenbos op een dun freatisch pakket (type 2)

Vogelkers-Essenbossen op zand in een betrekkelijk dun freatisch pakket op een slecht doorlatende laag van klei of leem zijn aanwezig in het Ulvenhoutse bos, Willinks Weust, Bekendelle, Geelders, Snoeyinksbeek, Achter de Voort en Kohkamp (Figuur 3.3; a,b,c,d,e,f). In de Geelders bestaat de slecht doorlatende laag uit Brabantse leem, in Snoeyinksbeek en Achter de Voort uit keileem, in Willinks Weust uit Bontzandsteen en in Bekendelle liggen onder het freatisch pakket vrijwel ondoorlatende Tertiaire kleien.

Het Vogelkers-Essenbos in Bekendelle en de Snoeyinksbeek is beekbegeleidend en wordt overstroomd met beekwater, in de andere gebieden is er eerder sprake van voorkomen in slenken c.q. ondiepe geulen. Over het algemeen is er in dit bostype sprake van grondwatertrap III (GHG <40 cm -mv, GLG 80-120 cm -mv), zoals blijkt uit de peilbuisdata en/of grondwatertrappenkaarten van het Ulvenhoutse bos, Willinks Weust, Bekendelle en Achter de Voort (Figuur 3.10, bijlage D). In de Geelders en Snoeyinksbeek is er volgens de grondwatertrappenkaart sprake van Grondwatertrap V, wat overeenstemt met het grondwaterregime gemeten in de peilbuizen (Figuur 3.12, 1.4.6 en 1.4.4 in bijlage D). Echter, dit verschil kan samenhangen met onnauwkeurigheid van de grondwatertrappenkaart en wellicht is de betreffende peilbuis geplaatst in een verdroogde locatie.

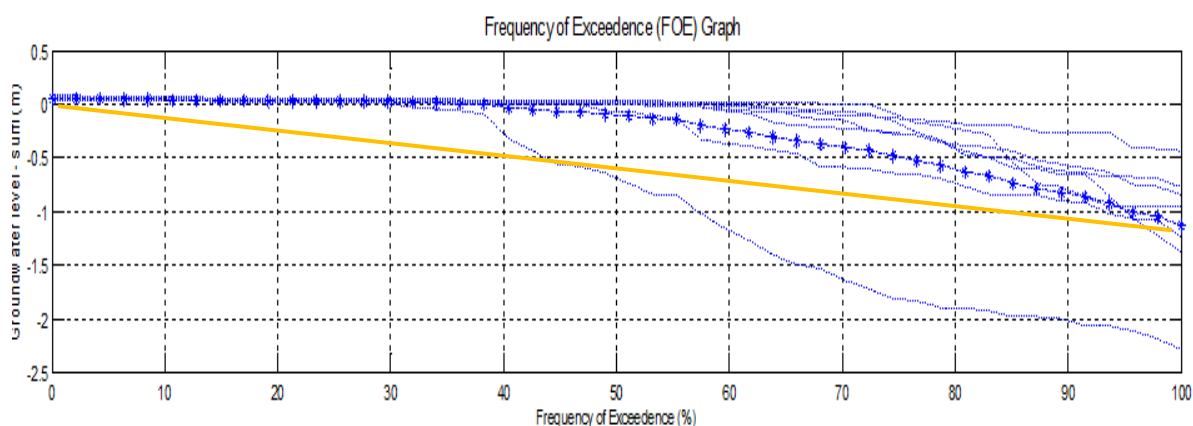
De duurlijnen van alle gebieden zijn bolvormig (Figuur 3.11; Figuur 3.13) wat hier ook voornamelijk wordt veroorzaakt door langdurige stagnatie van water op de slecht doorlatende laag. Ook in deze gebieden wordt lokaal grondwater aangerijkt met basen na contact met de basen- of kalkrijke oppervlakkige slecht doorlatende laag (Figuur 3.14). Overstroming met slib- en basenrijk beekwater vormt plaatselijk een extra basenbron.

Over het algemeen zijn de aanwezige gemeenschappen nog van goede of redelijke kwaliteit en zorgt de relatief ondiepe slecht doorlatende laag dat deze gebieden weinig of zelfs geen negatieve effecten ondervinden van verdroging die veroorzaakt wordt door bovenlokale ingrepen in de waterhuishouding c.q. de diepere watervoerende pakketten – voor zover aanwezig. Ook in dit systeemtype wordt verdroging hoofdzakelijk veroorzaakt door interne ontwatering, zoals rabatten, greppels en sloten, en terugschrijdende erosie als gevolg van beekpeilverlagingen of piekafvoeren.



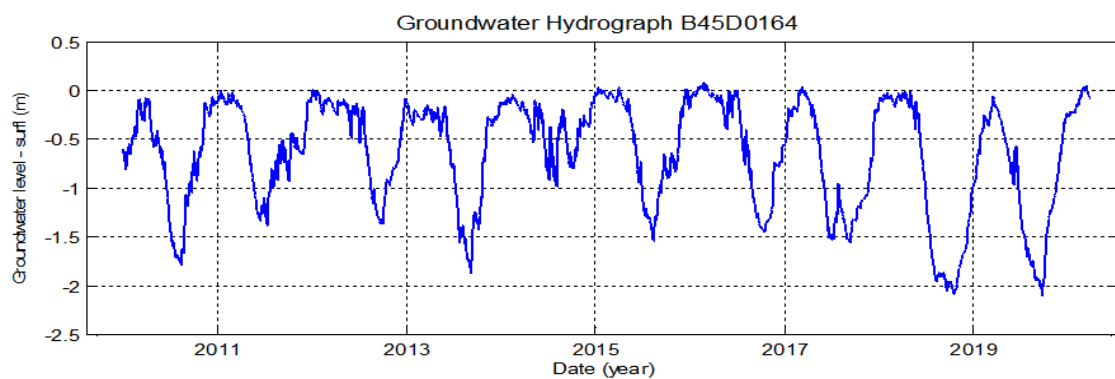
Figuur 3.10 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B28F0407 Achter de Voort.

Figure 3.10 Groundwater hydrograph of monitoring well B28F0407 in Achter de Voort.



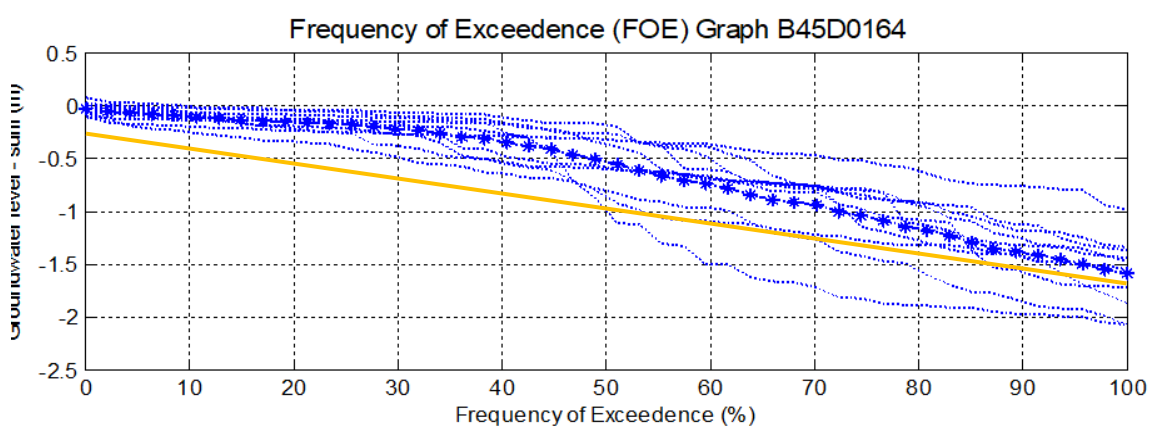
Figuur 3.11 Duurlijn van peilbuis B28F0407 Achter de Voort, met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2010-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.11 Frequency of exceedance graph of monitoring well B28F0407 in Achter de Voort, with a orange helpline. The graphs are visualised for the years 2010-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



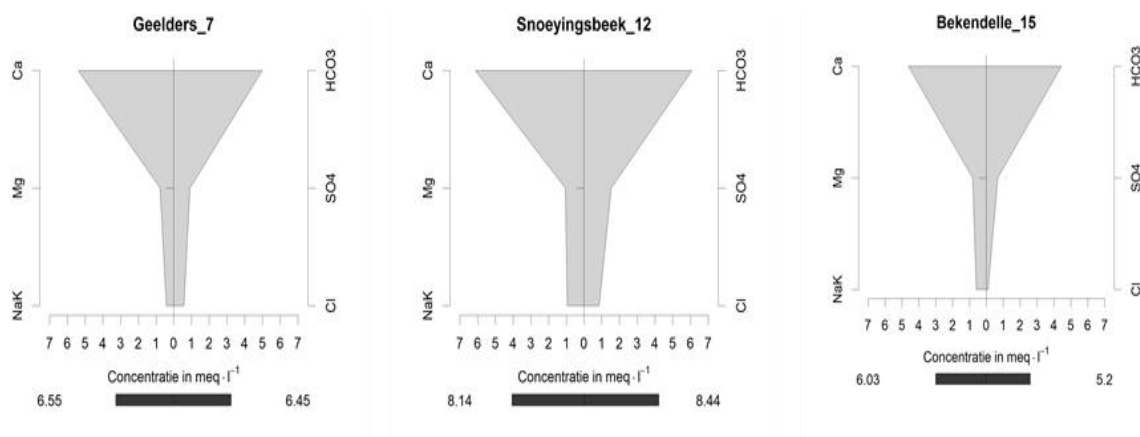
Figuur 3.12 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B45D0164 Geelders.

Figure 3.12 Groundwater hydrograph of monitoring well B45D0164 Geelders.



Figuur 3.13 Duurlijn van peilbuis B45D0164 in de Geelders met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2011-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.13 Frequency of exceedance graph of monitoring well B45D0164 Geelders, with a orange helpline. The graphs are visualised for the years 2011-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



Figuur 3.14 Stiffdiagrammen van de Geelders, Snoeyingsbeek en Bekendelle.

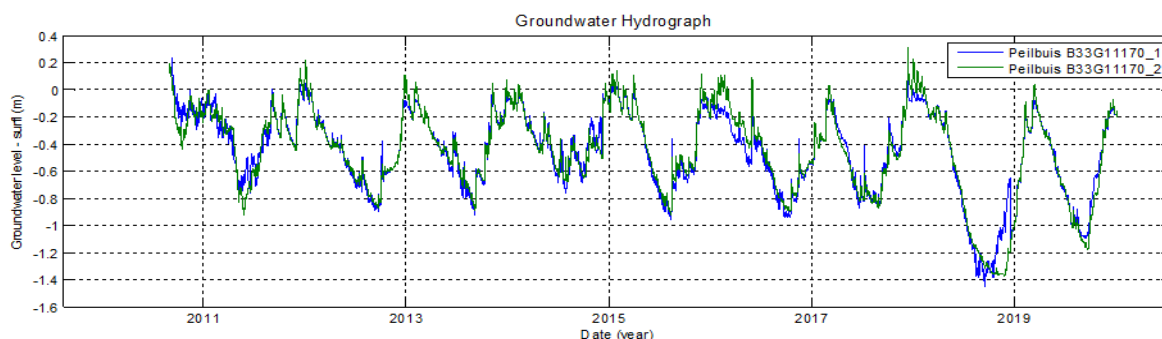
Figure 3.14 Siff diagrams of the Geelders, Snoeyingsbeek and Bekendelle.

3.6 Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket (type 3)

Vogelkers-Essenbos op dikkere zandpakketten zijn aanwezig in de Tongelreep, Voorstonden en Lemselermaten (Figuur 3.4; a,b,c). In deze gebieden bestaat het freatische watervoerende pakket uit een dikke laag (dek)zand. Bijgevolg bevinden de slecht doorlatende (klei)lagen zich op veel grotere diepte dan bij de beide andere systeemtypen. Er is dus sprake van een dikker freatisch pakket, dat in de Tongelreep een dikte heeft van ca. 15-20 meter en in de Lemselermaten en Voorstonden van ca. 10-15 meter. In de Lemselermaten is er vrij ondiep een niet aangesloten leemlaag aanwezig, waarvan dikte en ligging sterk variëren. In deze gebieden bevinden de Vogelkers-Essenbossen zich direct langs de beek en is er ter plaatse geen veen (meer) aanwezig in het beekdal.

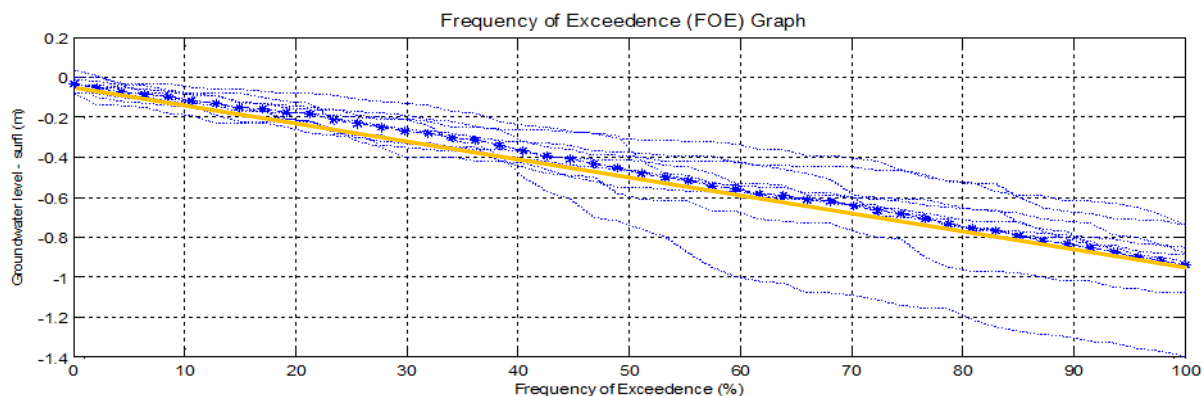
Volgens de grondwatertrappenkaart is het grondwaterregime van deze bossen te karakteriseren via een grondwatertrap III (GLG 80-120 cm -mv, GHG <40 cm-mv) en II (GLG 50-80 cm-mv, GHG <40 cm-mv). De huidige, gemeten grondwaterstanden wijken daarvan sterk af: het algemene beeld is dat de grondwaterstand 's winters nauwelijks nog het maaiveld bereikt en in de zomer dieper wegzakt (Figuur 3.15; Figuur 3.17). Deze bossen zijn dan ook in meer of mindere mate verdroogd. De S-vormige duurlijnen laten dit duidelijk zien (Figuur 3.16; Figuur 3.18), in plaats van bolvormig, wat kenmerkend is voor sterke kwelgebieden. Een uitzondering vormt de peilbuis bij de Lemselermaten, waar de grondwaterstanden in niet-droge jaren niet diep wegzakken en nog steeds een grondwatertrap III voorkomt (Figuur 3.19). Ook is er kwel aanwezig, wat blijkt uit de verschillen in stijghoogte van de filters op verschillende diepten (Figuur 3.19) en de bolle duurlijnen (Figuur 3.20). Het uittredende grondwater is basenrijk (Figuur 3.21C). Deze peilbuis staat echter op enige afstand van het verdroogde Vogelkers-Essenbos, ca. 40 meter richting de beek. Ondanks dit kleine verschil in afstand zijn de hydrologische omstandigheden ter plaatse van het Vogelkers-Essenbos minder gunstig dan het grondwaterregime in de peilbuis doet voorkomen.

De verdroging verklaart de slechte conditie van de Vogelkers-Essenbossen in bijna alle onderzoeksgebieden; het grondwaterregime wordt niet alleen negatief beïnvloed door de (vele) lokale ontwateringsmiddelen, maar ook door ingrepen met een bovenlokaal effect, zoals beekverdieping en -kanalisatie. De huidige chemische samenstelling van het ondiepe grondwater is de Lemselermaten en Voorstonden te typeren als basenrijk (Figuur 3.21), maar in de Tongelreep is deze te typeren als ionenarm (Figuur 3.21). Dit terwijl het oppervlakkige grondwater van goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen basenrijk van aard is. Dat geeft aan dat verdroging hier samengaat met verzuring als gevolg van een grotere invloed van infiltrerend regenwater; alleen op grotere diepte wordt nog basenrijk grondwater aangetroffen.



Figuur 3.15 Tijdstijghoogtelijn van 2010-2020 van peilbuis B33G1170 met een ondiep (blauw) en diep (groen) filter. Voorstonden.

Figure 3.15 Groundwater hydrograph of monitoring well B33G1170 with a undeeep (blue) and deep (green) filter in Voorstonden.



Figuur 3.16 Duurlijn van het ondiepe filter van peilbuis B33G11170 in Voorstonden, met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2011-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.16 Frequency of exceedance graph of monitoring well B33G11170 in Voorstonden, with a orange helpline. The graphs are visualised for the years 2011-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.

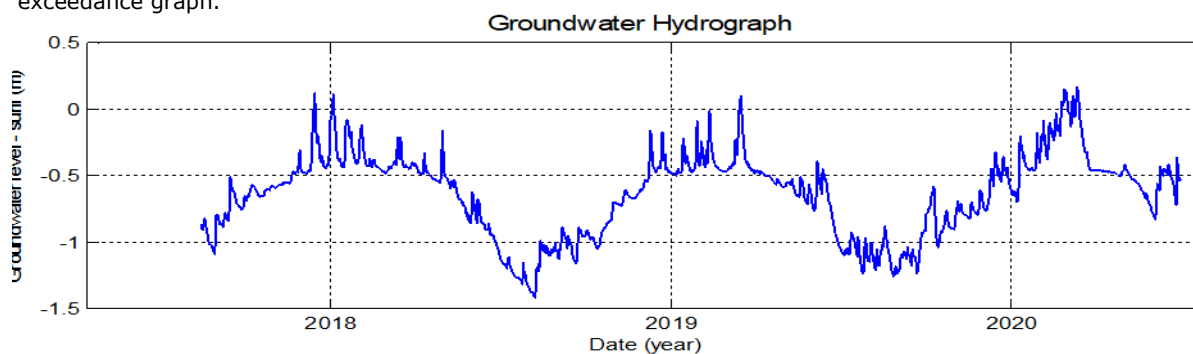
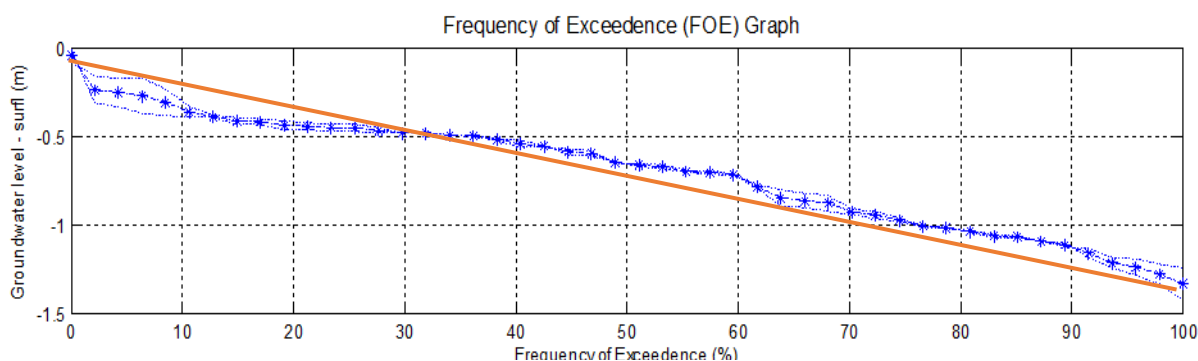


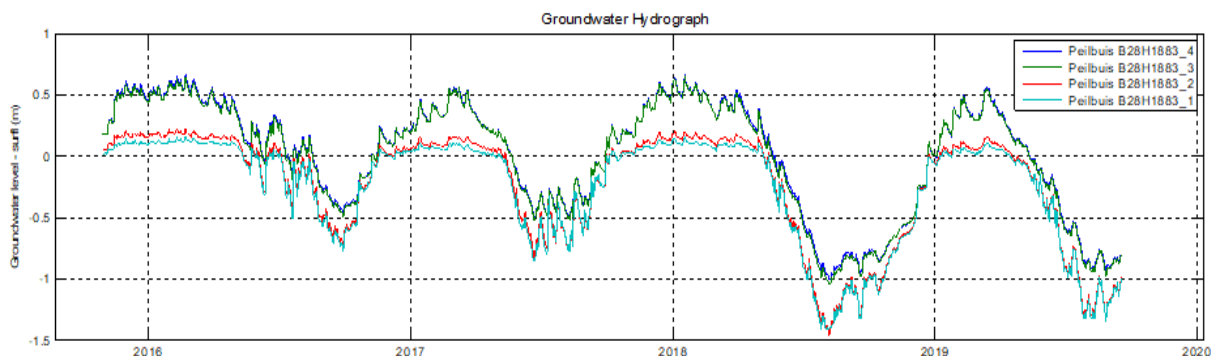
Figure 3.17 Tijdstijghoogtelijn peilbuis TORE003_G Tongelreep.

Figure 3.17 Groundwater hydrograph of monitoring well TORE003_G in the Tongelreep.



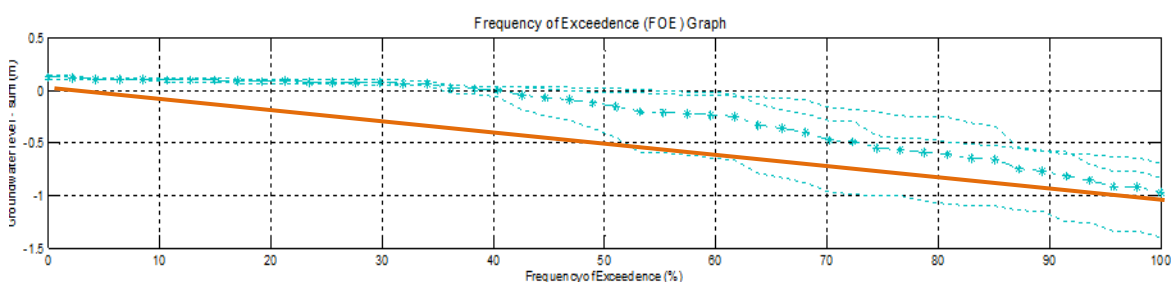
Figuur 3.18 Duurlijn peilbuis TORE003_G in de Tongelreep, met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2018-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.18 Frequency of exceedance graph of monitoring well B28H1883 in the Tongelreep, with orange helpline. The graphs are visualised for the years 2018-2020 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



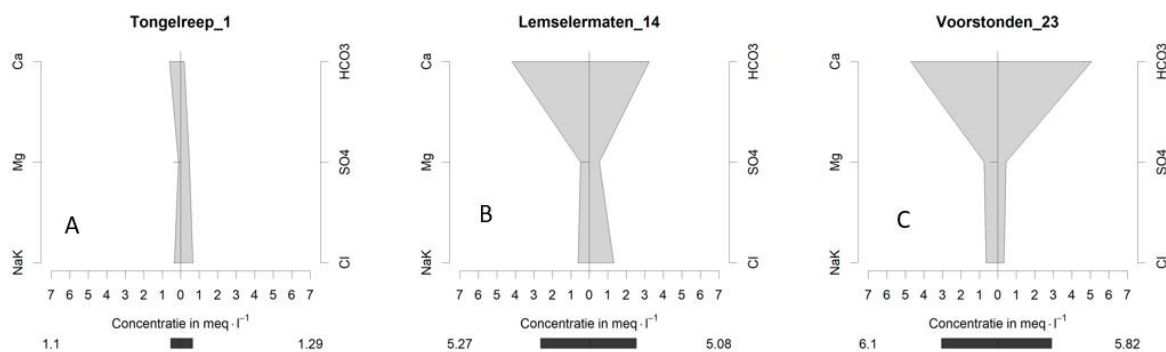
Figuur 3.19 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuis B28H1883 met filters op vier verschillende dieptes in de Lemselermaten

Figure 3.19 Groundwater hydrograph of monitoring well B28H1883 at four different depths in the Lemselermaten.



Figuur 3.20 Duurlijn van het bovenste filter van peilbuis B28H1883 in de Lemselermaten met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2016-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.20 Frequency of exceedance graph of monitoring well B28H1883 in the Lemselermaten, with orange helpline. The graphs are visualised for the years 2016-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



Figuur 3.21 Stiffdiagrammen van de Tongelreep, Lemselermaten en Voorstonden.

Figure 3.21 Stiff diagrams of the Tongelreep, de Lemselermaten en Voorstonden.

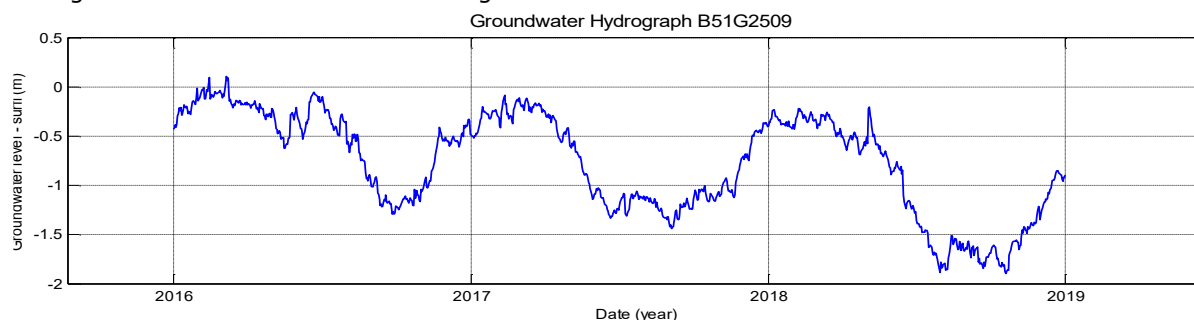
3.7 Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en sterke kwel (type 4)

Het laatste onderscheiden type vochtige bos, dat voorkomt in de Malpie en de Urkhovense Zeggen, is Vogelkers-Essenbos op een dik watervoerend pakket en onderscheidt zich van type 3 doordat het ligt op een plaats in een beekdal met een hogere kwelintensiteit, die gedurende het overgrote deel van het gehele wortelzone bereikt (Figuur 3.4; d,e). Hierdoor groeit het Vogelkers-Essenbos niet direct langs de beek, maar wat hoger op de gradiënt. Direct langs de beek is veen aanwezig en zijn de standplaatscondities te nat voor Vogelkers-Essenbos en juist geschikt voor Elzenbroekbos (*Alnion glutinosae*). In beide gebieden bestaat het bovenste watervoerend pakket uit dekzand en zanden van de Formatie van Sterksel.

De gebieden liggen in het dal van de Dommel respectievelijk de Kleine Dommel. In het dal van de Kleine Dommel is sprake van een hoge stijghoogte en sterke kwelintensiteit vanuit het eerste watervoerend pakket (Versluijs et al., 2019). Daarnaast zorgt het hoge stuwpeil van de Collse Watermolen in de Urkhovense Zeggen voor extra natte omstandigheden. In de Malpie is het bovenste watervoerend pakket ca. 10-15 m dik. De slecht doorlatende kleilaag is dun en het uittreden van grondwater wordt bevorderd door een breuk. In de Urkhovense Zeggen is het bovenste watervoerend pakket iets dikker, 15- 20 m. Hier is zeer oppervlakkig ook een ondiepe, maar onderbroken leemlaag aanwezig, waarvan de exacte ligging onbekend is. De leemlaag is door de smeltwatergeul waarin de Kleine Dommel ligt geërodeerd, maar mogelijk nog onderbroken aanwezig in het Collse bos.

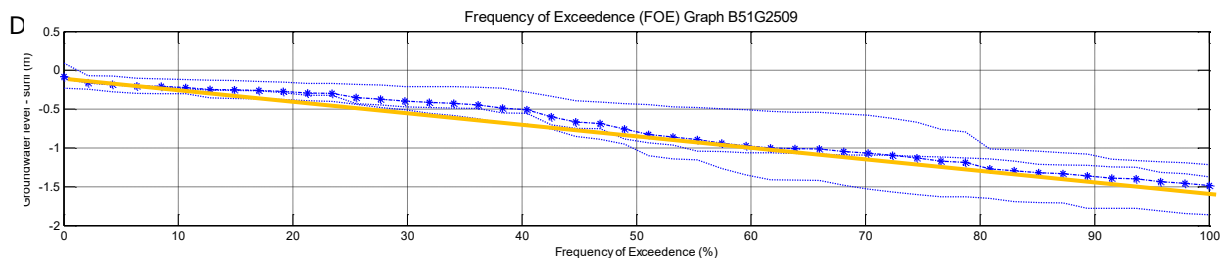
Volgens de grondwatertrappenkaart is het grondwaterregime van deze bossen te karakteriseren als een grondwatertrap III (GLG 80-120 cm -mv, GHG <40 cm-mv) en II (GLG 50-80 cm-mv, GHG <40 cm-mv). De huidige, gemeten grondwaterstanden wijken daar in de Malpie en in het Collse bos echter sterk van af: het algemene beeld is net als bij type 3 dat de grondwaterstand 's winters nauwelijks nog het maaiveld bereikt en in de zomer aanzienlijk dieper wegzakt (Figuur 3.22; Figuur 3.24) dan in de vroegere situatie. Deze bossen zijn dan ook (sterk) verdroogd. Dit is ook duidelijk te zien aan de duurlijnen die op deze verdroogde locaties S-vormig zijn (Figuur 3.23; Figuur 3.25) in plaats van bolvormig, wat kenmerkend is voor sterke kwelgebieden. In het beekbegeleidende Vogelkers-Essenbos in de Urkhovense Zeggen staat geen peilbuis, maar hier komen wel natte omstandigheden voor dankzij hydrologische herstelmaatregelen (van der Burg et al., 2009; van der Burg, persoonlijke communicatie, 19-02-2021).

In dit type vochtige bos speelt verdroging een grote rol. De conditie van de Vogelkers-Essenbossen in deze onderzoeksgebieden is slecht vanwege de (vele) lokale ontwateringsmiddelen. De huidige chemische samenstelling van het ondiepe grondwater is op veel plaatsen te typeren als ionenarm (Figuur 3.26) terwijl het oppervlakkige grondwater van goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen basenrijk van aard is. Dat geeft aan dat verdroging hier samengaat met verzuring als gevolg van een grotere invloed van infiltrerend regenwater.



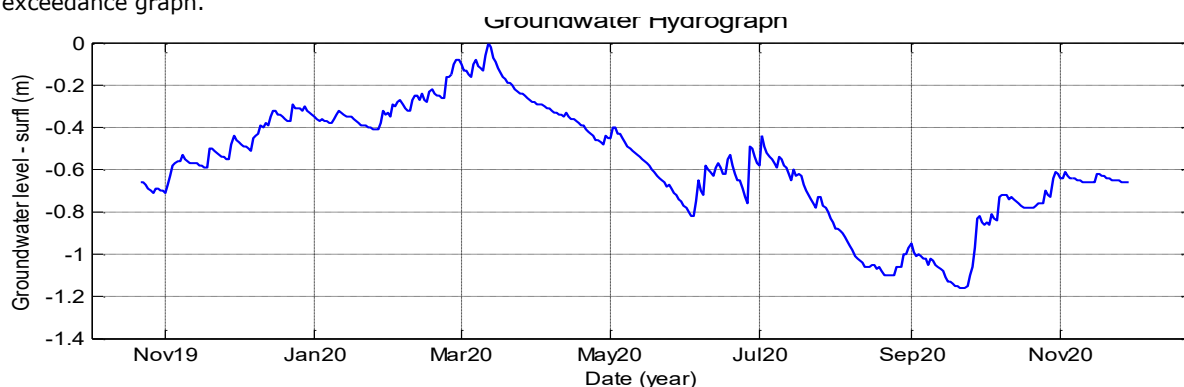
Figuur 3.22 Tijdstijghoogtelijn B51G2509 Collse bos.

Figure 3.22 Groundwater hydrograph of monitoring well B51G2509 Collse bos.



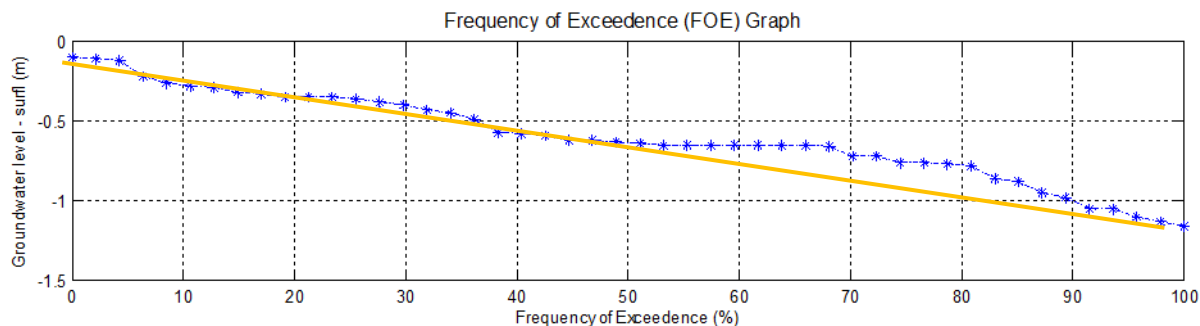
Figuur 3.23 Duurlijnen van 2016-2019 en gemiddelde duurlijn van B51G2509 in het Collse bos, met oranje hulplijn. De duurlijnen zijn van de jaren 2016-2019 en de dikke blauwe lijn geeft de gemiddelde duurlijn weer.

Figure 3.23 Frequency of exceedance graph of monitoring well B51G2509 in Collse bos, with a oranje helpline. The graphs are visualised for the years 2016-2019 and the bold blue line is the average frequency of exceedance graph.



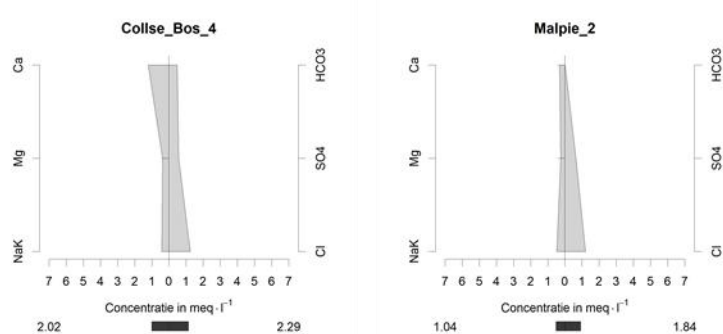
Figuur 3.24 Tijdstijghoogtelijn peilbuis NBMa001_G in het De Malpie.

Figure 3.24 Groundwater hydrograph of monitoring well NBMa001_G in the Malpie.



Figuur 3.25 Duurlijn peilbuis NBMa001_G in het de Malpie, met oranje hulplijn. De duurlijn is van het jaar november 2019-november 2020.

Figure 3.25 Frequency of exceedance graph of monitoring well NBMa001_G in the Malpie, with a oranje helpline. The graphs are visualised for November 2019-November 2020.



Figuur 3.26 Stiffdiagrammen van het Collse bos en de Malpie.

Figure 3.26 Stiff diagrams of the Collse bos and the Malpie.

3.8 De betekenis van systeemtypen voor maatregelen

Voor het herstel en behoud van vochtige bossen is het nemen van hydrologische maatregelen een van de belangrijkste sleutels tot succes. Om de juiste hydrologische maatregelen te kiezen is het van belang om te begrijpen hoe het systeem functioneert.

Vanuit een landschapsecologische invalshoek hebben we vier systeemtypen onderscheiden voor de onderzoeksgebieden (Tabel 3.1, Figuur 3.1). De standplaatsomstandigheden van de eerste twee types, Eiken-Haagbeukenbos en Vogelkers-Essenbos op een dun watervoerend pakket, worden bepaald door lokale hydrologische systemen: onder de relatief dunne laag (lemig) dekzand bevindt zich een slechtdoorlatende laag, bijvoorbeeld een dikke leem- of kleilaag, die nauwelijks water doorlaat. Het vochtige bos wordt hierdoor vooral beïnvloed door lokaal grondwater wat in of nabij het gebied infiltreert en stagneert op de slechtdoorlatende laag en dus niet door dieper, bovenlokaal c.q. regionaal grondwater. Voor het herstel van deze systemen betekent dat het gebied goed te herstellen is met lokale maatregelen, zoals het dempen en afdammen van lokale ontwatering (sloten) en rabatten in het gebied. Binnen deze twee typen liggen enkele gebieden die door een beek doorsneden worden (Bekendelle, Snoeyinksbeek en Kohkamp). Als de beek te diep is geworden door bijvoorbeeld erosie van de beekdalbodem zorgt dit ook voor ontwatering en zijn maatregelen die hierop gericht zijn gewenst, zoals het verhogen van het beekpeil en/of het verhogen van de beekbodem.

Het derde en vierde systeemtype, Vogelkers-Essenbos op een dik watervoerend pakket met zwakke of sterke kwel, staan naast lokaal grondwater onder invloed van (sub)regionaal grondwater; ze zijn dus onderdeel van een groter hydrologisch systeem. Dit maakt dat deze systeemtypen niet alleen door lokale, maar ook door bovenlokale ingrepen in de waterhuishouding negatief kunnen worden beïnvloed. In deze gebieden volstaan lokale maatregelen niet, hoe noodzakelijk ze ook zijn, maar zijn tevens maatregelen op regionale schaal noodzakelijk voor herstel. Een deel van deze vochtige bossen is ontstaan onder invloed van ontwatering van Elzenbroeken. Hier dienen herstelmaatregelen in de eerste plaats gericht te zijn op herstel Elzenbroeken, aangezien alleen daarmee de standplaatscondities over de volledige gradiënt hersteld kunnen worden, en niet op de instandhouding van een bos dat is ontstaan dankzij verdroging.

4 Ecologisch functioneren op standplaatsniveau

4.1 Vegetatie & lichtbeschikbaarheid

Vegetatie

Van alle locaties zijn vegetatieopnamen gemaakt in homogene proefvlakken van 10 x 10 meter. In enkele gevallen is hiervan afgeweken om afwijkende elementen (bijvoorbeeld rabatgreppels) buiten de opnamen te houden. Er is dan wel dezelfde oppervlakte van 100 m² aangehouden. De resultaten van de opnamen zijn opgenomen in bijlage **A**. In onderstaande Tabel 4.1 staan de vegetatietypen waartoe de opnamen toe te rekenen zijn. De huidige vegetatie komt vrij aardig overeen met hetgeen op grond van de selectie te verwachten zou zijn. De intacte en verdroogde bostypen zijn grotendeels tot het type te rekenen waarvoor ze geselecteerd zijn. Uitzondering hierop vormen de onderzoeklocaties in de Geelders die geselecteerd waren als Eiken-Haagbeukenbossen, op basis van de aanwezigheid van een stagnerende leemlaag, maar bij nader inzien tot de Vogelkers-Essenbossen gerekend moeten worden. Dit komt ook overeen met de systeemanalyse (zie pagina 28). Vogelkers-Essenbossen hebben een groot aantal soorten gemeen met de Eiken-Haagbeukenbossen maar onderscheiden zich hiervan door een hoger aandeel soorten uit de klasse van de Elzenbroekbossen en door een hoger aandeel eutrafente soorten.



figuur 4.1: De kruidlaag van plot SB SC1 in het Smoddebos. Voorbeeld van Eiken-Haagbeukenbos (*Stellario-Carpinetum*)

Figure 4.1 The herb layer of plot SB SC1 in the Smoddebos. Example of Oak-Hornbeech Forest (*Stellario-Carpinetum*)

Zoals te verwachten zijn de verdroogde bossen aanzienlijk minder soortenrijk dan de onaangetaste bossen. Op verdroogde locaties ontbreekt vooral een groot deel van de kenmerkende soorten van de Vogelkers-Essenbossen en Eiken-Haagbeukenbossen. In het verdroogde Vogelkers-Essenbos geldt dit ook voor soorten van Elzenbroeken (deze komen in het Eiken-Haagbeuken weinig voor; een belangrijk verschil tussen het Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos).

Het effect van bomen met zuur strooisel blijkt sterk door te werken in de vegetatie; er treedt een transitie op naar het Beuken-Eikenbos doordat soorten van Vogelkers-Essenbossen en Eiken-Haagbeukenbossen verdwijnen. Deze bossen zijn beduidend soortenarmer; ook eutrafente soorten en soorten van vochtige omstandigheden ontbreken. Dit laatste wijst er ook op dat deze bossen niet alleen verzuurd zijn door het zure strooisel van de bomen, maar dat ook verdroging hier een rol speelt.

Bossen waarin wilgen en/of populieren domineren en bossen die periodiek overstroomd worden met voedselrijk water zijn het sterkst verruigd. Bossen die verruigd zijn door inundatie met beekwater zijn echter nauwelijks soortenarmer dan hun intacte tegenhangers. Het aantal kenmerkende soorten is min of meer gelijk maar de bedekking is sterk afgenomen en de bedekking eutrafente soorten verdubbelt. In bossen waar de boomsoorten populier en schietwilg de verruiging veroorzaken, komen nauwelijks kenmerkende bossoorten voor.

Lichtbeschikbaarheid (kroonbedekking)

De lichtbeschikbaarheid is bepaald op basis van de dichtheid van het kronendak (kroonsluiting of kroonbedekking) van het bos boven de onderzoekplots. Deze kroonbedekking is gemeten door met behulp van een Fish Eye lens foto's te maken van het kronendak. De foto's zijn via een programma, ImageJ, omgezet naar een binaire afbeelding (zie Figuur 4.22) en vervolgens is op basis van de verhouding zwarte en witte pixels de kroonbedekking berekend. Voordeel van deze methode ten opzichte van directe lichtmetingen is dat de metingen min of meer onafhankelijk van tijdstip van de dag en mate van bewolking gedaan kunnen worden. De foto's zijn genomen op ongeveer 1 meter hoogte boven het maaiveld. Hierdoor geven de metingen een indicatie van de bedekking van de kronen in de boomlaag én de struiklaag.



Figuur 4.2: Binaire afbeelding van een foto van het kronendak

Figure 4.2 Binary image of a photo of the forest canopy

Tabel 4.1: Overzicht van de onderzoeksplots en de bosgemeenschappen (naamgeving op basis van de Revisie Vegetatie van Nederland (rVVN, Schaminée et al., 2017)). nS is het totaal aantal soorten in de plot, %Eu en #Eu zijn bedekkingspercentage respectievelijk aantal eutrafente soorten, gedefinieerd al soorten met een Ellenberg stikstof getal van 7 of hoger. %BS en #BS zijn de bedekking en aantallen van kensoorten van vegetatiegemeenschappen van vochtige bossen.

Table 4.1: List of research locations and forest communities based on the "Revisie Vegetatie van Nederland (rVVN, Schaminée et al., 2017)". nS is the total number of species in the plot, %Eu and #Eu are the percentage coverage and number of eutrophic species respectively and %BS and #BS are the cover and numbers of characteristic species of moist forests.

Species of moist forests:				nS	% EU	n EU	% BS	nBS
	selectie	Bostype (rVVN)						
GE SC	intact Carpinion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	26	14	5	50	7
SB SC 1	intact Carpinion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	30	1	1	77	9
SB SC 2	intact Carpinion	r46Ab2a	Sleutelbloem-Eikenhaagbeukenbos (<i>Primulo eliatoris-Carpinetum typicum</i>)	40	6	3	92	11
WW SC	intact Carpinion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	29	9	2	94	11
KK SC 1	intact Carpinion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	30				
KK SC 2	intact Carpinion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	45				
GE VSC 1	verdroogd Carpinion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	24	5	3	27	5
GE VSC 2	verdroogd Carpinion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	24	26	5	3	2
AV VSC	verdroogd Carpinion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	13	2	2	64	5
WW VSC	verdroogd Carpinion	r46Ab2a	Sleutelbloem-Eikenhaagbeukenbos (<i>Primulo eliatoris-Carpinetum typicum</i>)	40	10	2	55	12
UL AP	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	24	2	1	22	2
AV AP	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	34	21	5	35	11
SnB AP	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	55	30	11	79	13
Be AP	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	43	46	14	94	11
KK AP 1	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	45				
KK AP 2	intact Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	54				
Cb VAP	verdroogd Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	17	0	0	48	3
Tr VAP	verdroogd Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	44	13	7	4	2
Vo VAP1	verdroogd Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	34	12	7	17	7
LM VAP 2	verdroogd Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	33	33	4	12	6
Vo VAP2	verdroogd Alno-Padion	r45Aa4c	Beuken-Eikenbos, subass. Lelietje van Dalen (<i>Fago-quercetum convallarietosum</i>)	21	2	1	6	3
AV VAP	verdroogd Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	35	51	7	19	6
Ma EAP	eutroof Alno-Padion	r46RG5	RG Grote brandnetel (<i>RG Urtica dioca-Alnus glutnosa [Alno-Padion]</i>)	32	74	11	0	0
Be EAP	eutroof Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	37	79	13	37	11
SNB EAP	eutroof Alno-Padion	r46Aa5	Vogelkers-Essenbos (<i>Pruno-Fraxinetum</i>)	49	64	14	55	14
GE Zu	verzuurd Alno-Padion	r45Aa4c	Beuken-Eikenbos, subass. Lelietje van Dalen (<i>Fago-quercetum convallarietosum</i>)	12	0	0	8	1

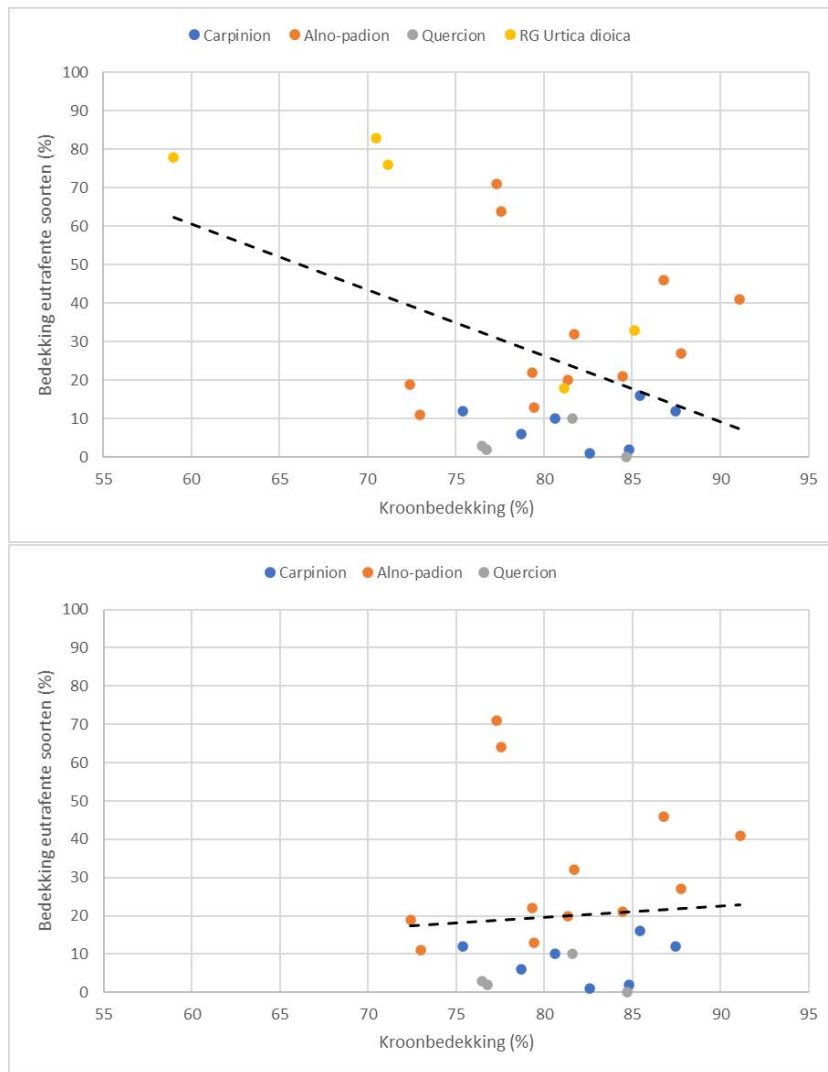
	selectie	Bostype (rVVN)		nS	% EU	n EU	% BS	nBS
SnB Zu	verzuurd Alno-Padion	r46Ab3a	Eiken-Haagbeukenbos (<i>Stellario-Carpinetum typicum</i>)	29	4	2	36	5
Be Zu	verzuurd Alno-Padion	r45Aa5b	Bochtige smele-Beukenbos, typische subass. (<i>Deschampsio-Fagetum typicum</i>)	17	1	1	8	1
Vo Zu	verzuurd Alno-Padion	r45Aa4d	Beuken-Eikenbos, subass. Pijpenstrootje (<i>Fago-quercetum mollinietosum</i>)	17	0	0	0	0
GE Eu	eutroof Alno-Padion	r46RG5	RG Grote brandnetel (<i>RG Urtica dioca-Alnus glutnosa [Alno-Padion]</i>)	27	16	2	5	3
SC Eu1	eutroof Alno-Padion	r46RG5	RG Grote brandnetel (<i>RG Urtica dioca-Alnus glutnosa [Alno-Padion]</i>)	21	15	4	7	4
SC SC2	eutroof Alno-Padion	r46RG5	RG Grote brandnetel (<i>RG Urtica dioca-Alnus glutnosa [Alno-Padion]</i>)	21	31	4	3	2
BO Eu	eutroof Alno-Padion	r46RG5	RG Grote brandnetel (<i>RG Urtica dioca-Alnus glutnosa [Alno-Padion]</i>)	15	66	6	1	1

tabel 4.2: Resultaat van de metingen van de kroonbedekking

table 4.2: Measurements of canopy cover

plot naam	bostype	meting 1	meting 2	gemiddelde bedekking	opmerking tav lichtbeschikbaarheid
GESC	Alno-padion	84%	87%	85%	
SB SC 1	Carpinion	82%	83%	83%	
SB SC 2	Carpinion	78%	79%	79%	meer licht door omgevallen boom
WW SC	Carpinion	82%	79%	81%	
GE VSC 1	Alno-padion	79%	80%	79%	lagere bedekking door essentaksterven
GE VSC 2	Alno-padion	89%	87%	88%	
AV VSC	Carpinion	84%	86%	85%	
WW VSC	Carpinion	77%	73%	75%	meer licht door omgevallen boom
UL AP	Alno-padion	78%	81%	79%	lagere bedekking door essentaksterven
AV AP	Alno-padion	84%	85%	84%	
SnB AP	Alno-padion	79%	84%	82%	
Be AP	Alno-padion	87%	87%	87%	
Cb VAP	Alno-padion	76%		76%	
Tr VAP	Alno-padion	72%	72%	72%	geringe vitaliteit populier
Vo VAP1	Alno-padion	81%	82%	81%	
LM VAP 2	Alno-padion	91%	91%	91%	relatief jong gesloten elzenbos
Vo VAP2	Quercion	81%	82%	82%	
AV VAP	Alno-padion	79%	75%	77%	
Ma EAP	Alno-padion	69%	73%	71%	geringe vitaliteit populier
Be EAP	RG Urtica dioica			geen meting	
SNB EAP	Alno-padion	78%	77%	78%	
GE Zu	Quercion	77%	76%	77%	
SnB Zu	Carpinion	86%	89%	87%	
Be Zu	Quercion	77%	76%	76%	
Vo Zu	Quercion	82%	88%	85%	
GE Eu	RG Urtica dioica	82%	80%	81%	
SC Eu1	RG Urtica dioica	74%	67%	70%	wilg zonder onderetage
SC SC2	RG Urtica dioica	85%	85%	85%	
BO Eu	RG Urtica dioica	59%	59%	59%	populier zonder onderetage

In tabel 4.2 is de kroonbedekking van de plots opgenomen. Er is een grote spreiding in kroonbedekking. De laagste waarde zit net onder de 60% en de hoogste op ruim 90% bedekking. De waarden zijn waarschijnlijk relatief laag uitgevallen omdat in de meeste plots essen in de boom- en struiklaag voorkomen die als gevolg van essentaksterfte gedeeltelijk of helemaal afgestorven waren. In een tweetal plots was ook een grote Hazelaar recent omgewaaid waardoor de plot veel lichter geworden is. In het veld leek een toename van lichtbeschikbaarheid gepaard te gaan met een toename van meer eutrafente soorten zoals Grote brandnetel, Bosandoorn (*Stachys sylvatica*) en Hondsdraf (*Glechoma hederacea*). In figuur 4.3 is een vergelijking gemaakt tussen de bedekking eutrafente soorten in de vegetatie en de kroonbedekking. In eerste instantie lijkt daar een duidelijke relatie te liggen en neemt het aandeel eutrafenten sterk af als ook de lichtbeschikbaarheid afneemt. Deze relatie wordt echter grotendeels gedragen door enkele opnamen met veel Grote brandnetel. Een relatie tussen verruiging en licht is dus wel aanwezig, maar deze is niet sterk en lijkt ook door andere factoren te worden beïnvloed.



Figuur 4.3 Kroonsluiting vergeleken met de bedekking eutrafente soorten. Inclusief (boven) en zonder (onder) RG van grote brandnetel

Figure 4.3 Canopy closure compared to covering epiphytic species. Including (top) and without (bottom) RG of Stinging Nettle

4.2 Bodem & strooiselkwaliteit

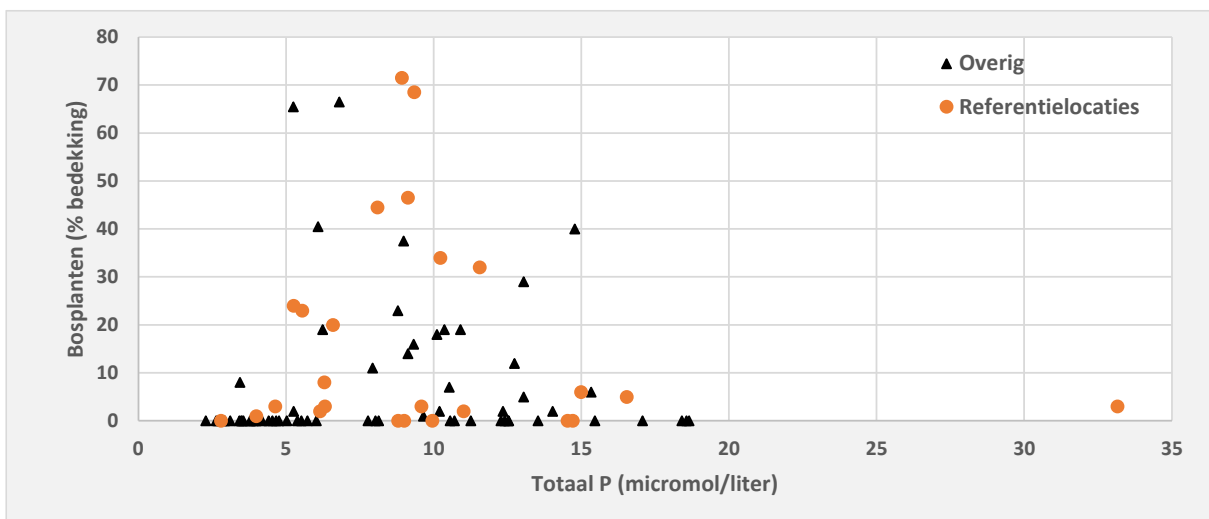
4.2.1 Bodem

In totaal is voor dit deelonderzoek op 30 van de in hoofdstuk 2 beschreven referentielocaties bodem verzameld en de samenstelling hiervan bepaald. Er is een mengmonster van 5 steken genomen van de bovenste 10 centimeter van de bodem. Op enkele locaties met een meer dan 2 cm dikke humuslaag, is deze laag eenmalig apart bemonsterd en geanalyseerd. De meeste bodemmonsters zijn verzameld in juni 2019, voor zoutextracten zijn extra monsters verzameld in november 2019 en mei 2020.

Kader: analyse van bodemmonsters van de referentielocaties
De verzamelde bodems zijn gebruikt voor het uitvoeren van drie typen extracten. Middels een extractie met geconcentreerd salpeterzuur is de totale verweerbare fractie bepaald. En met een extractie met natriumbicarbonaat is de hoeveelheid fosfaat die planten uit de bodem kunnen losmaken zo veel mogelijk benaderd. Deze analyse zijn eenmalig uitgevoerd. Tenslotte is de zout-uitwisselbare concentratie van een aantal elementen bepaald. Deze fractie vertoont doorgaans flinke schommelingen en is daarom op drie verschillende tijdstippen gemeten. De analyses staan hieronder nader omschreven.
Drooggewicht en organisch stofgehalte
Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem. Alleen in kalkrijke bodems en bodems met een hoog lutumgehalte kunnen afwijkingen ontstaan.
Destructie
Door de bodem en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO ₃ , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H ₂ O ₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.
Olsenextractie
Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l-1 natriumbicarbonaat (NaHCO ₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het su-pernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.
Zoutextractie
Met een water- en zoutextractie kunnen de vrij in de bodem aanwezige ionen of de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml

zoutextract (0,2 mol l⁻¹ NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

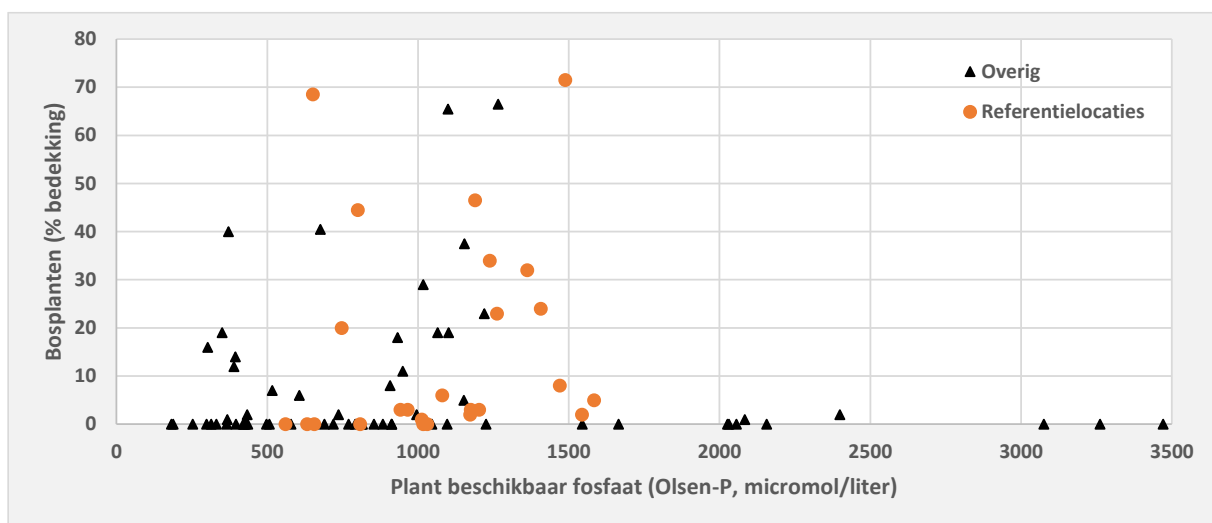
Het onderzoek op de 30 referentielocaties levert een beeld op van de correlatie tussen bodem en vegetatie in de vochtige, basenrijkere bossen op de zandgronden. Echter, het aantal van 30 locaties is statistisch aan de lage kant om ook een betrouwbaar beeld te kunnen geven. Ook krijgt een bodemonderzoek juist een meerwaarde als een vergelijking kan worden gemaakt met andere bostypen, zodat duidelijk wordt in welke opzichten de Vogelkers-Essenbossen en Eiken-Haagbeukenbossen verschillen van andere bostypen die droger, natter of basenarmer zijn. Er is daarom gezocht naar aanvullende locaties van bossen die op soortgelijke wijze zijn onderzocht. Dat zijn dus locaties waar vegetatie, inclusief mossen en paddenstoelen, zijn genoteerd en waar bodems met dezelfde technieken zijn geanalyseerd. Zo is een set samengesteld van 200 locaties die de afgelopen jaren door B-WARE op eenzelfde wijze zijn geanalyseerd. De locaties zijn op basis van de vegetatiesamenstelling ingedeeld in typische bosvegetaties van kalkloze, droge tot vochtige zandgronden (basenarme bossen, meest Beuken-Eikenbossen) en bosvegetaties van basenrijke standplaatsen (meest Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos). De gegevens die niet in het kader van dit onderzoek zijn verzameld, dekken een bredere range dan de locaties van dit onderzoek. De meeste opnamen betreffen vochtig bos. Maar er zitten aan de ene kant wat meer locaties bij van droge bossen op arme zandgronden, en aan de andere kant ook wat meer locaties van natte bossen (broekbossen). In de figuren 4.4 tot en met 4.6 zijn beide datasets apart weergegeven, zodat het onderscheid tussen de resultaten van dit onderzoek en de toegevoegde gegevens duidelijk is. Doel van deze toevoeging is dus om de metingen uit het uitgevoerde onderzoek beter in een kader te kunnen plaatsen, met andere woorden om beter te kunnen bepalen waarin de bodems van het Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos verschillen van die van andere bostypen in Zuid- en Oost-Nederland.



Figuur 4.4. Totaal fosfor gehalte van 102 locaties met bossen op basenrijke bodem (25 referentielocaties, 77 overigen) uitgezet tegen de bedekking van de bosbodem met bosplanten van voor deze bodems typerende hogere planten. De oranje bolletjes zijn de voor dit onderzoek doorgemeten locaties.

Figure 4.4. Correlation between the total phosphorus content of soils on 102 locations with a woodland vegetation typical for base-rich soils (25 reference-sites, 77 additional sites, and the cover of typical woodland plants in the herb layer. The orange dots are the locations analysed for this study.

De interactie tussen vegetatie en de bodem op niet verzuurde locaties wordt hier nader toegelicht, hiertoe behoren 25 van de 30 onderzochte referentielocaties, de overige 5 zijn verzuurd. In vegetatiekundige zin zijn dit de opnamen die behoren tot de Klasse der Eiken- en Beukenbossen op voedselrijke grond (*Quercus-Fagetes*). In chemische zin zijn dit de bodems met een pH-NaCl boven 3,5. Het fosfaatgehalte van de bossen op basenrijke bodem laat een flinke variatie zien tussen 3 en 18 millimol fosfor per liter, met een uitschieter naar 33 in de Lemselermaten (figuur 4.4). Die uitschieter is het gevolg van ijzer-fosfaat afzettingen; het ijzergehalte is hier met 558 millimol/liter ook zeer hoog. Ter vergelijking; landbouwgronden op lemige bodems bevatten doorgaans tussen de 15 en 30 millimol fosfor per liter. De locaties met een hoge bedekking bosplanten die kenmerkend zijn voor de Eiken- en Beukenbossen bevatten tussen de 5 en 13 millimol fosfor per liter. Meest voorkomende soorten zijn Gewone Salomonszegel (*Polygonatum multiflorum*), Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Grote Muur (*Stellaria holostea*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*), Muskuskruid (*Adoxa moschatellina*) en Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*). Deze bosplanten lijken dus een voorkeur te hebben voor matig fosfaathoudende bodems. De locaties met minder fosfaat betreffen merendeels arme zandgronden waar door externe invloeden enige basenaanrijking heeft plaatsgevonden, bijvoorbeeld langs wegen en paden. De drie referentielocaties met minder dan 5 millimol fosfor zijn een sparrenaanplant bij de Snoeyinksbeek, een wat vervuigd Vogelkers-Essenbos met Grauwe wilg (*Salix cinerea*), Zomereik en berk (*Betula* spp.) op een zandig deel van Willinks Weust en een houtwal met populier op zandgrond in de Scheeken. De aluminiumgehalten van 20-70 millimol/liter zijn een extra indicatie dat het hier om leemarme zandbodems gaat. De locaties met juist veel fosfor omvatten een diverse groep; vooral locaties met fosfaatrijkere beekafzettingen en locaties met enige landbouwinvloed of bemesting in het verleden. Voor de referentielocaties gaat het behalve om de fosfaatrijke plek in de Lemselermaten om locaties op fosfaatrijke slibafzettingen in de Malpie (Dommel) en Bekendelle, en een plek met meer eutrafente vegetatie in de Geelders.



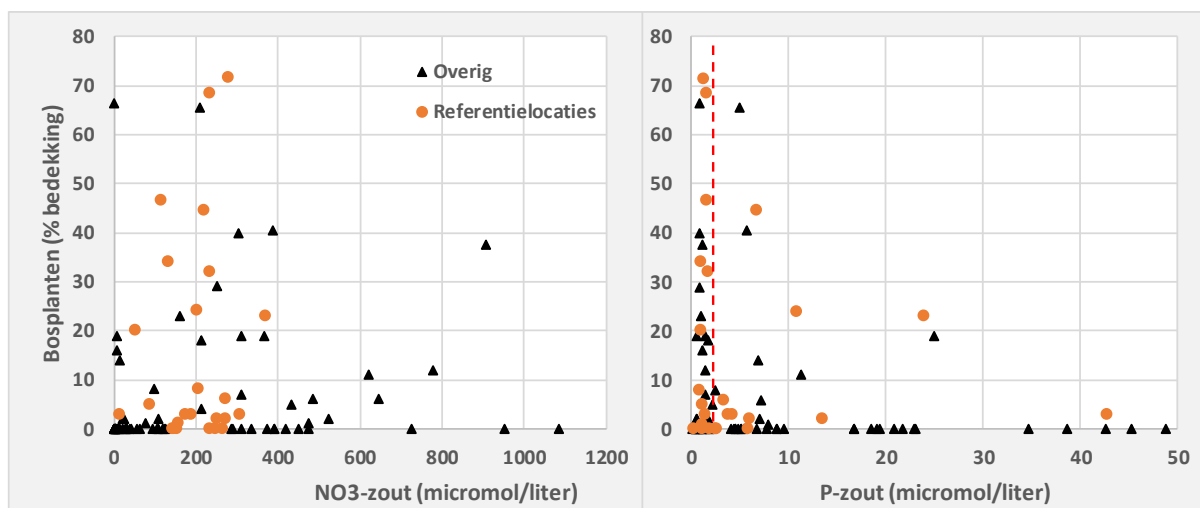
Figuur 4.5. Hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat van 102 locaties met bossen op basenrijke bodem, uitgezet tegen de bedekking van de bosbodem met bosplanten van voor deze bodems typerende hogere planten. De oranje bolletjes zijn de voor dit onderzoek doorgemeten locaties. Hier is het gemiddelde genomen van 3 meetmomenten.

Figure 4.5. Correlation between the amount of plant available phosphorus in soils on 102 locations with a woodland vegetation typical for base-rich soils, and the cover of typical woodland plants in the herb layer. The orange dots are the locations analysed for this study, for these the average of three values is presented.

De fosforvoorraad in de bodem is slechts voor een deel beschikbaar voor de plantengroei. Van de totale voorraad van 5-13 millimol/liter, is ongeveer 0,3 tot 1,5 millimol terug te meten in een extractie met natriumbicarbonaat (figuur 4.5). Deze Olsen-extractie vormt een goede maat voor de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat. Voor lage vegetaties is inmiddels een vrij duidelijk

referentiebeeld opgebouwd van de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat per vegetatietype, voor bossen is dit beeld er veel minder. In lage vegetaties liggen de kenmerkende waarden bij 200-500 micromol/liter voor voedselarme vegetaties (heiden, schraalgraslanden) en 500-1000 micromol per liter voor wat productievare, soortenrijke systemen die gezien kunnen worden als de vervangingsgemeenschappen voor de bestudeerde bostypen bij een graslandbeheer (glanshaverhooilanden, dotterbloemhooilanden e.d.). De soortenrijke, vochtige bossen bevinden zich grotendeels in deze range, maar het optimum ligt aan de hoge kant (rond de 1000 micromol per liter) en de range loopt door tot 1500 micromol/liter.

In tegenstelling tot de totale fosforvoorraad, is voor de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat wel een verschil te zien tussen de referentielocaties en de overige locaties. De locaties met veel bosplanten van basenrijke bodem bevatten 700-1600 micromol Olsen-P/liter, terwijl dit voor de overige locaties 300-1300 micromol is. Op de referentielocaties met een flinke bedekking kenmerkende bosplanten is dus een groter deel van de fosforvoorraad beschikbaar dan op de overige locaties. Dit verschil is ook significant (tweezijdige t-toets: $P = 0,045$), wanneer alle gegevens van de opnamen met >10% bedekking kenmerkende bosplanten worden beschouwd. Het is zeker niet uitgesloten dat dit een effect is van de lage grondwaterstanden in de afgelopen jaren; er is minder calcium en ijzer aangevoerd naar de toplaag en de ijzercyclus (reductie & oxidatie) is minder actief geweest. Er is dus waarschijnlijk meer fosfaat vrijgekomen uit humusafbraak, en dit kon minder goed gebonden worden aan ijzer en/of calcium. Ook zijn waarschijnlijk meer ijzer-fosfaten in oplossing gegaan door oppervlakkige verzuring van de bodem. Er vindt wel enige binding plaats, want in de zoutextracten is geen extra fosfaat gemeten. Het lijkt daarom beter om de range van 300-1300 micromol/liter als referentie aan te houden voor vochtige bossen, en niet de wat hogere range van 700-1600 micromol/liter die is gemeten op de referentielocaties in een extreem droge periode. Alleen voor de overige locaties loopt de fosfaatbeschikbaarheid door tot meer dan 3000 micromol/liter; dit betreft zowel verdroogde als droge bossen op sterk verzuurde, zandige of venige bodem.

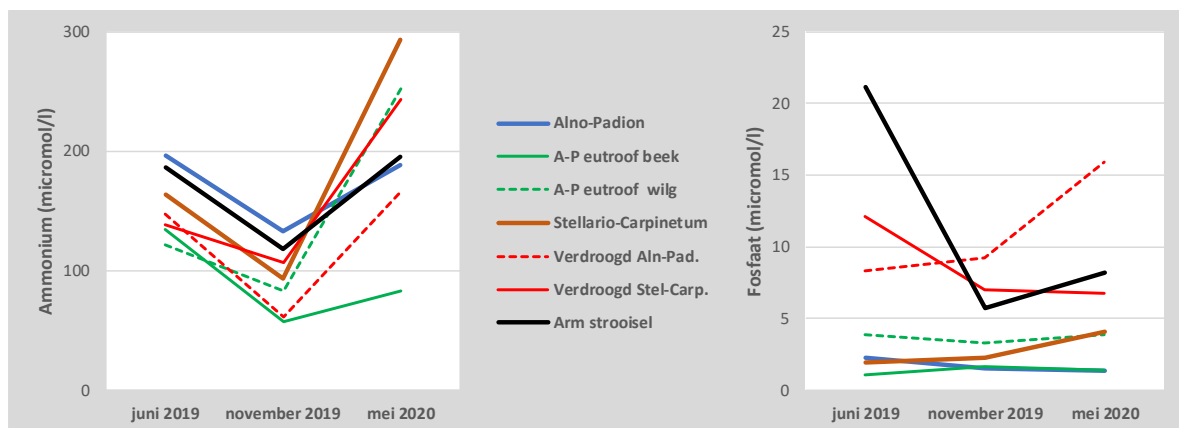


Figuur 4.6. Hoeveelheden zout-extraheerbaar nitraat (links) en fosfaat (rechts) van 102 locaties met bossen op basenrijke bodem, uitgezet tegen de bedekking van de bosbodem met bosplanten van voor deze bodems typerende hogere planten. De oranje bolletjes zijn de voor dit onderzoek doorgemeten locaties. De stippellijn geeft de grenswaarde van 2 micromol P/liter aan.

Figure 4.6. Amounts of salt-extractable nitrate and phosphorus in soils on 102 locations with a woodland vegetation typical for base-rich soils, and the cover of typical woodland plants in the herb layer. The orange dots are the locations analysed for this study. The dotted line indicates the threshold value of 2 micromol P/liter.

Fosfaat is beschikbaar voor de plant wanneer deze het fosfaat direct als opgelost fosfaat kan opnemen, of omdat de plant manieren heeft gevonden om dit fosfaat vrij te maken uit de bodem. Een belangrijk mechanisme is bijvoorbeeld het uitscheiden van organische zuren, waarmee ijzer gebonden fosfaat wordt opgelost. Gezien de brede range in plant beschikbaar fosfaat die in soortenrijke vochtige bossen is gevonden, is het belangrijk om ook naar de direct beschikbare fractie te kijken. In dit geval is dat gedaan met behulp van zout-extracten (Figuur 4.6). In zulke extracten is de opgeloste fractie aanwezig (die ook in een water-extract zou zitten), maar ook de fractie die losgebonden zit aan het kation-uitwisselings-complex en hiervan door het toegevoegde zout wordt verdrongen. Ook in de natuurlijke situatie is deze fractie vrij mobiel, omdat uitwisseling gaat plaatsvinden zodra de concentraties kationen in de bodem gaan oplopen. Bijvoorbeeld doordat protonen vrijkomen bij lichte verzuring of de kation-concentratie toeneemt bij verdamping of door worteluitscheiding van planten.

Om enig idee te krijgen van de variatie in de tijd, zijn de zout-extraheerbare fracties gedurende het onderzoek 3x gemeten. Voor de meeste parameters geldt dat de variatie in de tijd inderdaad vrij groot is, maar er lijken geen duidelijke patronen aanwezig. Uitzondering is in dit geval de beschikbaarheid van ammonium, die in alle typen locaties een dip vertoont in het najaar van 2019 (figuur 4.7). Voor fosfaat is er vooral een verband met de zuurgraad; verdroogde en verzuurde locaties laten een hogere fosfaatbeschikbaarheid zien. Opvallend is ook dat het in het Eiken-Haagbeukenbos de fosfaatbeschikbaarheid gedurende het onderzoek wat stijgt, terwijl deze in het wat nattere Vogelkers-Essenbos juist wat daalt. Waarschijnlijk leidt, door de droge zomers, in het Eiken-Haagbeukenbos verzuring (van gemiddeld pH 4,95 naar 4,02) tot fosfaatmobilisatie, terwijl in het nattere Vogelkers-Essenbos de pH stabiel blijft (van pH 5,42 naar 5,40) en verdroging vooral leidt tot betere vastlegging van fosfaat aan ijzer. Op het mechanisme wordt later verder ingegaan (o.a. figuur 4.11).



Figuur 4.7. Verloop van de hoeveelheden zout-extraheerbaar ammonium (links) en fosfaat (rechts) op de referentielocaties, onderverdeeld naar type locatie. Weergegeven zijn de gemiddelde waarden per type locatie.

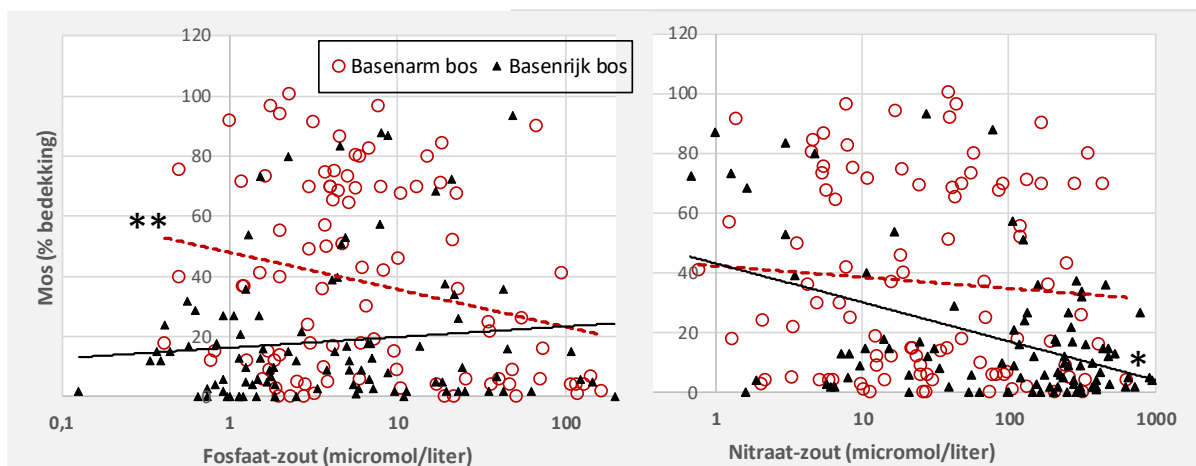
Figure 4.7. Development of the amounts of salt-extractable ammonium (left) and phosphorus (right) on the reference locations, for the different types of locations. The average value for each type is given.

De correlatie tussen de bedekking van basenminnende bosplanten met zout-extraheerbaar fosfaat is zeer interessant (figuur 4.6, rechts). Deze planten komen vooral in soortenrijke vochtige bossen voor wanneer de concentratie onder de 2 micromol/liter ligt; een waarde die ook vaak in soortenrijke graslanden wordt gevonden. Er is weliswaar geen significante lineaire of non-lineaire correlatie tussen de bosplanten en fosfaat in het zoutextract (P-waarde Pearson resp. Spearman Rank >0,05). Maar wanneer onderscheid wordt gemaakt tussen locaties met meer of minder dan 10% bedekking bosplanten, dan hebben de locaties met meer bosplanten een lagere fosfaatbeschikbaarheid (4,8 tegen 16,8 micromol/liter) die ook net significant is (t-toets, eenzijdig, $P = 0,045$). Voor nitraat ontstaan er geen significante verschillen. De fosfaatfractie in deze bossen

levert kennelijk een aanvullende indicatie voor de juiste nutriëntentoestand, boven op de indicatieve waarde van de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat. Mogelijk is dit het gevolg van de hogere omloopsnelheid van voedingsstoffen in vochtige bossen; er wordt via bladval meer fosfaat aangevoerd, maar wortels, bacteriën en schimmels nemen dit ook sneller op. Op 13 van de 24 referentielocaties is de zout-extraheerbare fosfaatfractie lager dan 2 micromol per liter, en op de overige locaties is dat slechts 26 van de 66 locaties.

In de zoutextracten is zowel het kation ammonium (gereduceerd stikstof) als het anion nitraat (geoxideerd stikstof) gemeten. In de set basenarme, zure bossen is mineraal stikstof vooral gemeten als ammonium: gemiddeld 321 micromol/liter, tegenover 77 micromol voor nitraat. Dit is een veel voorkomend verschijnsel, de omzetting van ammonium in nitraat (nitrificatie) wordt geremd door de zure omstandigheden. In de basenrijke bossen is dit met 231 respectievelijk 212 micromol/liter veel meer in evenwicht. Vervolgens zijn er geen of slechts zeer zwakke correlaties gevonden tussen het ammoniumgehalte en de samenstelling van de ondergroei. Iets anders ligt dit voor nitraat, situaties met een soortenrijke ondergroei lijken zich te beperken tot een brede range van 0-400 micromol nitraat per liter (figuur 4.6, links). Er is geen significante correlatie gevonden tussen nitraat en bosplanten voor de locaties in dit onderzoek ($P > 0,05$). De gevonden range is nog altijd zeer breed wanneer dit vergeleken wordt met vegetaties buiten bossen; zo is recent voor Zeeuwse bloemdijken vastgesteld dat deze zich alleen goed ontwikkelen wanneer de nitraatconcentratie lager dan 150 micromol/liter blijft en ook eutrafente akkeronkruiden ontwikkelen zich goed bij nitraatbeschikbaarheden van meer dan 150 micromol/liter (Emsens e.a., 2020, Verbeek e.a., 2021).

Uit het voorgaande kan de verwachting worden geformuleerd dat hoge bedekkingen van eutrafente plantensoorten samengaan met een hoge beschikbaarheid van zout-extraheerbaar nitraat en fosfaat. Dit blijkt niet uit mogelijke correlaties met de afzonderlijke voedingsstoffen, die zijn beide zwak. Die zwakke correlatie kan het gevolg zijn van de grote variatie in de beschikbaarheid van deze fracties; ook op voedselrijke bodems loopt deze geregeld terug naar zeer lage waarden. En er lijkt ook een interactie te zijn; een eutrafente ondergroei doet zich vooral voor als zowel nitraat als fosfaat (periodiek) veel in opgeloste vorm aanwezig is. De eenmalige metingen die voor deze analyse gebruikt zijn, lenen zich niet om hier harde conclusies aan te verbinden omdat er geen zicht is op de seizoensfluctuatie in beschikbaarheden.

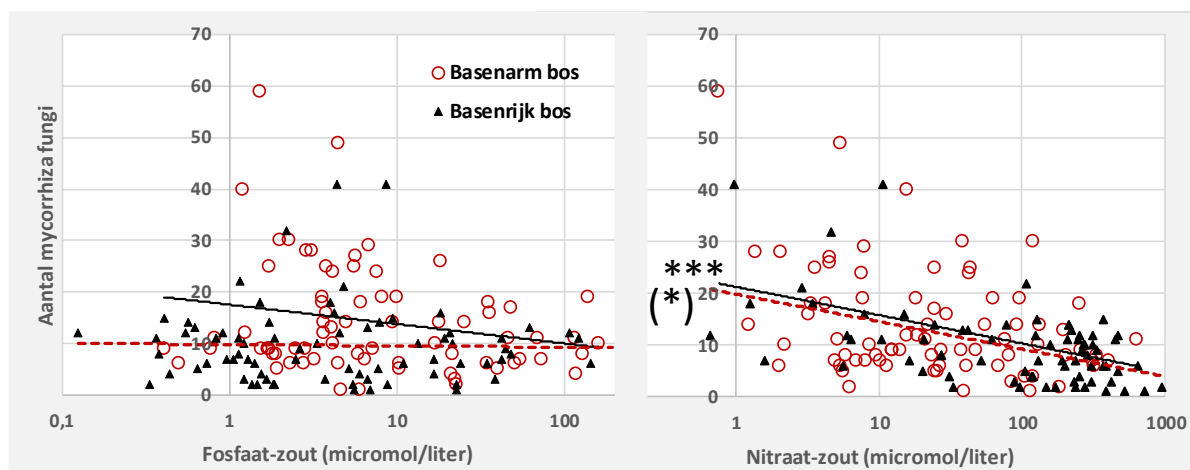


Figuur 4.8. Correlatie tussen de hoeveelheid zout-extraheerbaar fosfaat (links) en nitraat (rechts) in de bosbodem, en het bedekkingspercentage met mos. Dit voor zowel basenarme bossen (rode cirkels en stippellijn) als basenrijke bossen (zwarte driehoekjes en doorgetrokken lijn). ** significantie Pearson-correlation: $P = 0,001$. * $P = 0,01$. Overige correlaties $P > 0,05$.

Figure 4.8. Correlation between the amount of salt-extractable phosphorus (left) and nitrate (right) in forest soils, and the cover of mosses. Correlations for forests poor in base-rich cations (red circles and dotted line) and rich in base-rich cations (black triangles and line). ** P-value for Pearson correlation = 0.001 * P-value 0.01. Other correlations $P > 0.05$.

De correlatie tussen zout-extraheerbare voedingsstoffen en de ondergroei is in meer detail bestudeerd door de mosbedekking apart in beschouwing te nemen (figuur 4.8). In deze figuur zijn de referentielocaties samengenomen met de overige basenrijke locaties die in het voorgaande zijn besproken, en benoemd als "basenrijk bos". Verder is ter vergelijking een groep locaties toegevoegd van zure, droge zandbodems: "basenarm bos". De meest voorkomende mossoorten zijn Heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*), Groot laddermos (*Pseudoscleropodium purum*), Fraai haarmos (*Polytrichum formosum*), Bronsmos (*Pleurozium schreberi*), Gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*) en Fijn laddermos (*Kindbergia praelonga*).

De mosbedekking in basenarme bossen is alleen lager bij hoge fosfaatbeschikbaarheden van meer dan 20 micromol per liter. In basenrijke bossen is zelfs helemaal geen correlatie met de mosbedekking gevonden. Wel wordt de combinatie veel mos & hoge p-zout alleen gevonden op voormalige landbouwgronden met zeer weinig stikstof of als het eutrafente mossoorten betreft zoals Gewoon dikkopmos of Groot laddermos. Voor nitraat komt het omgekeerde beeld naar voren; de mosbedekking in basenarme bossen reageert niet op nitraatbeschikbaarheid, mogelijk omdat ammonium hier de dominante stikstofbron is. Maar in basenrijke bossen neemt de mosbedekking duidelijk af bij hogere nitraatbeschikbaarheden. Deels is dit een resultaat van de hoeveelheid bladval; op plekken met veel bladval worden mossen verstikt onder de bladlaag en komt tevens veel stikstof vrij uit dit blad.



Figuur 4.9. Correlatie tussen de hoeveelheid zout-extraheerbaar fosfaat (links) en nitraat (rechts) in de bosbodem, en het aantal soorten ecto-mycorrhiza paddenstoelen waarvan vruchtlichamen gevonden zijn. Dit voor zowel basenarme bossen (rode cirkels en stippellijn) als basenrijke bossen (zwarte driehoekjes en doorgetrokken lijn). *** significantie Pearson-correlatie: $P = < 0,001$. (*) $P = 0,07$. Overige correlaties $P > 0.1$.

Figure 4.9. Correlation between the amount of salt-extractable phosphorus (left) and nitrate (right) in forest soils, and the number of ecto-mycorrhizal fungi from which carpophores were observed. Correlations for forests poor in base-rich cations (red circles and dotted line) and rich in base-rich cations (black triangles and line). *** P -value for Pearson correlation = < 0.001 (*) P -value 0.07. Other correlations $P > 0.1$.

Een andere belangrijke component van de ondergroei is de activiteit van mycorrhiza-schimmels. Elke boom werkt samen met deze schimmels, maar een bovengronds zichtbare samenwerking zien we alleen voor met de ecto-mycorrhiza vormende schimmels, waarvan de schimmelpartner bovengrondse vruchtlichamen vormt. Deze zijn in alle gepresenteerde opnamen bestudeerd, maar niet overal even intensief. In vrijwel alle opnamen zijn boomsoorten aanwezig die samenwerken met ecto-mycorrhiza. De vruchtlichamen hiervan zijn één of enkele malen geteld in een hiervoor gunstige periode.

Er zijn zo'n 10-20 soorten met een brede ecologisch amplitude die in veel bostypen kunnen voorkomen en weinig stikstof gevoelig zijn. Bijvoorbeeld fopzammen (*Laccaria* spp.), bovisen (*Scleroderma* spp.), Geelwitte russula (*Russula ochroleuca*), Parelamaniet (*Amanita rubescens*), Kastanjeboleet (*Boletus badius*) en Rimpelende melkzwam (*Lactarius tabidus*). Deze soorten zorgen ervoor dat in vrijwel elke opname ten minste enkele mycorrhiza-paddenstoelen zijn gevonden.

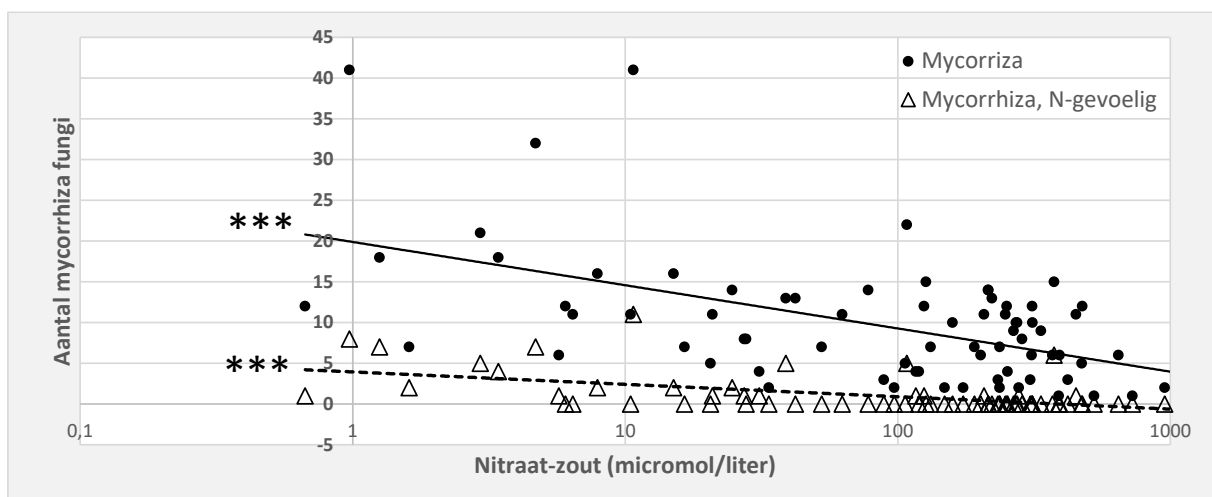
De directe fosfaatbeschikbaarheid, gemeten in het zoutextract, is in de onderzochte bossen meestal geen gevolg van externe bemestingsinvloeden, maar wel van interne processen die leiden tot fosfaatbinding- of mobilisatie. In basenarme bossen is er geen correlatie gevonden met de hoeveelheid zout extraheerbaar fosfaat (figuur 4.9, links). In basenrijke bossen lijkt sprake van een optimum; meer dan 20 mycorrhiza-paddenstoelen zijn alleen waargenomen in de range van 1-10 micromol fosfaat/liter.

De lage aantallen mycorrhiza-paddenstoelen bij lage fosfaatconcentraties kunnen echter aan twee factoren worden toegeschreven. Ten eerste zijn dit soortenrijke vochtige bossen met relatief veel boomsoorten die geen ecto-mycorrhiza (maar wel andere vormen van niet zichtbare mycorrhiza) vormen zoals Gewone es en Gewone vogelkers (*Prunus padus*). Ten tweede zijn dit vrijwel allemaal opnamen uit het voorliggende onderzoek, die gemaakt zijn in 2019 en 2020. Door de droogte was er wel meer plant beschikbaar fosfaat, maar was de hoeveelheid opgelost fosfaat zeer laag (door binding aan ijzer, zie figuur 4.7), en waren tevens weinig vruchtlichamen van paddenstoelen aanwezig. Door deze twee factoren is vermoedelijk een correlatie ontstaan die niet veroorzaakt wordt door een causaal verband. Een verband met de basenrijkdom ligt niet voor de

hand; in basenrijke bossen komen minstens net zo veel soorten mycorrhiza-paddenstoelen voor als in basenarme bossen.

De lage aantallen mycorrhiza-paddenstoelen op fosfaatrijke bodems zijn bij nadere beschouwing vooral het gevolg van de correlatie met nitraat; nitraatrijke plekken zijn veel meer dan gemiddeld ook fosfaatrijk. Er zijn dus geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat hoge directe fosfaatbeschikbaarheden leiden tot minder mycorrhiza-paddenstoelen.

Duidelijker is de correlatie tussen het aantal mycorrhiza-paddenstoelen en de nitraatbeschikbaarheid (figuur 4.9, rechts). Hoge aantallen mycorrhiza-paddenstoelen worden alleen gevonden bij lage nitraatconcentraties, zowel in basenarme als in basenrijke bossen. Voor de basenrijke bossen vormt dit dus een contrast met de ontwikkeling van de ondergroei; in de range tot 400 micromol nitraat/liter kan nog een soortenrijke ondergroei voorkomen, terwijl de mycorrhiza-paddenstoelen slecht ontwikkeld zijn boven 100 micromol per liter. Eén en ander wordt nog duidelijker wanneer we onderscheid maken tussen de minder stikstof gevoelige mycorrhiza paddenstoelen, en de gevoelige soorten die grotendeels uit onze bossen verdwenen zijn (figuur 4.10). Op een enkele uitzondering na, zijn stikstof gevoelige soorten alleen waargenomen op bodems met minder dan 40 micromol nitraat per liter. Hiermee lijkt de drempel voor het verdwijnen van deze soorten uit vochtige bossen een factor 10 lager te liggen dan voor de kenmerkende bosplanten!

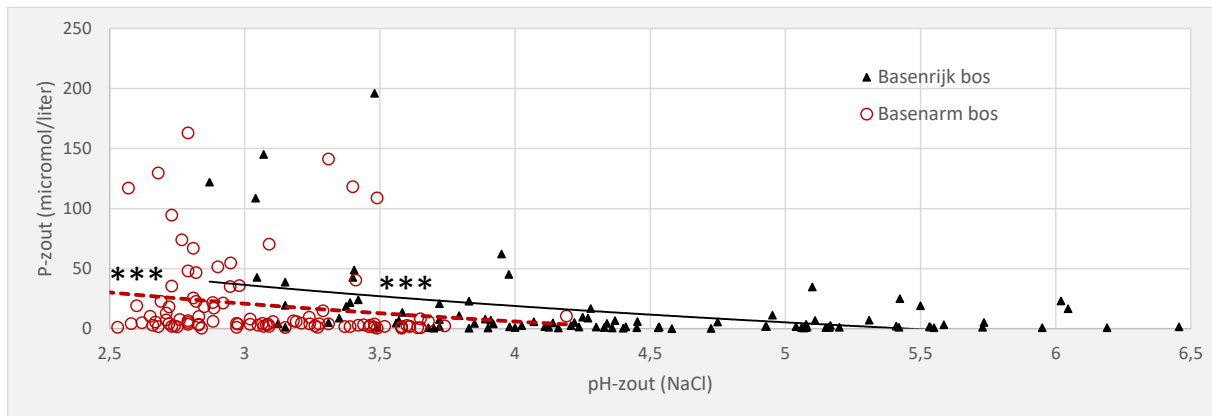


Figuur 4.10. Correlatie tussen de hoeveelheid zout extraheerbaar nitraat en het aantal soorten mycorrhiza-paddenstoelen in basenrijke bossen. Weergegeven is het totaal aantal soorten (gevulde driehoekjes) en het aantal stikstof gevoelige soorten (open driehoekjes). *** significantie Pearson-correlation: $P = < 0,001$.

Figure 4.10. Correlation between the amount of salt-extractable nitrate and the number of ecto-mycorrhizal fungi in base-rich forests. The total number of fungi (open triangles) and the number of nitrogen-sensitive species (open triangles) is shown. *** P-value for Pearson correlation = < 0.001 .

In het voorgaande is al gebleken dat P-limitatie waarschijnlijk een belangrijke rol speelt voor de ondergroei van vochtige bossen, en dat de fosforhuishouding gevoelig is voor veranderingen in de waterhuishouding. In basenarme bossen lijkt dit wat anders te functioneren dan in basenrijke bossen. Deze tweedeling is gemaakt op basis van de vegetatie, dus in de analyse wordt nu ook de Eiken-Berkenbossen (*Betulo-Quercetum roboris*) en naaldbossen op de hoge zandgronden betrokken. Dan wordt duidelijk dat de hoeveelheid opgelost fosfaat op sterk zure bodem (pH-zout $< 3,5$) meestal laag is, maar regelmatig sterk op kan lopen (figuur 4.9). Ook interessant is dat in de basenrijke bossen verzuring eerder (al bij een hogere pH) tot hogere gehalten opgelost fosfaat leidt dan in basenarme bossen (figuur 4.11). Aan de ene kant komt er veel fosfaat vrij doordat eerst calcium gebonden fosfor vrij komt en bij sterkere verzuring eerst aluminium gebonden fosfor

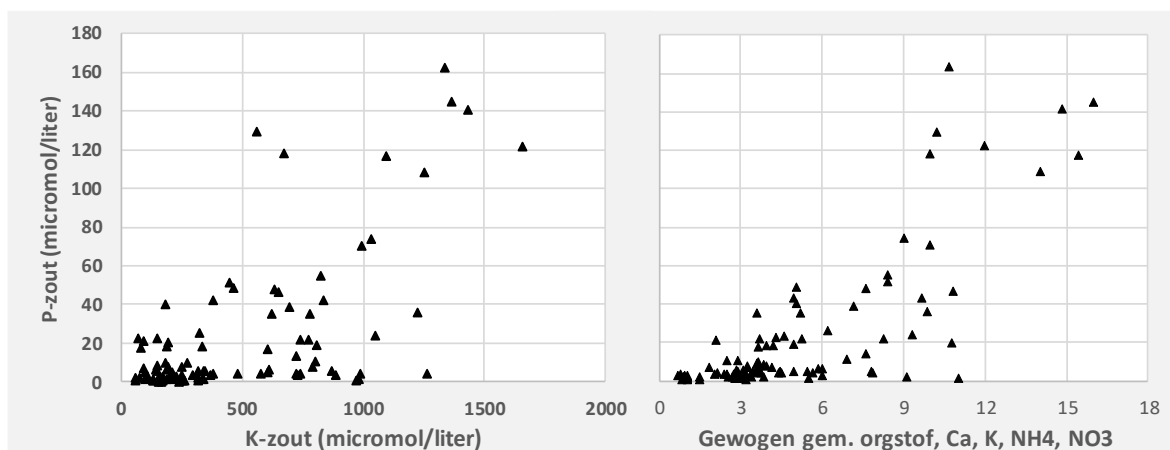
en vervolgens ook ijzer gebonden fosfor. Echter, onder sterk zure omstandigheden gaat steeds meer aluminium in oplossing, wat vervolgens ook weer fosfor kan binden. En als het nog zuurder wordt, geldt hetzelfde voor ijzer. Het lijkt erop dat gedurende de verzuring de hoeveelheid opgelost fosfaat stijgt, maar bij lang aanhoudende verzuring ook weer daalt omdat veel fosfaat dan uiteindelijk aan aluminium of zelfs ijzer wordt gebonden. De aard van deze studie laat echter niet toe om hier harde conclusies uit te trekken.



Figuur 4.11. Correlatie tussen de hoeveelheid makkelijk mobiliseerbaar fosfaat en de zuurgraad, uitgesplitst voor vegetaties van basenarme en basenrijke bossen. *** = Spearman Rank correlatie P-waarde < 0,001.

Figure 4.11. Correlation between the concentration of salt-extractable phosphorus and the pH, for wood types characteristic for base-poor soils (red dots) and wood types inhabiting base-rich soils (black triangles). *** = Spearman Rank correlation P-value < 0.001.

De mobilisatie van fosfaat, zoals gemeten in de zout-extracten, is vrij goed gecorreleerd met een aantal andere factoren. Dit is nader bekeken voor alleen de basenarme bodems. Een goed correlerende factor is de hoeveelheid kalium in het zoutextract (figuur 4.12, links, $R^2 = 0,64$). Andere factoren die correleren zijn calcium ($R^2 = 0,50$), ammonium ($R^2 = 0,65$) en nitraat ($R^2 = 0,43$) in het zoutextract, plus het gehalte organisch stof ($R^2 = 0,37$). Wanneer een gewogen gemiddelde van deze vijf factoren wordt gemaakt, ontstaat echter nog een betere correlatie (figuur 4.12, rechts, $R^2 = 0,78$). Op zure bodems zijn hoge fosfaatconcentraties dus gecorreleerd met een complex aan factoren. Als verbindende factor is organisch stof de meest voor de hand liggende kandidaat. Bij afbraak van organisch stof komen calcium, kalium, stikstof en fosfor vrij. Maar het kan ook zijn dat het organisch stof simpelweg meer bindingsplaatsen heeft en natrium en chloride uit het zoutextract de andere kationen van bindingsplaatsen aan het organisch stof verdringt. Hier tegen pleit het gehalte aluminium, dat juist negatief gecorreleerd is met de overige factoren. Het lijkt er dus op dat het vrijkomen van fosfaat op sterk zure bodems mede het gevolg is van afbraak van organisch materiaal.



Figuur 4.12. *Correlatie tussen zout-extraheerbaar fosfaat, en kalium (links) en een gewogen gemiddelde van 5 factoren (rechts): gehalte organisch stof en zout-extraheerbaar calcium, kalium, ammonium en nitraat.*

Figure 4.12. *Correlation between salt-extractable phosphorus, and potassium (left) and a weighted average of five factors (organic matter, calcium, potassium, ammonium and nitrate) (right).*

Samenvattend:

- In basenrijke bossen kan een soortenrijke ondergroei van hogere planten voorkomen. Deze is aangetroffen op een bodem met een matig totaal fosforgehalte (5-13 mmol/liter), een vrij brede range in plant beschikbaar fosfaat (Olsen-P 300-1300 micromol/liter) en een kleine mobiele fractie (0-2 micromol zout-extraheerbaar fosfaat)
- Opvallend is dat op de referentielocaties met een goed ontwikkelde ondergroei 700-1600 micromol Olsen-P is aangetroffen. Deze atypische, hogere waarden zijn waarschijnlijk het gevolg van enkele jaren van droogte en hiermee samenhangende afgenomen grondwaterinvloed.
- De mate van kenmerkende ondergroei met planten van vochtige bossen correleert weinig met het ammoniumgehalte in de bodem en meer met nitraat. De optimale range voor nitraat lijkt tussen de 100 en 400 micromol/liter te liggen.
- De (momenteel) hoge nitraatconcentraties en lage concentraties mobiel fosfaat suggereren dat, bij de huidige stikstofdepositie, fosfaatlimitatie een belangrijke rol speelt in het tegengaan van verzuuring in vochtige bossen.
- Voor zowel de mosbedekking als de ontwikkeling van de mycoflora is de beschikbaarheid van stikstof, in de vorm van nitraat, belangrijk. Hogere mosbedekkingen en veel mycorrhiza-paddenstoelen zijn vooral aangetroffen bij nitraatgehalten beneden 100 micromol/liter, terwijl stikstof gevoelige mycorrhiza-paddenstoelen alleen voorkomen bij nitraatgehalten van minder dan 40 micromol/liter.
- Op de natste locaties, doorgaans de Vogelkers-Essenbossen op fosfaatrijk beeksediment, waren de nitraatconcentraties het laagst. Onder natte omstandigheden vindt doorgaans een goede denitrificatie plaats, en ontstaat eerder stikstoflimitatie. Dit is waarschijnlijk ook een belangrijk mechanisme in intacte Vogelkers-Essenbossen, maar is waarschijnlijk niet gemeten vanwege de droogte gedurende de onderzoeksperiode
- Verzuuring leidt tot een hogere mobiele fractie van fosfor (P-zout). De bij verzuuring oplopende p-zout concentratie is geen meetartefact, want er is een goede correlatie met andere kationen (Ca, K, NH₄). Op sterk zure (of verzuurde) bodems treedt slechts in een deel van de gevallen fosfaatomobilisatie op. Dit zijn dan bodems die of in het verleden bemest zijn (met een hoge fosforvoorraad), of waar loofbomen (met name eiken) domineren. Op ijzerhoudende bodems (>45 mmol/l destructie) of onder naaldbos, is geen fosfaatomobilisatie waargenomen. Op sterk zure bodems zijn de vermestingseffecten op de vegetatie vaak beperkt, door de lage pH en een vrij lage nitraatbeschikbaarheid. Op andere bodems is de fosfaatomobilisatie negatief gecorreleerd met de bedekking van bosplanten en van mos, en positief gecorreleerd met eutrafente plantensoorten.
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat fosfaatomobilisatie negatief uitpakt voor mycorrhiza-paddenstoelen. Wel is uit ander onderzoek bekend dat zogenaamde graslandpaddenstoelen, die ook in bos groeien, alleen voorkomen bij een zeer lage directe beschikbaarheid van fosfaat (Assink, 2018).

4.2.2 Strooiselkwaliteit

Een groot deel van de nutriënten die zijn vastgelegd in de boom wordt aan de bodem teruggegeven in opgeloste vorm (via bladuitspoeling, wortelsecreties) of vaste vorm (via strooisel). Per boomsoort zijn er grote verschillen in de hoeveelheid mineralen en nutriënten die worden opgenomen, en die via bladval weer in de bodem terecht komen. In dit onderzoek is alleen gekeken naar de fractie die via de bladval weer in de bodem terecht komt. Belangrijkste vragen daarbij zijn: a) zijn er verschillen tussen de dominante boomsoorten in vochtige bossen, b) wat zijn de verhoudingen tussen basische kationen (Ca en Mg) en voedingsstoffen (N en P) in het blad, en c) wat is het gevolg voor de strooiselafbraak en nutriëntenkringloop in vochtige bossen?

Per boomsoort zijn er gemiddeld inderdaad grote verschillen waargenomen in de kwaliteit van het strooisel (tabel 4.3 en figuren 4.13 en 4.14). Op soortniveau is voor de meeste onderzochte soorten geen kwalitatief goede vergelijking te maken, omdat er maar enkele monsters genomen zijn en omdat de spreiding in de gemeten gehalten ook binnen dezelfde soort vrij groot is. Wanneer we ons beperken tot de soorten die meer dan 5x zijn bemonsterd, blijven Zwarte els (*Alnus glutinosa*), Hazelaar, Zomereik, Canadapopulier en Gewone es over.

In het onderzoek is de Zwarte els de enige boom die samenwerkt met stikstof fixerende bacteriën. De symbiose met actinorhizale stikstoffixeerders (wortelknolletjes) leidt tot een hoge N-beschikbaarheid in de bodem (Van der Heijden et al., 2008). In ons onderzoek is dit terug te zien in de bladeren, die de hoogste stikstofgehalten hebben van de onderzochte bomen (tabel 4.3). Ook in onderzoek naar de strooiselkwaliteit van Nederlandse en Vlaamse boomsoorten (Desie et al., 2020) wordt een lage C:N ratio gevonden, voor in dat geval de Witte Els (*Alnus incana*). Van diverse kanten wordt gesuggereerd dat de toename aan stikstof door de aanwezigheid van bomen die in symbiose leven met N₂ fixerende bacteriën, kan leiden tot verzuring in de bodem (Van Mieghem & Cole, 1984; Compton et al., 2003). Door de hogere N-beschikbaarheid vindt er meer nitrificatie plaats in de bodem, wat vervolgens kan leiden tot verzuring (Reich et al., 2005; Desie et al., 2019). Deze verzuring kan er vervolgens voor zorgen dat de afbraak van elzenbladeren vertraagt.

De Zomereik is de meest voorkomende boom op de referentielocaties, en komt op allerlei bodemtypen voor. Alhoewel deze boom bekend staat als een "arm" strooisel soort, komt uit onze metingen dat Zomereik een gemiddelde hoeveelheid stikstof en fosfor bevat (tabel 4.3). Wel is inderdaad een vrij laag gehalte aan basische kationen gevonden.

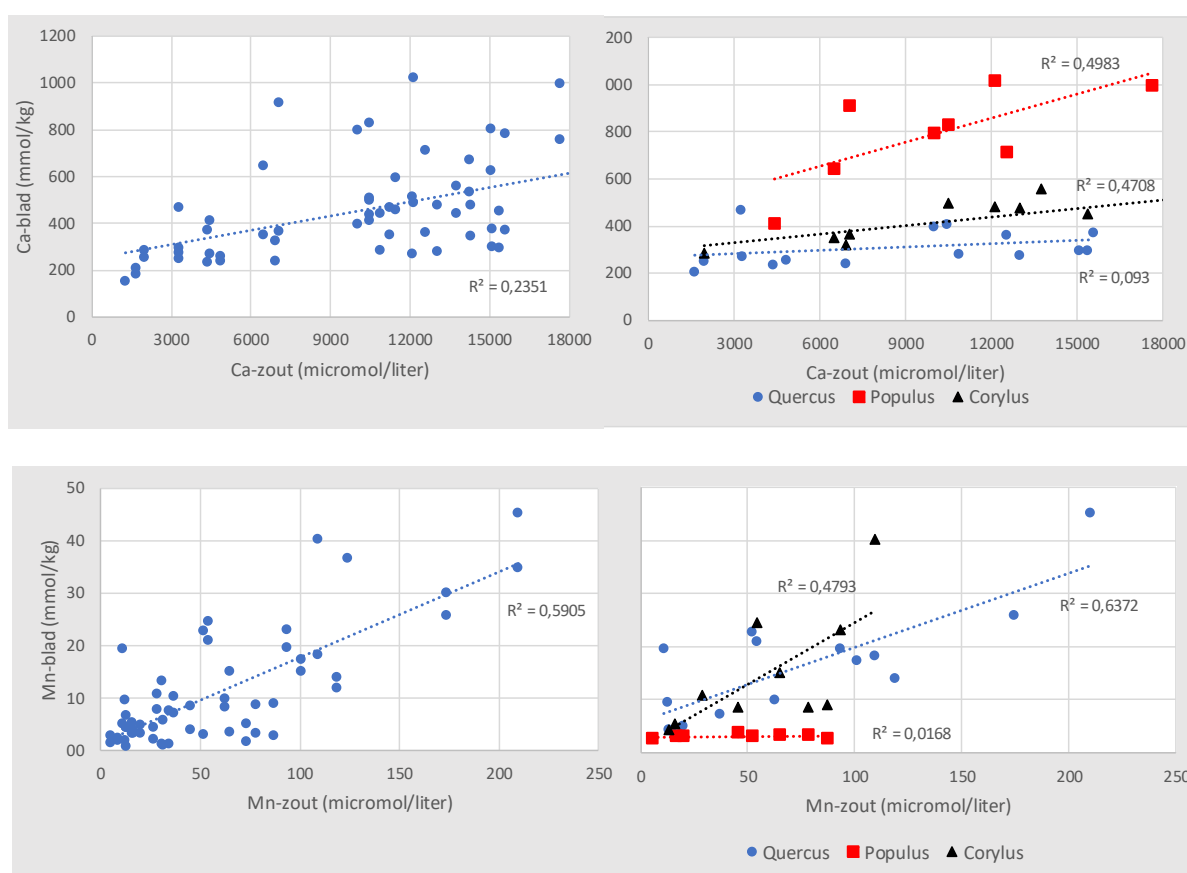
De Gewone es groeit op de pleistocene zandgronden vrijwel alleen op beter gebufferde, meest leemhoudende bodems en is daarmee een typische soort van vochtige bossen. Essenblad bevat een gemiddelde hoeveelheid stikstof en opvallend weinig fosfor. Het is daarentegen wel vrij rijk aan basische kationen. Ook Hazelaar is zo'n typische soort van vochtige bossen, en het blad is vrij rijk aan basische kationen. Echter, het blad is ook wat rijker aan stikstof en duidelijk rijker aan fosfor. Tenslotte komen we dan bij de Canadapopulieren, die over aanzienlijke oppervlakten zijn geplant op de potentiële standplaatsen van vochtige bossen. Deze populieren bevatten de hoogste gehalten aan basische kationen, maar ook veel fosfor. De fosforgehalten van de verwante Schietwilg zijn nog hoger, maar hier zijn maar drie waarnemingen van.

Tabel 4.3. Strooiselkwaliteit van de dominante boomsoorten in de referentieplots, gesorteerd op toenemende C:N ratio. Tussen haakjes is achter de soort het aantal waarnemingen vermeld.

Figure 4.3. Litter composition of the dominant tree species in the reference plots, ranked by increasing C:N ratio. Between brackets the number of observations.

Soort (aantal)	Gegehalten aan macro-ionen in millimol/kg dw														Ratio c/n
	Al	Fe	Mn	Zn	Si	Na	Cl	S	K	Mg	Ca	P	N	C	
<i>Alnus glutinosa</i> (7)	4	5	5	1,8	5	15	146	41	53	83	414	20	1446	40990	28
<i>Picea abies</i> (1)	11	10	12	0,8	22	13	67	44	23	39	240	29	1307	40988	31
<i>Salix alba</i> (3)	4	7	2	2,2	6	19	169	174	80	153	723	38	1088	38277	35
<i>Corylus avellana</i> (10)	7	6	15	0,7	15	21	134	37	102	102	420	29	970	38998	40
<i>Carpinus betulus</i> (3)	12	7	9	0,5	8	12	84	32	63	85	322	17	935	42257	45
<i>Quercus robur</i> (14)	4	5	16	0,6	11	13	66	31	65	69	313	25	890	41521	47
<i>Populus x canadensis</i> (8)	3	4	3	10	12	21	105	98	64	131	792	28	816	38250	47
<i>Fraxinus excelsior</i> (6)	4	4	1	0,4	6	26	344	86	98	121	528	12	753	39798	53
<i>Fagus sylvatica</i> (2)	6	6	26	0,4	19	13	166	27	40	48	200	14	807	44298	55
<i>Betula</i> spp. (4)	4	6	20	5,5	7	12	124	29	71	86	356	14	748	41821	56
<i>Prunus avium</i> (1)	3	4	2	0,6	5	19	145	35	201	140	805	17	585	37109	63
<i>Quercus rubra</i> (1)	2	2	21	0,6	9	10	38	17	33	51	252	12	378	42129	111

Een deel van de variatie in de gehalten in de bladeren kan verklaard worden door verschillen in de bodemsamenstelling waarop de boom groeit. Dit blijkt eigenlijk alleen op te gaan voor de gehalten aan basische kationen. Over het algemeen is er een matige correlatie tussen gehalten aan calcium en magnesium in het blad, en het totale gehalte of de zout extraheerbare fractie van deze elementen in de bodem. Maar wanneer we dit uitsplitsen voor de drie meest voorkomende boomsoorten (Zomereik, Canadapopulier en Hazelaar) wordt het beeld duidelijker (figuur 4.13). Zo blijken de calciumgehalten in de bladeren van Canadapopulier bij bijna elke gegeven calciumconcentratie in de bodem hoger te liggen dan voor Zomereik. En Hazelaar neemt altijd een tussenpositie in. Het gehalte aan basische kationen in het blad wordt dus primair bepaald door de boomsoort. Daarnaast is er ook een correlatie met de bodemsamenstelling, maar hier is oorzaak en gevolg moeilijk uit elkaar te halen; de bodemsamenstelling is deels ook het gevolg van de strooiselaanvoer.



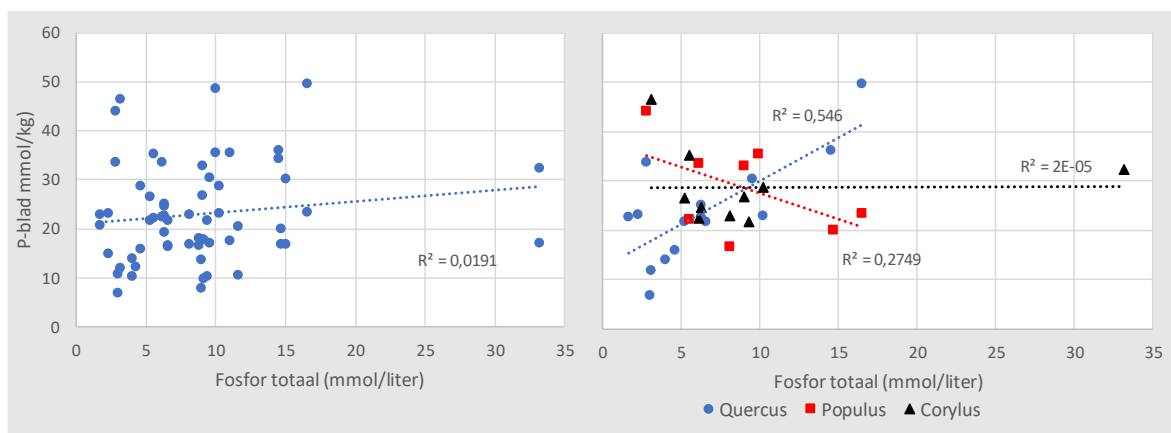
Figuur 4.13. Correlatie tussen de gemiddelde hoeveelheid zout-extraheerbaar calcium en mangaan in een referentieplot (3 tijdstippen) en het calcium- en mangaangehalte in het vers afgefallen blad. Links voor alle boomsoorten samen, rechts voor de drie meest voorkomende boomsoorten.

Figure 4.13. Correlation between the amount of salt-extractable calcium and manganese in a reference plot (3 times of year), and the calcium and manganese content in falling leaves of the dominant tree species. At the left all species, at the right the three most common species.

De beste bodem-blad correlatie is gevonden tussen mangaan in het blad en zout-extraheerbaar mangaan in de bodem (figuur 4.13, rechtsonder). Mangaan is o.a. nodig voor fotosynthese en celdeling en is onderdeel van lignine. Het wordt slecht opgenomen onder basische condities en op

ijzerrijke bodems. Ook hier schuilt een meer diverse werkelijkheid onder het oppervlak wanneer dit voor de drie boomsoorten wordt bekeken. Dan blijken Canadapopulieren altijd een laag gehalte te hebben, terwijl de bladgehalten in de twee andere soorten sterk correleren met de bodem. Gezien de lage gehalten waar populier mee toe kan, lijken hogere mangaangehalten vooral een gevolg van luxe-opname of het niet buiten kunnen houden van mangaan op verzurende, ijzerarme zandgronden.

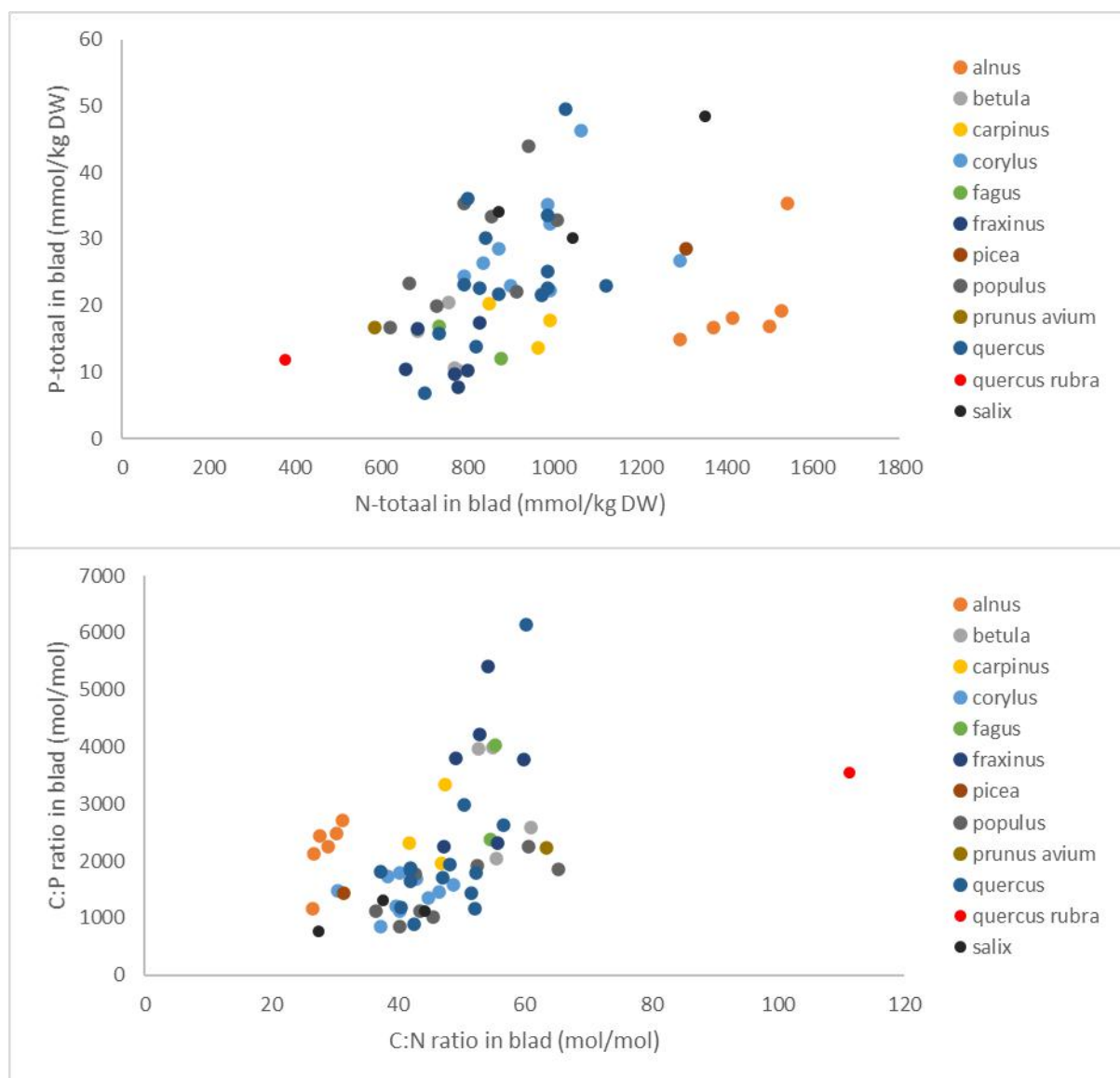
Voor de voedingsstoffen kalium, stikstof en fosfor zijn voor de totale dataset in het geheel geen correlaties gevonden tussen blad en bodem. Dat geldt bijvoorbeeld voor de diverse fosfaatfracties, waaronder het totaal fosfor gehalte (figuur 4.14, links). Wel zijn ook hier weer verschillen per boomsoort aanwezig. Zo is het fosforgehalte in het blad van Canadapopulier zwak negatief gecorreleerd met het fosfaatgehalte in de bodem, terwijl voor Zomereik juist een matige, positieve correlatie is gevonden (figuur 4.14, rechts). Al met al kan de enige conclusie over de relatie tussen nutriënten in blad en bodem hier zijn dat er hooguit zwakke relaties tussen beide bestaan.



Figuur 4.14. Correlatie tussen het totale fosforgehalte in de bodem van een referentieplot en het fosforgehalte in het vers afgevalen blad. Links voor alle boomsoorten samen, rechts voor de drie meest voorkomende boomsoorten.

Figure 4.14. Correlation between the total amount of phosphorus in the soil of a reference plot, and the calcium and manganese content in falling leaves of the dominant tree species. At the left all species, at the right the three most common species.

In figuur 4.15 staat de verhouding tussen totaal-N en totaal-P in de afzonderlijke bladeren van de verschillende boomsoorten in het huidige onderzoek. Hierin is te zien dat voor de meeste soorten deze twee nutriënten in een ongeveer gelijke verhouding nog aanwezig zijn in de afgevalen bladeren, afgezien van het al genoemde relatief hoge stikstofgehalte van Zwarte els. Verder valt een enkele meting van blad van Amerikaanse eik op met een extreem hoge C:N ratio (dus relatief weinig stikstof in het blad) en een gemiddelde C:P ratio. Desie et al. (2020) vonden een relatief hoge C:N ratio in Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*), Zomereik, Beuk en berk (*Betula* spp.), met een afnemende ratio in deze volgorde. Dat komt voor deze soorten redelijk overeen met de C:N ratio's die we in het huidige onderzoek vonden, met uitzondering van Zomereik, die in het huidige onderzoek een gemiddelde C:N ratio had.



Figuur 4.15. Correlatie tussen de totale hoeveelheid stikstof (N) en fosfor (P) gemeten in het afgefallen blad (boven) en tussen de C:N en C:P ratio in het blad (onder). Weergegeven per boomsoort.

Figure 4.15. Correlation between the total amount of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the falling leaves (top), and between the C:N and C:P ratio (under).

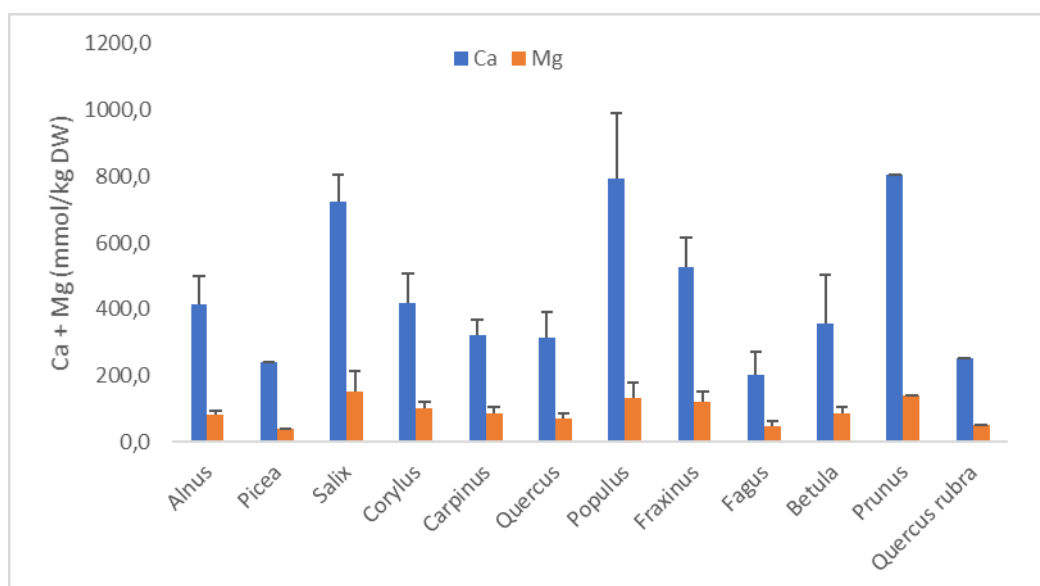
Ook kan een vergelijking gemaakt worden tussen groepen van soorten met een verschillende strooiselkwaliteit. Het strooisel van Zomereik, Beuk en naaldboomsoorten staat bekend als notoir bodemverzurend (Hommel en de Waal, 2003). Voor Fijnspar is dit ook aangetoond (Augusto et al., 2002). Ook heeft strooisel van dennen en sparren (*Pinus* spp. en *Picea* spp.) een relatief hoge C:N ratio, vergeleken met loofbomen (Matyssek 1986; Augusto et al., 2002). Kara et al. (2014) vonden echter een lagere C:N ratio (hoger N gehalte) en lager lignine gehalte in een andere spar (*Abies nordmanniana*), vergeleken met strooisel van een andere beukensoort (*Fagus orientalis*). De strooiselkwaliteit en afbreekbaarheid lijkt echter niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid stikstof en lignine in de bladeren. Jacob et al. (2010) vonden eerder dat de afbraak van strooisel toeneemt met een hogere concentratie van N én Ca in het strooisel. Ook De Schrijver et al. (2012) beoordeelden een goede strooiselkwaliteit in termen van hoog Ca en lage C:N en lignine:N ratio's, die werden gevonden voor o.a. Gewone es. Zwarte els vertoonde daarbij een gemiddelde kwaliteit en het strooisel van Zomereik had de slechtste kwaliteit. Een lage(re) afbraaksnelheid en

bodemverzuring zorgt voor ophoping van de strooisellaag, die op de lange termijn bovendien overgaat naar een nutriënt-arme humuslaag, zoals onder o.a. Zomereik en zelfs onder Zwarte els. Ook bladeren en naalden van Beuk, (Amerikaanse) eik en naaldboomsoorten (o.a. *Picea*) zijn over het algemeen slecht afbreekbaar waardoor er zich een dikke laag onverteerd blad of humus ophoopt. Over het algemeen hebben soorten zoals Gewone es en Hazelaar, maar ook soorten die niet in dit onderzoek voorkwamen zoals lindes (*Tilia* spp), iepen (*Ulmus* spp), en esdoorns (*Acer* spp) een beter verterend en basenrijk strooisel.

Op grond van de bestaande kennis zijn de onderzochte bomen ingedeeld in vier groepen (tabel 4.4, figuur 4.16). Naast de stikstof fixerende els zijn boomsoorten onderscheiden die basenarm of basenrijk strooisel produceren. Schietwilg en populier zijn daarbij apart onderscheiden, met name omdat in het veld de indruk bestaat dat onder deze bomen eerder verruiging optreedt. Na deze onderverdeling valt op dat het stikstofgehalte in de bladeren weinig verschilt, met uitzondering van een sterke verhoging in de bladeren van de stikstof fixerende els. Het fosforgehalte in het blad verschilt flink per boomsoort, vooral wilgen en populieren springen er uit met een hoog fosforgehalte. De basenrijkdom laat een mooi verloop zien van weinig calcium en magnesium in de bladeren uit de groep met arm strooisel soorten, naar ongeveer anderhalf keer zo veel in de groep met matig basenarm strooisel, drie keer zo veel in het matig basenrijk strooisel soorten en ruim drie keer zo veel in het blad van populier en wilg.

In onze bossen, die sterk te lijden hebben van vermesting en verzuring, zijn bomen gewenst die veel basen aanleveren via het blad, en zo min mogelijk nutriënten. Deze verhouding is aan de rechterkant van tabel 4.4 uitgezet. Nu springen de soorten met matig basenrijk strooisel eruit met een gunstige basen/fosfor en basen/stikstof verhouding. Wilg en populier hebben deze gunstige verhoudingen ook. Wel is de vraag of de basenaanvoer bij dominantie van wilg en populier niet overheerst wordt door de effecten van de eveneens grote aanvoer van voedingsstoffen. De onderzochte populieren-aanplanten kenden een goed ontwikkelde onderlaag van andere bomen en struiken, maar er zijn ook drie locaties onderzocht met sterke dominantie van Schietwilg. Hier werd een relatief hoge zuurgraad gemeten van pH-NaCl 5,1-pH 5,9. Op deze locaties is dus sprake van een zuurgraad die aan de hoge kant is voor de toplaag van een vochtig bos, en aanvoer van relatief veel fosfor. Van populieren-aanplanten op potentiële standplaatsen van hardhout-ooibos in de uiterwaarden van de grote rivieren is bekend dat deze de ondergroei in een voedselrijke toestand houden die doorgaans gedomineerd wordt door Grote brandnetel (Wolf et al., 2001). Ook in de Flevopolders komen dergelijke bossen veel voor. Mogelijk is hierbij een rol weggelegd voor het microbiële bodemleven; bacteriën hebben een voorkeur voor makkelijk afbreekbaar strooisel en basische omstandigheden en houden veel minder voedingsstoffen vast dan schimmels (Lavelle & Spain, 2005). Het doorslaan van de balans naar een bacterie gedomineerde afbraak kan dus leiden tot een voedselrijkere toestand.

Een andere belangrijke factor die invloed heeft op de nutriëntenkringloop is de mate van strooiselafbraak. Uit de resultaten van de bodemchemie en het microbiële bodemleven komt naar voren dat zich rond pH 4 een omslagpunt bevindt. Wanneer het zuurder wordt vertraagd de strooiselafbraak plotseling sterk. Waarschijnlijk omdat het ontstaan van het eerste dunne, permanente laagje ruwe humus ook leidt tot veel zuurdere omstandigheden in dit laagje. Verse humus heeft geen contact meer met de beter gebufferde ondergrond, breekt minder snel af en dit zorgt voor strooiselophoping. Door lagere afbraak van strooisel treedt er ook versneld verzuring op, omdat bij strooiselophoping steeds meer kationen gevangen raken in het niet afgebroken strooisel (Nilsson et al., 1982). Ook wijzigt het bodemleven sterk rond dit omslagpunt, waarbij oorzaak en gevolg moeilijk uit elkaar te houden zijn. Met name wormen kunnen verdwijnen omdat het te zuur wordt, maar het verdwijnen van wormen betekent ook dat de menging van zure humus en minder zure bodem veel minder optreedt. Vanwege de diverse positieve terugkoppelingen is er duidelijk sprake van een omslagpunt, en het is in vochtige bossen zaak om dit omslagpunt niet te bereiken.



Figuur 4.16. Gemiddelde calcium- en magnesiumgehalten in vers gevallen blad van de dominante boomsoorten in de referentieplots, inclusief de standaardafwijking.

Figure 4.16. Average calcium- and magnesium content in freshly fallen leaves of the dominant tree species in the reference plots, including error bars.

Tabel 4.4. Samenstelling van vers afgefallen blad van de dominantie boomsoorten op de referentielocaties, en gemiddelden voor 4 groepen bomen; soorten met basenarm strooisel (1), matig basenarm strooisel (2), matig basenrijk strooisel (3) en basenrijk strooisel (4) (zie tekst voor verdere uitleg). Tussen haakjes het aantal waarnemingen.

Table 4.4. Composition of the freshly fallen leaves of dominant tree species in the reference plots, and average values for 4 groups of species; species with base-poor litter (1), somewhat base-poor litter (2), somewhat base-rich litter (3) and base-rich litter (4). Between brackets the number of observations.

Boomsoort (aantal)	Groep	Gehalte aan macro-ionen in millimol/kg dw						Ratio's	
		Ca	Mg	K	S	P	N	(Ca+Mg)/P	(Ca+Mg)/N
Picea abies (1)	1	240	39	23	44	29	1307	9,8	0,21
Fagus sylvatica (2)	1	200	48	40	27	14	807	17,2	0,31
Quercus robur (14)	2	313	69	65	31	25	890	15,4	0,43
Corylus avellana (10)	2	420	102	102	37	29	970	18,2	0,54
Carpinus betulus (3)	2	322	85	63	32	17	935	23,5	0,43
Quercus rubra (1)	2	252	51	33	17	12	378	25,5	0,80
Betula spp. (4)	2	356	86	71	29	14	748	30,7	0,59
Fraxinus excelsior (6)	3	528	121	98	86	12	753	54,0	0,86
Prunus avium (1)	3	805	140	201	35	17	585	56,6	1,61
Salix alba (3)	4	723	153	80	174	38	1088	23,3	0,81
Populus x canadensis (8)	4	792	131	64	98	28	816	32,4	1,13
Alnus glutinosa (7)	x	414	83	53	41	20	1446	25,2	0,34
Basenarm strooisel	1	220	44	32	36	22	1057	13	0,26
Matig basenarm strooisel	2	332	78	67	29	19	784	23	0,56
Matig basenrijk strooisel	3	666	130	150	61	14	669	55	1,24
Basenrijk strooisel	4	757	142	72	136	33	952	28	0,97

De C:N-verhouding en de lignine:N verhouding van vers strooisel worden veel in de literatuur genoemd als betrouwbare indicatoren om de snelheid van strooiselafbraak te voorspellen. Bij een toenemende C:N of lignine:N ratio van het blad neemt de afbraaksnelheid af (o.a. Melillo et al. 1982; Jacob et al, 2010). Bomen vangen efficiënt droge atmosferische depositie van (potentieel) verzurende stoffen als SO_x, NO_x en NH_x in, die bodemverzuring nog verder in de hand werken (Van Breemen et al., 1982; Augusto et al., 2002). In regio's met een hoge atmosferische depositie en/of met boomsoorten die symbiotisch zijn met N₂ fixeerdere (of andere factoren die zorgen voor een hogere N beschikbaarheid) is de C:N ratio echter mogelijk een minder betrouwbare voorspeller van de strooisel afbreekbaarheid dan gedacht, omdat N daar niet meer de limiterende factor is (Desie et al., 2020). Dit verklaart wellicht ook waarom er tijdens ons onderzoek, op de stikstof fixerende els na, weinig verschillen in stikstofgehaltes zijn gemeten in het blad. In het huidige onderzoek is lignine niet gemeten, dus dit kan ook niet worden vergeleken. De lignine concentratie in het strooisel van breedbladige soorten schijnt echter niet heel verschillend te zijn (Brock et al., 2019; Satti et al., 2003). Lignine heeft vooral effect op de bacteriële afbraaksnelheid, en is minder van invloed op de activiteit van aardwormen. De mineralisatie snelheden lijken bovendien afhankelijk van de aanwezige boomsoort (Augusto et al., 2002). Over het algemeen wordt de afbraaksnelheid van het strooisel gekoppeld aan de rijkdom van stikstof in het systeem, en veel minder (tot niet) aan de fosfor beschikbaarheid. Toch wordt soms ook een correlatie gevonden tussen een toenemende C:P ratio en een verminderde afbraak van het strooisel (Jacob et al, 2010). Zowel een hoger stikstof- als een hoger fosforgehalte in het blad kan de afbraak dus stimuleren.

Samenvattend:

- Om verzuring en ophoping van strooisel te voorkomen zijn bladeren van bomen met een hoge basenrijkdom (hoge Ca en Mg concentraties) gunstig. In dit onderzoek zijn de hoogste gehalten gemeten bij Schietwilg en Canadapopulier, en in mindere mate Zoete kers en Gewone es. Hazelaar, Haagbeuk, Berk en Zomereik hebben tamelijk basenarm blad, maar dit geldt nog veel sterker voor Beuk en Fijnspar.
- Een mogelijke keerzijde van de soorten met basenrijk blad is dat dit blad ook veel nutriënten bevat. Hazelaar, Canadapopulier en vooral Schietwilg hebben erg fosforrijk blad. Vooral Populier en Schietwilg hebben bovendien snel afbrekend blad. De hoge afbreekbaarheid en hoge basenrijkdom maakt het waarschijnlijk dat een relatief groot deel van de afbraak door bacteriën plaatsvindt, die minder goed nutriënten vasthouden dan schimmels. Met name bij deze twee boomsoorten is de kans op mobilisatie van voedingsstoffen en verzuiging groter.
- Kenmerkende soorten van het Vogelkers-Essenbos en het Eiken-Haagbeukenbos, zoals Gewone es, Zoete kers en Haagbeuk lijken het dichtst bij de gulden middenweg uit te komen. Deze soorten hebben strooisel dat basenrijk genoeg is om een omslag naar verzuring en strooiselophoping te voorkomen. Aan de andere kant zijn ze arm genoeg aan voedingsstoffen, dat geldt vooral voor Gewone es. Hazelaar daarentegen, heeft blad dat tamelijk rijk is aan fosfor en stikstof.
- Dominantie van boomsoorten met basenarm strooisel, hier vooral Zomereik, Amerikaanse eik, Beuk, Fijnspar en Ruwe berk (*Betula pendula*), leidt er gemakkelijk toe dat er een omslag komt naar de vorming van een zure laag ruwe humus. Dit is uiteraard mede afhankelijk van de basenrijkdom van de bodem en van de hydrologie. Wel is het blad van deze bomen gemiddeld ook voedselarmer, waardoor de effecten in een gemengd bos met zowel rijk strooisel soorten als arm strooisel soorten de positieve effecten kunnen overheersen.
- Zwarte els heeft door de samenwerking met stikstof fixerende bacteriën stikstofrijk blad. In het optimale biotoop van Zwarte els, elzenbroekbos, is dit geen probleem omdat er hier ook veel stikstof verdwijnt door dénitrificatie. Dit is waarschijnlijk zelfs de reden dat deze symbiose tot stand is gekomen. Echter, op de minder natte bodems in de leembossen (en in verdroogd elzenbroekbos) neemt de dénitrificatie snel af en heeft Zwarte els een sterk verzuigend effect op de vegetatie.

4.3 Microbieel bodemleven

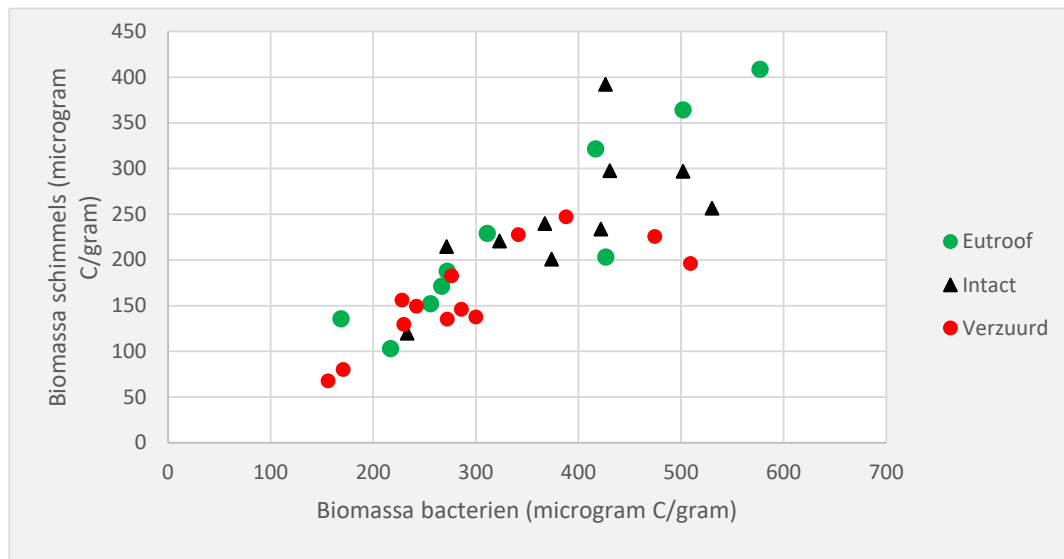
De nutriënten en mineralen die zijn vastgelegd in het blad van de boom, zoals bijvoorbeeld calcium en fosfor, zijn na bladval tijdelijk niet meer beschikbaar voor de boom. Nutriënten in de strooisellaag (of humus) komen via afbraak van het organische materiaal terug in de bodem. De bodemfauna en het microbiële bodemleven spelen hierbij een belangrijke rol, waarna de mineralen weer opgenomen kunnen worden door o.a. de wortels van de boom of door ondergroei. Mycorrhiza schimmels verzorgen tot 80% van de stikstof- en tot 75% van de fosfor-opname die jaarlijks nodig is voor de vegetatie in gematigde bossen (Van der Heijden et al., 2008). Het is echter wel zo dat bomen die in symbiose leven met mycorrhiza een hogere P opname (tot wel 90%) kennen. Dit is met name gunstig wanneer er sprake is van P-limitatie (Van der Heijden et al., 2008). De bijdrage aan reactief stikstof in het ecosysteem door stikstof-fixerende bacteriën (Actinorhiza) bedraagt ongeveer 0-20% (Van der Heijden et al., 2008). Op natte bodem kan echter ook een zeer aanzienlijke afvoer van stikstof plaatsvinden via dénitrificatie.

Onder de noemer bodemleven valt een zeer breed scala aan bodembewoners met een even brede range aan ecologische functies. En ook als dit beperkt wordt tot het microbiële bodemleven is dat nog steeds het geval. In het hieronder staande is het microbiële bodemleven op twee manieren bekeken. Er is een meting gedaan aan de abundantie van een aantal taxonomische groepen, geschat aan de hand van voor die groepen kenmerkende vetzuren (PFLA's) en ook met behulp van DNA (qPCR). Voor de schimmels is eveneens een analyse gemaakt op het niveau van de "operationele taxonomische eenheid" ($\approx$ soortniveau) met behulp van DNA-analyse (metabarcoding).

4.3.1 Vetzuur-analyses

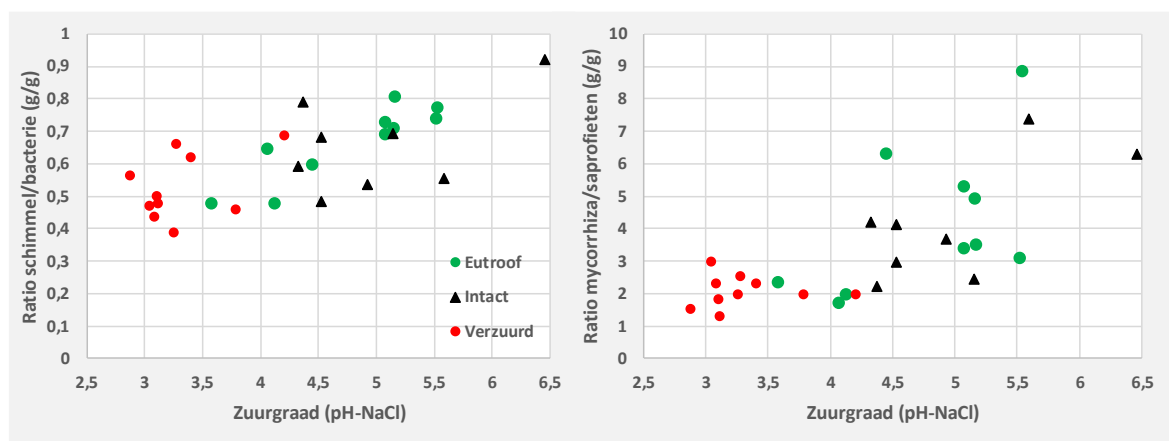
De meest duidelijke uitkomst van de PLFA-analyse is wel dat schimmels en bacteriën ongeveer gelijk reageren op bodem-omstandigheden, af te leiden uit de positieve correlatie tussen de biomassa van beide groepen (figuur 4.17). Aangezien vetzuren in de bodem snel worden afgebroken, kan ervan uit worden gegaan dat het hier gaat om levende biomassa. In de onderzochte bossen is met deze methode ongeveer anderhalf maal zo veel bacterie-biomassa gemeten als schimmel-biomassa. Deze verhouding verschilt nauwelijks tussen locaties met een kenmerkende vegetatie, en locaties met een vegetatie die duidt op verzuring of vermesting. Wel is zichtbaar dat de meeste zure locaties een relatief lage biomassa hebben.

Wanneer de totale biomassa direct wordt uitgezet tegen de pH is duidelijker te zien dat de biomassa over het algemeen lager is in een zure bodem (figuur 4.18). Echter, de spreiding is groot en er zijn twee zure locaties (Collse bos, Spar Snoeyinksbeek) met relatief veel microbiële biomassa en er is een gebufferde locatie (Scheeken, eutroof) met relatief weinig microbiële biomassa.



Figuur 4.17. Berekende microbiele biomassa in de bodems van de referentielocaties, op basis van de vetzuursamenstelling (PLFA's).

Figure 4.17. Calculated microbial biomass in the soils of the reference locations, based on the amounts of phosphor-lipid fatty acids (PLFA's).



Figuur 4.18. Verhouding tussen de berekende biomassa van schimmels en bacteriën op de referentielocaties, uitgezet tegen de zuurgraad.

Figure 4.18. Ratio of fungal and bacterial biomass, correlated with the pH in the soil of the reference sites.

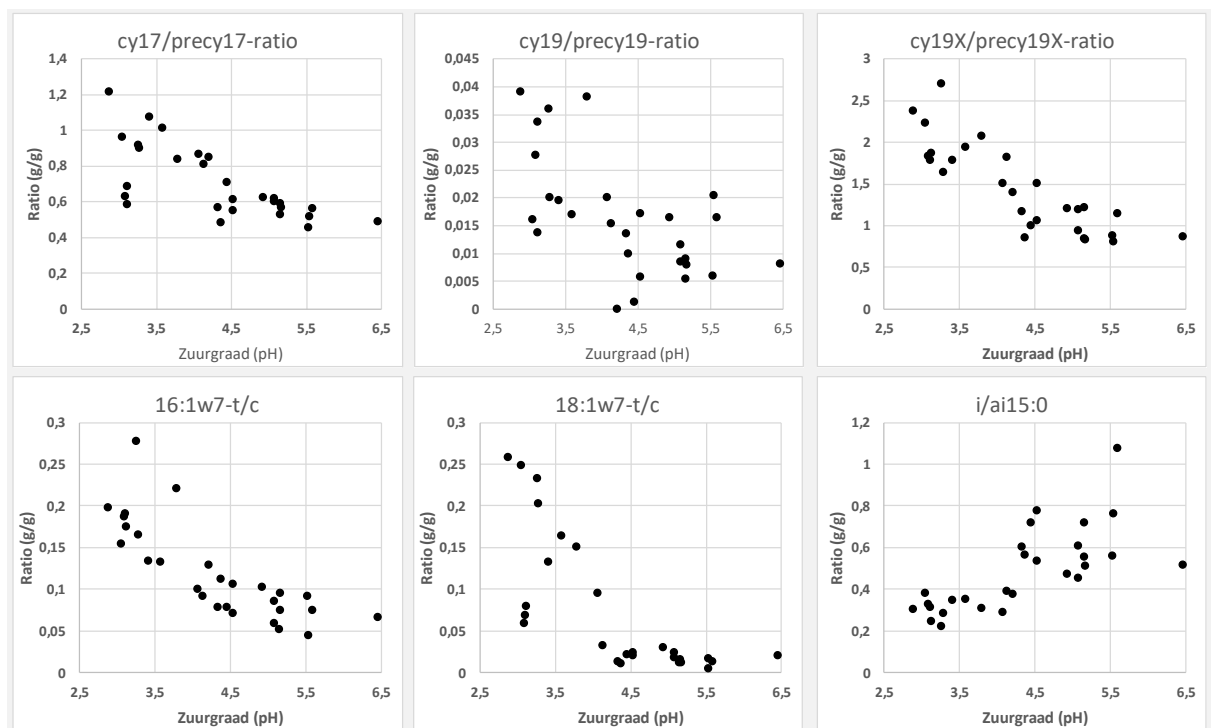
Doorgaans wordt verondersteld dat in zuurdere bodems de afbraak vooral gedomineerd wordt door schimmels en in basische bodems vooral door bacteriën. In de hier bestudeerde pH-range en met de hier gebruikte methode is er juist sprake van het omgekeerde. Naarmate de bodem zuurder is, zijn naar verhouding meer vetzuren van bacteriën aangetroffen (figuur 4.18, links). De conclusie zou dan zijn dat beide groepen in zure bodems minder aanwezig zijn, maar dat dat vooral opgaat voor schimmels. Die afname van schimmels is een opmerkelijk resultaat, tegengesteld aan wat doorgaans het geval is.

Een nog duidelijkere verschuiving is zichtbaar binnen de schimmels. Naarmate de bodem zuurder is, is het aandeel van mycorrhiza-schimmels lager ten opzichte van de zuiver saprotrofe schimmels (figuur 4.18, rechts). Wel is er niet echt sprake van een rechtlijnig verband. Bij een pH van 4 en lager is deze ratio min of meer constant. Deze uitkomst is opmerkelijk, omdat in zure bossen juist vaak grote en opvallende mycorrhiza-paddenstoelen voorkomen. Dit wekt de indruk dat daar de

grootste biomassa aan schimmels aanwezig is. Het omgekeerde is dus het geval, bij een zuurgraad van pH6 is ongeveer 3x zo veel biomassa van mycorrhiza-schimmels aanwezig dan bij een zuurgraad van pH4 of lager. Het gaat dan om meerdere vormen van mycorrhiza, inclusief ecto- en VA mycorrhiza. Het is niet uit te sluiten dat juist er ook binnen de mycorrhiza-groepen bij verzuring grote verschuivingen plaatsvinden en dat juist de bovengronds zichtbare ectomycorrhiza's het relatief goed doen onder zure condities.

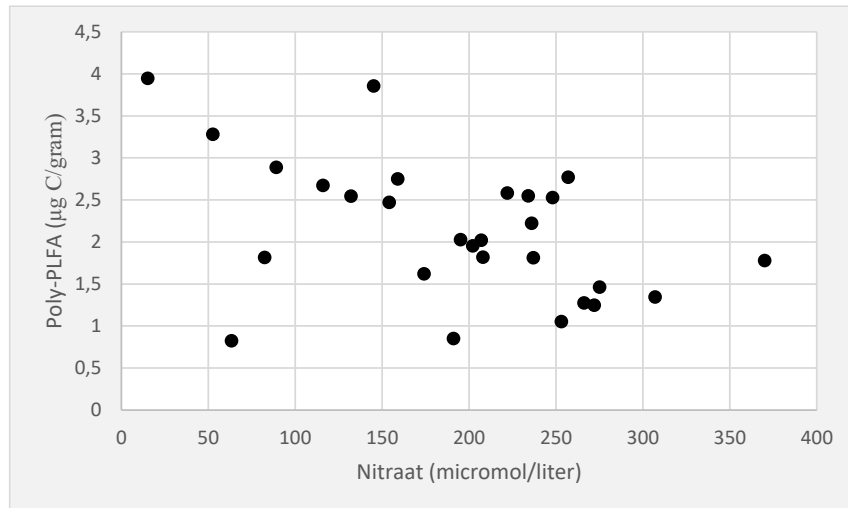
Een verder inkijkje in de verandering van het microbiële bodemleven bij verzuring biedt de verhouding tussen een aantal vetzuren (figuur 4.19). Ook hierbij moet vooral naar de grote lijnen worden gekeken omdat het om een vrij grove methode gaat. Een verhoogd ratio van cyclopropyl vetzuren is een indicatie van omgevingsstress; de cis mono-onverzadigde vetzuren worden omgezet naar de stabielere cyclopropyl vetzuren. Voorbeelden van stress waarbij dit effect is gezien zijn hoge temperaturen, tekort aan nutriënten (uithongering), lage pH en toxische hoeveelheden van zware metalen (info uit toelichting Eurofins). Opvallend is dat de drie verhoudingen tussen de drie cyclopropyl-vetzuren en hun afgeleiden, allen een negatieve trend laten zien bij een hogere pH. Er lijkt vooral bij de cy10/precy19-ratio een omslagpunt aanwezig te zijn bij een zuurgraad van ongeveer pH4.

Ook de trans/cis ratio van mono-onverzadigde vetzuren is een indicatie voor omgevingsstress. De meeste vormen van stress resulteren in een verhoogde fluiditeit van de celwanden van de micro-organismen. Door de PLFA samenstelling aan te passen kunnen organismen dit effect tegengaan en de stress gedeeltelijk compenseren. Eén van deze mechanismen is de isomerisatie van cis- naar trans onverzadigde vetzuren. Een verhoogde ratio duidt op de aanwezigheid van stress onder de micro-organismen. Voorbeelden van stress die zijn gedocumenteerd met een verhoogd trans/cis ratio zijn hoge temperaturen, tekort aan nutriënten (uithongering), osmotische stress, lage pH en toxische hoeveelheden van zware metalen en organische verbindingen (info uit toelichting Eurofins). Ook de mono-onverzadigde vetzuren laten eenzelfde tendens zien. De verhouding i/ai 15:0 laat een verschuiving zien tussen iso-pentadecanoïde vetzuren naar 12-methyl-tetradecanoïde vetzuren, beiden bacteriële vetzuren. Ook hier is een omslagpunt zichtbaar rond pH 4.



Figuur 4.19. Verhoudingen tussen verschillende soorten vetzuren in de bodem van de referentielocaties, uitgezet tegen de zuurgraad.

Figure 4.19. Ratio's between several kinds of phosphor-lipid fatty acids in the soil of the reference sites, correlated with soil pH.



Figuur 4.20. Correlatie tussen de gemeten nitraatconcentratie in de bodem en de hoeveelheid meervoudig onverzadigde vetzuren, een maat voor de schimmel-biomassa.

Figure 4.20. Correlation between the soil nitrate concentration and the amount of poly-unsaturated phospho-lipid fatty acids, as an indication for fungal biomass.

Zuurgraad gerelateerd factoren zijn overduidelijk dominant in de relaties met verschuivende vetzuursamenstellingen. Toch lijkt er ook wel enig verband aanwezig te zijn met stikstof, in de vorm van nitraat. Over het algemeen nemen vetzuurconcentraties af bij een toenemend nitraatgehalte. Zo neemt de hoeveelheid meervoudig onverzadigde vetzuren, die kenmerkend geacht worden voor schimmels, gemiddeld af bij een toenemend stikstofgehalte (figuur 4.20). Beide effecten lijken elkaar te complementeren, wanneer de zuurgraad wordt gecombineerd met nitraat ontstaan nog wat sterkere correlaties.

4.3.2 DNA-analyses

Metabarcoding of sequencing van het DNA materiaal in de bodem levert vele duizenden operationele taxonomische eenheden ("OTU's") op. We nemen hierbij voor het gemak even aan dat elke OTU een "soort" voorstelt. Van een aanzienlijk deel van deze OTU's is echter nog onbekend om welke soort het precies gaat, wat deels te wijten is aan het hoge aandeel soorten dat nog niet door de wetenschap is beschreven. Op basis van metabarcoding kan men dergelijke onbeschreven OTU's echter wél met enige zekerheid onderscheiden als unieke "soort", maar de bijhorende soortnaam kennen we in dergelijke gevallen dan dus nog niet.

Op grond van het DNA (en gelijkenissen met bekende taxa) is vaak wel redelijk goed te bepalen in welke hogere taxonomisch groep zo'n onbekende soort thuishoort, bijvoorbeeld op het niveau van de stam of familie. Op basis van het aantal "reads" van een bepaalde OTU dat gevonden wordt in de bodem, kan verder ook een ruwe schatting worden gemaakt van de (relatieve) abundantie van de betreffende soort in de bodem. Daarbij moet wel bedacht worden dat voor de analyse minder dan 0,1 gram bodem wordt gebruikt, en er dus alleen een beeld geleverd kan worden van een heel klein stukje bodem. Waarschijnlijk is er in de meeste bodems een aanzienlijke ruimtelijke heterogeniteit aanwezig, die slechts deels is opgevangen door mengmonsters te nemen en goed te homogeniseren. De toegepaste analyse is in deze studie alleen uitgevoerd voor de schimmelmenggemeenschap (= sequencing van de ITS1 regio (met primers ITS1f-ITS2)).

Methodologie

Bodemmonsters voor moleculaire analyse werden eerst gehomogeniseerd en gevriesdroogd. DNA werd vervolgens geïsoleerd van ca. 0.1-0.2 g bodemmonster met behulp van "DNeasy PowerSoil Kit according to the manufacturer's protocol (Qiagen, Venlo, the Netherlands)". DNA concentraties werden gekwantificeerd met de dsDNA Assay Kit en Qubit fluorometer (Invitrogen).

Schimmel- en bacterie-abundantie (qPCR)

Een eerste techniek die is toegepast, is het vermeerderen van specifieke fragmenten DNA-materiaal van schimmels (hier het 18S rDNA gen) en bacteriën (hier het 16S rRNA gen) met behulp van primers en qPCR (quantitative Polymerase Chain Reaction). Deze methode levert –net zoals PLFA-analyse– een proxy voor microbiële abundantie. Zo kan een tamelijk grove schatting worden gemaakt van het kwantitatieve voorkomen van schimmels en bacteriën in de bodem. Abundantie van het 18S rDNA gen is bepaald met behulp van het primerpaar FF390.1 (CGA TAA CGA ACG AGA CCT)/ (FR1 (AIC CAT TCA ATC GGT AIT)) (Vainio and Hantula 2000). Abundantie van bacteriën werd geschat op basis van het 16S rRNA gen met behulp van het primerpaar 515F (GTGYCAGCMGCCGCGGTAA) / 806R (GGACTACNVGGGTWTCTAAT) (Caporaso et al. 2011). Elke reactie had 4 µl monster, 10 µM KAPA SYBR FAST qPCR Master Mix, 3.8 µl water, 0.4 µl van elke primer (1:10 verdund), 0.4 µl ROX high en 1 µl BSA. qPCR werd uitgevoerd op een Bio-Rad CFX96 Real-Time Thermal Cycler (Bio=Rad, Hercules, CA, USA). Standaardcurves zijn gemaakt op basis van een 10x verdunning van schoon PCR product waarvan de concentratie op voorhand was bepaald. Een hoge precisie was gegarandeerd door de sterke lineaire relatie tussen log-getransformeerde concentraties en cq-waarden ($R^2 > 0.98$).

DNA metabarcoding van de schimmelmenggemeenschap (High-throughput amplicon sequencing)

Concreet hebben we in dit onderzoek de ITS1 regio geamplificeerd met behulp van primers ITS1f (Gardes and Bruns 1993) en ITS2 (White et al. 1990), volgens Smith and Peay (2014).

Elk reactiemengsel van 25 µl bevatte 2 µl van het monster, 0.5 µM van elke forward en reverse primer, 1X PCR-buffer, 200 µM dNTPs en 1 U Phusion High-Fidelity DNA-polymerase (New England Biolabs, Ipswich, MA, USA). PCR-omstandigheden waren als volgt: initiële denaturatie bij 98 °C gedurende 60 s, gevolgd door 35 cycli van: denaturatie bij 98 °C gedurende 30 s, annealing bij 55 °C gedurende 30 s, extensie bij 72 °C gedurende 30 s; en een extra extensie bij 72 °C gedurende

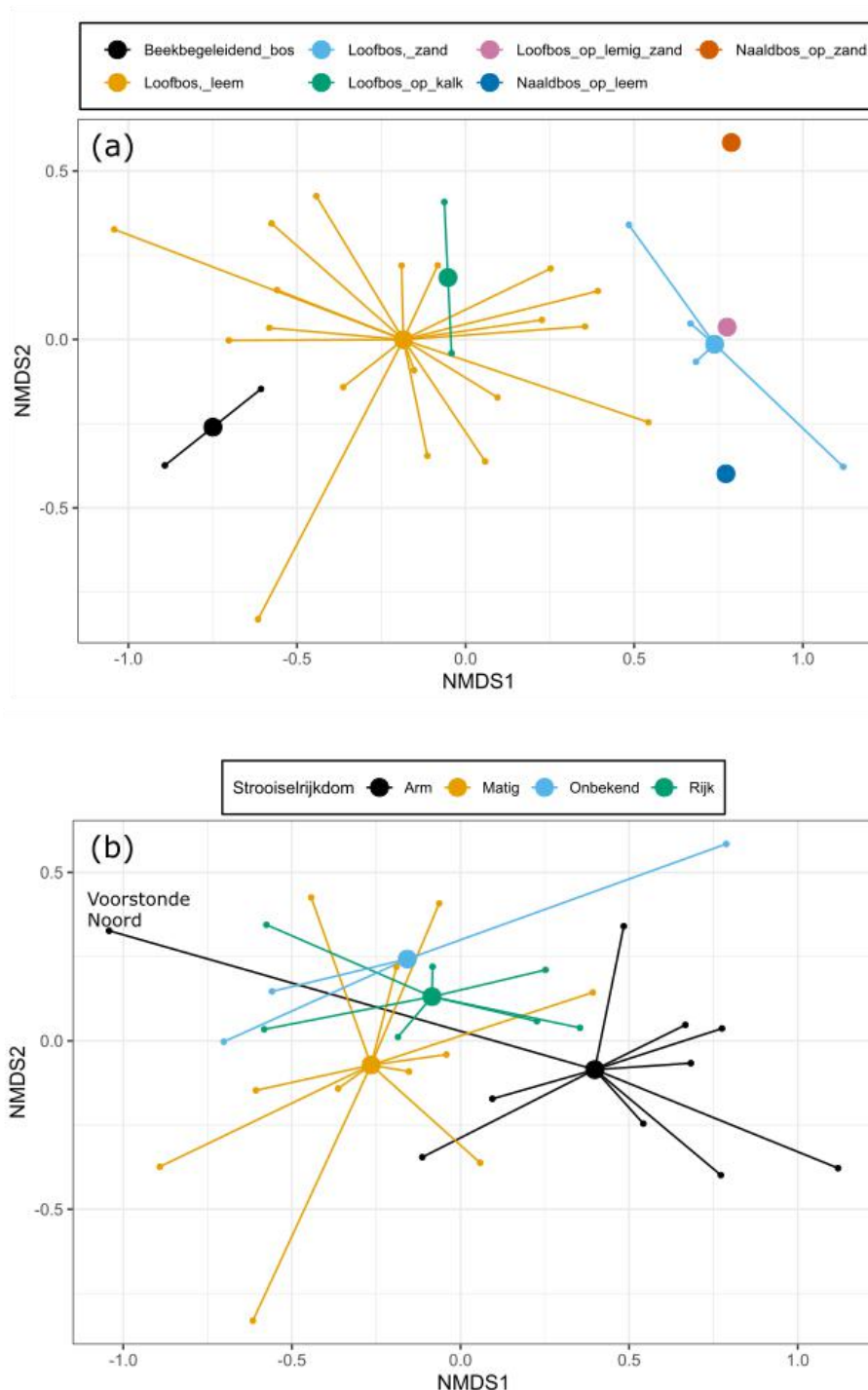
10 minuten. Het succes van amplificatie werd getest op 1,5% agarose gel. Succesvolle PCR-producten werden 50 x verdund en een tweede PCR werd uitgevoerd met behulp van primers met dubbele barcode met Illumina-adapters (2,5 µl verdunde PCR-producten en 0,1 µM van elke primer). De omstandigheden waren: 98 °C voor 60 s, 12 cycli: bij 98 °C voor 10 s, 63 °C voor 30 s, 72 °C voor 30 s; en 72 °C gedurende 5 minuten. PCR-producten op een agarosegel gezet en succesvolle amplicons werden samengevoegd tot één bibliotheek. De bibliotheek werd gezuiverd met behulp van Machery Nagel gel purificatiekits QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen, Venlo, Nederland) en gekwantificeerd met behulp van qPCR (KAPA Library Quantification Kits, Kapa Biosystems, Wilmington, MA, USA). Sequencing werd uitgevoerd met behulp van het Illumina MiSeq platform (Illumina Inc; San Diego, CA, USA) met 2x300 cycli voor forward en reverse reads. De verkregen sequenties werden vervolgens geanalyseerd met behulp van de USEARCH (v8.1.1861) en VSEARCH (Rognes et al. 2016) software volgens de UPARSE-pipeline (Edgar 2013). Na trimmen werden paired-end reads samengevoegd, de primers werden verwijderd, en samengevoegde sequenties ondergingen kwaliteitsfiltering. Na verwijdering van singleton werden de sequenties geclusterd in OTU's op basis van 97% gelijkheid (met behulp van het UPARSE-OTU-algoritme (Edgar 2013)). Representatieve OTU's werden vervolgens gelinkt aan schimmelsequenties in de UNITE-database (Kõljalg et al. 2005), en niet-schimmelsequenties werden hierbij verwijderd. Om schimmelsequenties te koppelen aan bekende geslachten, hebben we het BLAST-algoritme van NCBI met standaardinstellingen gebruikt. OTU's werden tenslotte toegewezen aan functionele groepen (bv. voor schimmels: arbusculaire en ectomycorrhiza, saprotrofen, pathogenen, enz.) zodra het geslacht met succes werd gematcht met een geslacht waarvan de levensstijl reeds bekend is.

Resultaten

Een eerste analyse die is verricht is het maken van een NMDS-plot (op basis van "Bray-Curtis dissimilarities"), te vergelijken met canoco-plots die verschillen in vegetatiesamenstelling weergeven. In een dergelijke ordinatie neemt de gelijkheid in soortensamenstelling/schimmelmenging toe naarmate punten in het plot dichter bij elkaar liggen. Vervolgens kan een plot worden gemaakt, waarbij de verschillen tussen plots over twee verschillende assen worden verdeeld. In figuur 4.21a zijn de gevonden verschillen weergegeven op deze twee assen. Op de eerste as (x-as) bevinden zich links de beekbegeleidende bossen en de bossen op leem. Rechts bevinden zich de bossen op zand, en een paar naaldbossen. Het naaldbos op zand hoort niet bij de referentieplots, maar is een toegevoegde locatie met Kaukasische spar (*Picea orientalis*) op sterk verzuurde, droge zandgrond. Het naaldbos op leem betreft een fijnspar-aanplant met o.a. bospaardenstaart in het dal van de Snoeyinkbeek. De as vertegenwoordigt niet alleen een verschil in bodemstructuur, maar ook een gradiënt in zuurgraad. Het beeld bevestigt dus de resultaten van de vetzuur-analyse, dat de zuurgraad in de bodem de belangrijkste sturende factor is in de samenstelling van de schimmelmenging. Voor de tweede as (y-as) is minder duidelijk welke ecologische factoren de variatie bepalen. Mogelijk speelt vochtbehouding of voedselrijkdom hier een rol.

Een tweede NMDS-plot is gemaakt door de referentielocatie in te delen naar het type strooisel dat op de grond valt, met andere woorden naar de boomsoort die zich in het plot bevindt. Er is een indeling gemaakt in plots waar bomen met basenarm of basenrijk strooisel domineren, en er is een meng-groep onderscheiden. In de figuur liggen de punten dus op dezelfde plek, maar is alleen de groepsindeling anders (figuur 4.21.b). Er ontstaat dan min of meer een tweedeling tussen plots gedomineerd door arm-strooisel soorten op de zure standplaatsen en plots met rijk-strooisel soorten of een sterk gemengde boomsamenstelling op gebufferde bosbodems. Grote uitzondering is het plot Voorstonden Noord (VOVAP), waar Beuk en Zomereik domineren op een nog vrij goed gebufferde ondergrond. Van de groep "onbekend" in dit plot hoort het punt rechtsboven bij het naaldbos op droog zand, en dus eerder bij de groep arm strooisel. De beide andere toegevoegde punten betreffen loofbossen op leem. Gemiddeld is er dus een goede correlatie tussen boomsoort en zuur-indicatie van de schimmelmenging, alhoewel er ook een flinke overlap is. Maar deze

correlatie kan ook het gevolg zijn van het feit dat op de basenarme bodems bij voorkeur bomen met arm strooisel zijn aangeplant. De sterk afwijkende positie van Voorstonden Noord geeft al aan dat de samenstelling van de bodem een grote rol kan spelen in het bepalen van de schimmelmengte, ook als er vooral arm strooisel op de bodem valt.

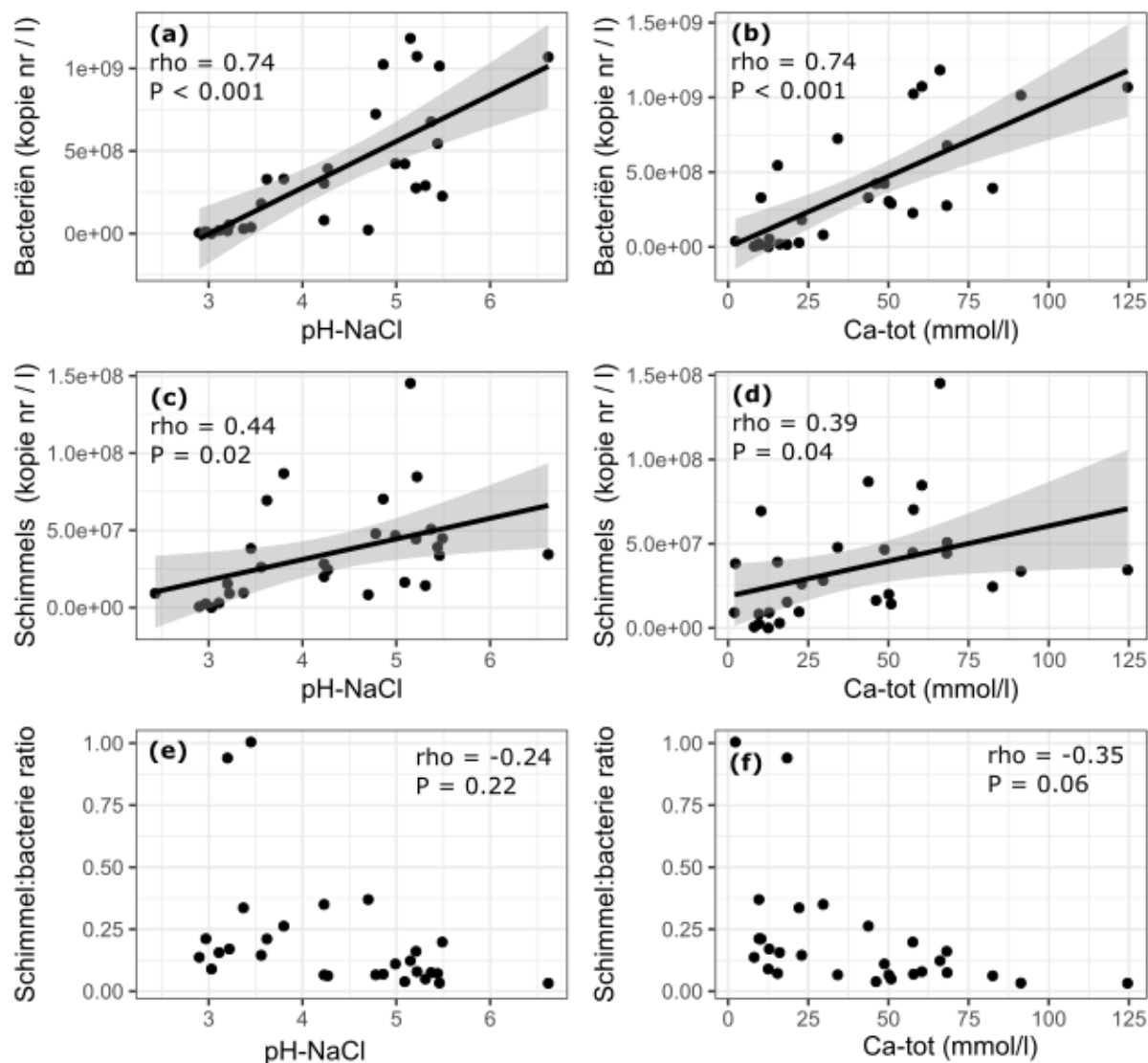


Figuur 4.21. NMDS (non-metric multi dimensional scaling)-plot (stress = 0.14, Bray-Curtis) van de samenstelling van de schimmelmengte onder (a) verschillende bodemtypen en -bodems en (b) verschillende typen strooiselkwaliteit (Overwegend Arm – Matig rijk – Rijk (– Onbekend)).
Figure 4.21. NMDS (non-metric multi dimensional scaling)-plot (stress = 0.14, Bray-Curtis) of the fungal community under (a) different soil types and (b) trees with different types of litter composition (arm = base-poor, rijk = base-rich, matig = mixture of trees)

Een tweede techniek die is toegepast, is het vermeerderen van specifieke fragmenten DNA-materiaal van schimmels (18S) en bacteriën (16S) met behulp van qPCR (quantitative Polymerase Chain Reaction) technieken, wat –net zoals PLFA-analyse– een proxy levert voor schimmel- en bacterie-abundantie. Zo kan een tamelijk grove schatting worden gemaakt van het voorkomen van zowel schimmels als bacteriën in de bodem. Voor zowel schimmels als bacteriën wordt een sterk afnemende abundantie (uitgedrukt in gen-kopienummers per liter bodem) vastgesteld met afnemende pH (figuur 4.22, a t/m d). Dit stemt dus overeen met de resultaten van de vetzuur-analyse. Echter, beide methoden geven een verschillend beeld over de verschuiving van de verhouding bacteriën/schimmels. Uit de vetzuur-analyse blijkt dat schimmels relatief sterker afnemen in zuurdere bodems, terwijl de DNA-analyse suggereert dat juist bacteriën relatief sterker afnemen in zuurdere bodems (figuur 4.22, e en f), hoewel statistisch net niet significant. Deze trend stemt meer overeen met de algemene opinie in de ecologie dat basische bodems (relatief) meer door bacteriën worden gedomineerd en zure bodems meer door schimmels. Uit beide methoden blijkt dat de verschuiving in de schimmel/bacterie verhouding vrij gering is; van 0,7 (basisch) naar 0,5 (zuur) in de vetzuur-analyse en van 0,1 (basisch) naar 0,2 (zuur) in de DNA-analyse.

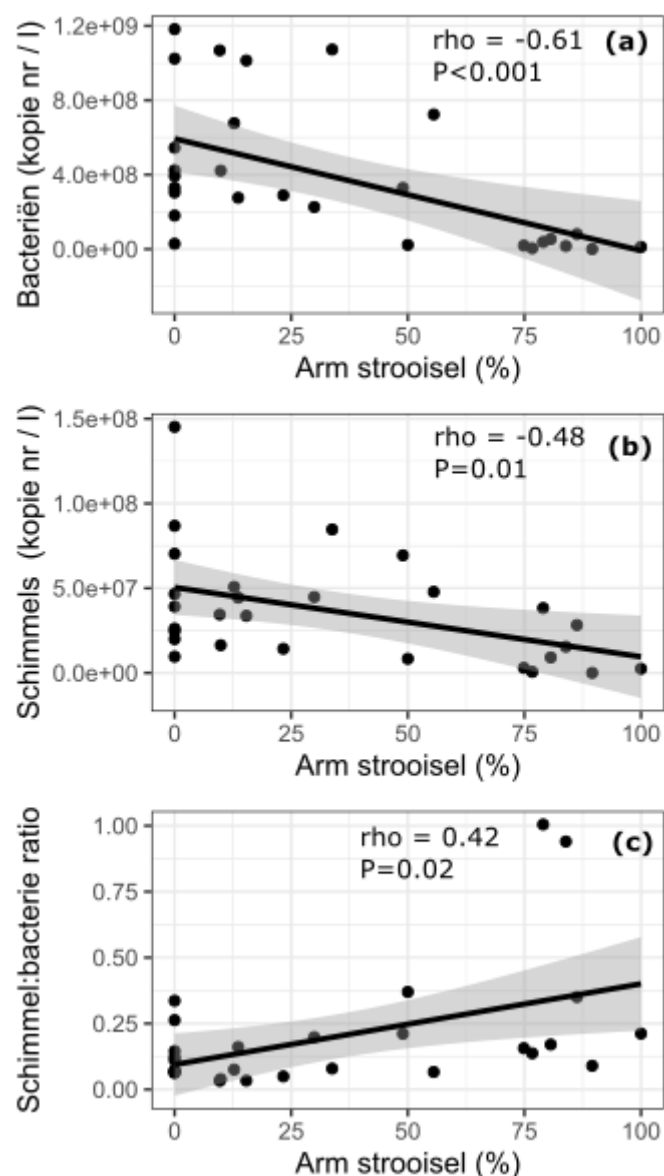
Dat zou betekenen dat een analyse op zo'n hoog taxonomisch niveau weinig relaties oplevert met omgevingsfactoren. Verder is er een groot absoluut verschil tussen beide methoden, in de berekende ratio (0,5-0,7 versus 0,1-0,2) en is de spreiding bij de DNA-analyse veel groter (0,05 - 1) dan bij de vetzuur-analyse (0,4-1). Dit is ook deels te wijten aan het feit dat beide methoden (PLFA-analyse en qPCR) compleet anders zijn, en dus ook moeilijk of nauwelijks vergelijkbare resultaten opleveren. Het is dus niet goed mogelijk om voor de verschuiving in schimmel/bacterie ratio een goede vergelijking te maken.

De relatie met het strooiseltype levert hetzelfde beeld op als de relatie met de bodem; bij een toenemend aandeel van arm en zuur strooisel neemt de biomassa van zowel bacteriën als schimmels af (figuur 4.23). Hier komt wel significanter uit de analyses naar voren dat onder bomen met arm strooisel relatief meer schimmels aanwezig zijn.



Figuur 4.22. Schimmelabundantie, bacteriële abundantie en schimmel:bacterie ratio's in relatie tot pH-NaCl en totaal calciumgehalte (per L bodem). Schimmel- en bacteriële abundanties (eubacteriën en archaea) zijn berekend met qPCR en uitgedrukt in gen-kopienummers per liter bodem. Weergegeven zijn de testresultaten van Spearman's rank correlaties (ρ en P-waarden). De regressielijnen voor significante verbanden zijn ter illustratie.

Figure 4.22. Abundance of fungi and bacteria (eubacteria and archaea), and fungi:bacteria ratio's (calculated with qPCR and expressed in number of genetic copies/liter of soil), correlated with soil pH and soil total calcium. The testresults of Spearman-rank correlations are shown.



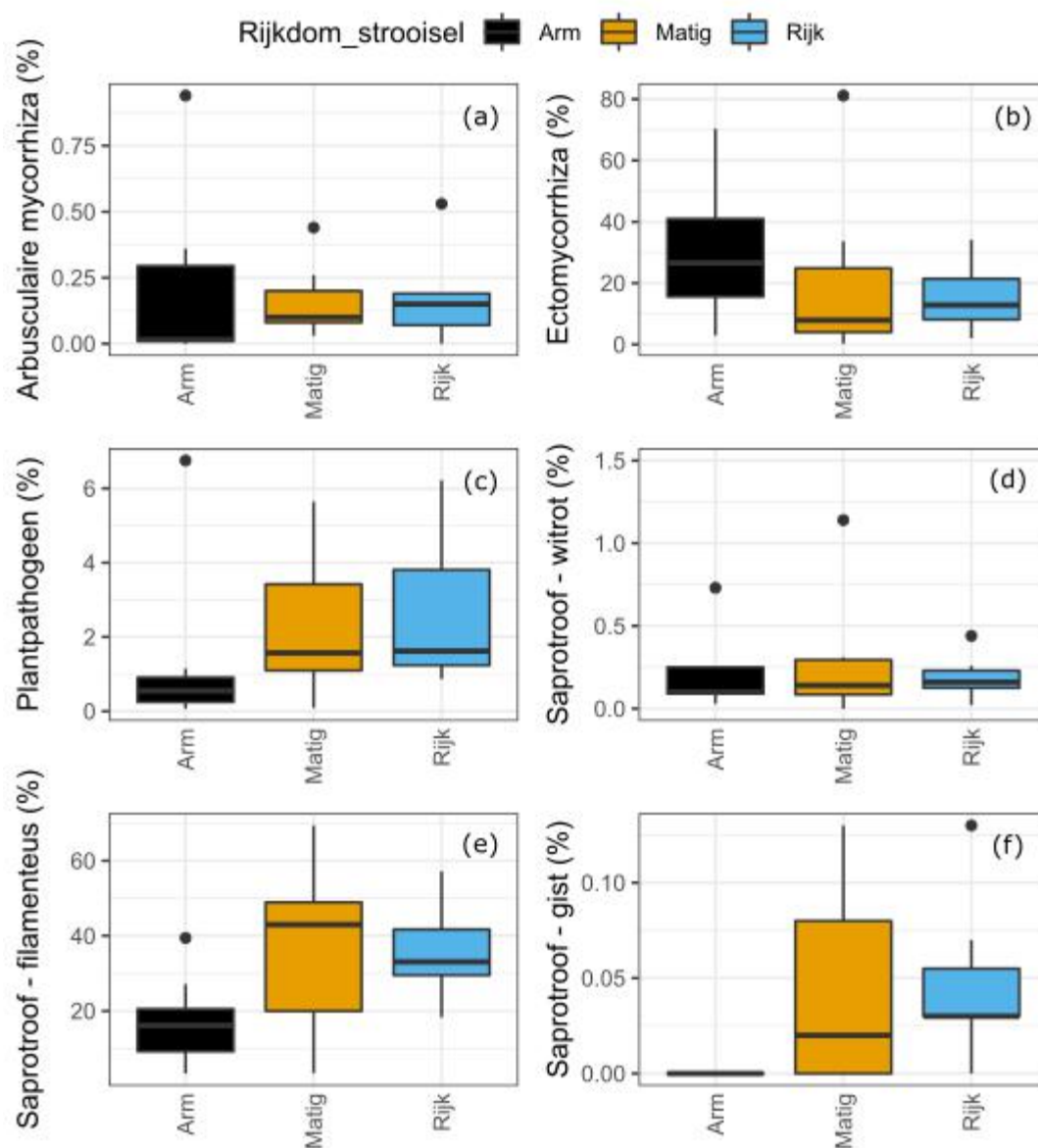
Figuur 4.23. Schimmelabundantie, bacteriële abundantie en schimmel:bacterie ratio's in relatie tot het relatieve aandeel bomen met basenarm bladstrooisel. Schimmel- en bacteriële abundanties (eubacteriën en archaea) zijn berekend met qPCR en uitgedrukt in gen-kopienummers per liter bodem. Weergegeven zijn de testresultaten van Spearman's rank correlaties (ρ en P-waarden). De regressielijnen voor significante verbanden zijn ter illustratie.

Figure 4.23. Abundance of fungi and bacteria (eubacteria and archaea), and fungi:bacteria ratio (calculated with qPCR and expressed in number of genetic copies/liter of soil), correlated with the coverage of trees producing base-poor litter. The testresults of Spearman-rank correlations are shown.

De puzzel wordt nog wat gecompliceerder wanneer we naar het aandeel van de verschillende functionele schimmelgroepen kijken in relatie tot het type strooisel. De twee dominante groepen in de onderzochte bossen zijn ectomycorrhiza-schimmels en saprotrofen, alhoewel met name onder de laatste groep ook veel soorten zijn geschaard waarvan de ecologische relaties onbekend zijn en mogelijk ook symbiotisch. In ieder geval is een duidelijke verschuiving waarneembaar van "saprotrofe" schimmels op plaatsen met een zeker aandeel rijk-strooisel bomen, naar relatief meer ectomycorrhiza onder arm-strooisel bomen (figuur 4.24). Aangezien op de basenrijkere bodems/onder bomen met basenrijkere strooisel in absolute zin ook veel meer schimmels

voorkomen, kan in ieder geval geconcludeerd worden dat de activiteit van “saprotrofe” schimmels onder relatief basische omstandigheden flink hoger ligt dan onder zure omstandigheden. Onder zure omstandigheden handhaven de ectomycorrhiza-schimmels zich relatief beter, d.w.z. ten opzichte van de andere functionele schimmelgroepen.

Ook deze resultaten lijken haaks te staan op die van de vetzuur-analyses. Daar werd een sterke absolute afname van mycorrhiza-schimmels waargenomen naarmate de bodem zuurder is. Een deel van het verschil kan verklaard worden door de term mycorrhiza: bij de vetzuur-analyse gaat het om alle soorten mycorrhiza en de gebruikte methode wordt vooral toegepast in graslanden. Het lijkt erop dat deze methode niet heel geschikt is voor ecto-mycorrhiza, wat ook het verschil in uitkomst van schimmel/bacterie ratio zou kunnen verklaren. Daarnaast geeft metabarcoding relatieve abundanties weer, terwijl PLFA-analyse resulteert in absolute abundanties. Concreet sluit het ene resultaat dus niet per definitie het andere uit: het zou bijvoorbeeld best kunnen dat zure bodems relatief meer ectomycorrhiza-schimmels hebben ten opzichte van andere functionele schimmelgroepen, maar dat de absolute hoeveelheden alsnog vrij laag zijn (want een lage algehele schimmelbiomassa). Hoe dan ook heeft DNA-analyse een hogere resolutie en een hoger onderscheidend vermogen dan PLFA analyse, en deze resultaten worden hier daarom als leidend beschouwd.



Figuur 4.24. Het relatieve aandeel van belangrijke functionele schimmelgroepen onder verschillende typen strooiselkwaliteit (Overwegend Arm – Matig rijk – Rijk).

Figure 4.24. The relative share of main groups of fungi in the soil under trees differing in litter quality. Arm = base poor litter, Rijk = base rich litter. Matig = Tree mixture.

De belangrijkste resultaten van de vetzuur-analyses en DNA-analyses zijn de volgende:

- Bij een lagere pH in de bodem is er minder microbiële biomassa, zowel van schimmels als bacteriën. Dit resultaat volgt duidelijk uit beide methoden. Er is een duidelijke tegenstelling tussen de sterk zure mor-profielen, waar een laag ruwe humus zich ophoopt op de minerale bodem, met de hooguit zwak zure moder- en mull-profielen
- Beide methoden lijken tegengestelde resultaten op te leveren wat betreft de schimmel:bacterie ratio. Deze neemt bij verzuring af volgens de vetzuur-analyse en neemt toe volgens de DNA-analyse. In beide analyses is de verschuiving in ratio's vrij gering.
- Het is de vraag of een vergelijking op zo'n hoog taxonomisch niveau veel ecologische relevantie heeft; waarschijnlijk zijn de verschillen waarmee soorten met nutriënten omgaan binnen de bacteriën of de schimmels groter dan de verschillen tussen beide groepen.
- De soortsamenvatting van de schimmelgemeenschap wordt sterk bepaald door bodemtype en zuurgraad. Zo zien we bijvoorbeeld een compleet andere schimmelgemeenschap in zure, zanderige naaldbosbodems dan in basenrijke en beekbegeleidende (leem-bosbodems).
- Volgens de vetzuur-analyse is er een absolute afname in de mycorrhiza-schimmels in zuurdere bodems, maar volgens de DNA-analyse zijn er juist relatief meer ectomycorrhiza-schimmels onder zure omstandigheden. Waarschijnlijk nemen vooral niet-EM mycorrhiza's (VAM, maar ook minder bekende vormen van mycorrhiza) sterk af bij verzuring. Voor de schimmels zijn de resultaten van de DNA-analyse waarschijnlijk betrouwbaarder omdat hiermee verder is ingezoomd op de verschillende groepen fungi.
- Er lijkt een omslagpunt te zijn rond pH-NaCl 4. Rond dit punt zijn de biomassa-veranderingen het grootst, maar vooral de verschuivingen in vetzuur-samenstelling.
- De invloed van eutrofiering op de microbiële biomassa en de verhouding bacteriën/schimmels is vrij gering. Echter, nitraat heeft een negatieve invloed op de microbiële biomassa, vooral op schimmels.

4.4 Bodemfauna

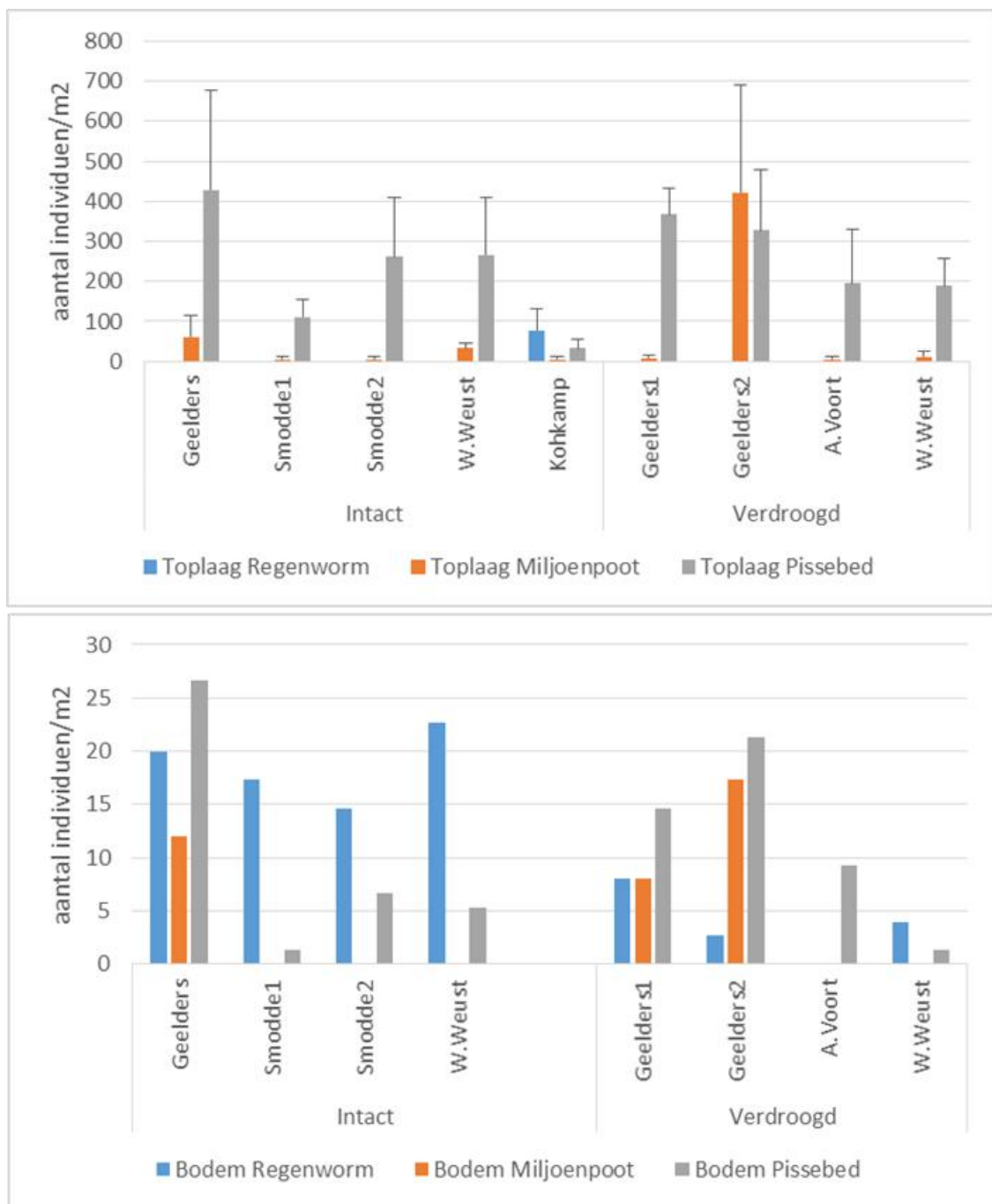
In elk van de geselecteerde boslocaties is de samenstelling en dichtheid van ongewervelde macrofauna vastgesteld in de strooisel- en humuslaag en de daaronder liggende minerale bodem, tot een diepte van 25 cm, of minder diep wanneer de grondwaterstand hoog was. Daarbij wordt vooral aandacht besteed aan de belangrijkste groepen, die een rol spelen in de omzetting van strooisel en humus en de vermenging van organische stof met de minerale bodem: regenwormen, pissebedden en miljoenpoten. In dit project is niet gekeken naar de mesofauna (o.a. springstaarten, bodemmijten en potwormen), die eveneens een belangrijke rol spelen in de strooiselafbraak en nutriëntencyclus.



Figuur 4.25. De toplaag, bestaande uit de bovenste 5 cm van de ectorganische laag en minerale bodem, is bemonsterd met behulp van een springvorm en meegenomen naar het laboratorium voor extractie in een tullgren-trechter (rechts), waarna de macrofauna uit de daaronder liggende lagen over een oppervlakte van 50x50 cm tot een diepte van maximaal 25 cm op locatie is gesorteerd met behulp van een zeef boven een bak.

Figure 4.25. The topsoil, consisting of the top 5 cm of the ectorganic layer and mineral soil, was sampled using a springform and taken to the laboratory for extraction in a tullgren funnel (right), after which the macrofauna from the layers below were sorted on site over an area of 50x50 cm to a depth of up to 25 cm using a sieve over a bin.

De monsters zijn genomen in het najaar en de winter van 2019-2020. Met behulp van een springvorm met een diameter van 28 cm is de toplaag, bestaande uit de bovenste 5 cm van de ectorganische laag (strooisellaag, en deel van fermentatie- en/of humuslaag) en minerale bodem, verzameld en meegenomen naar het laboratorium in Nijmegen voor extractie van de bodemfauna in een tullgrenopstelling. Wanneer de grondwaterstand dieper dan 5 cm onder maaiveld stond, is vervolgens deze zelfde bovenste laag over de resterende oppervlakte van een kwart vierkante meter (50x50cm; Figuur 25) verwijderd en is de daaronder liggende bodem tot een diepte van maximaal 25 cm onder maaiveld gesorteerd met behulp van een zeef boven een bak.

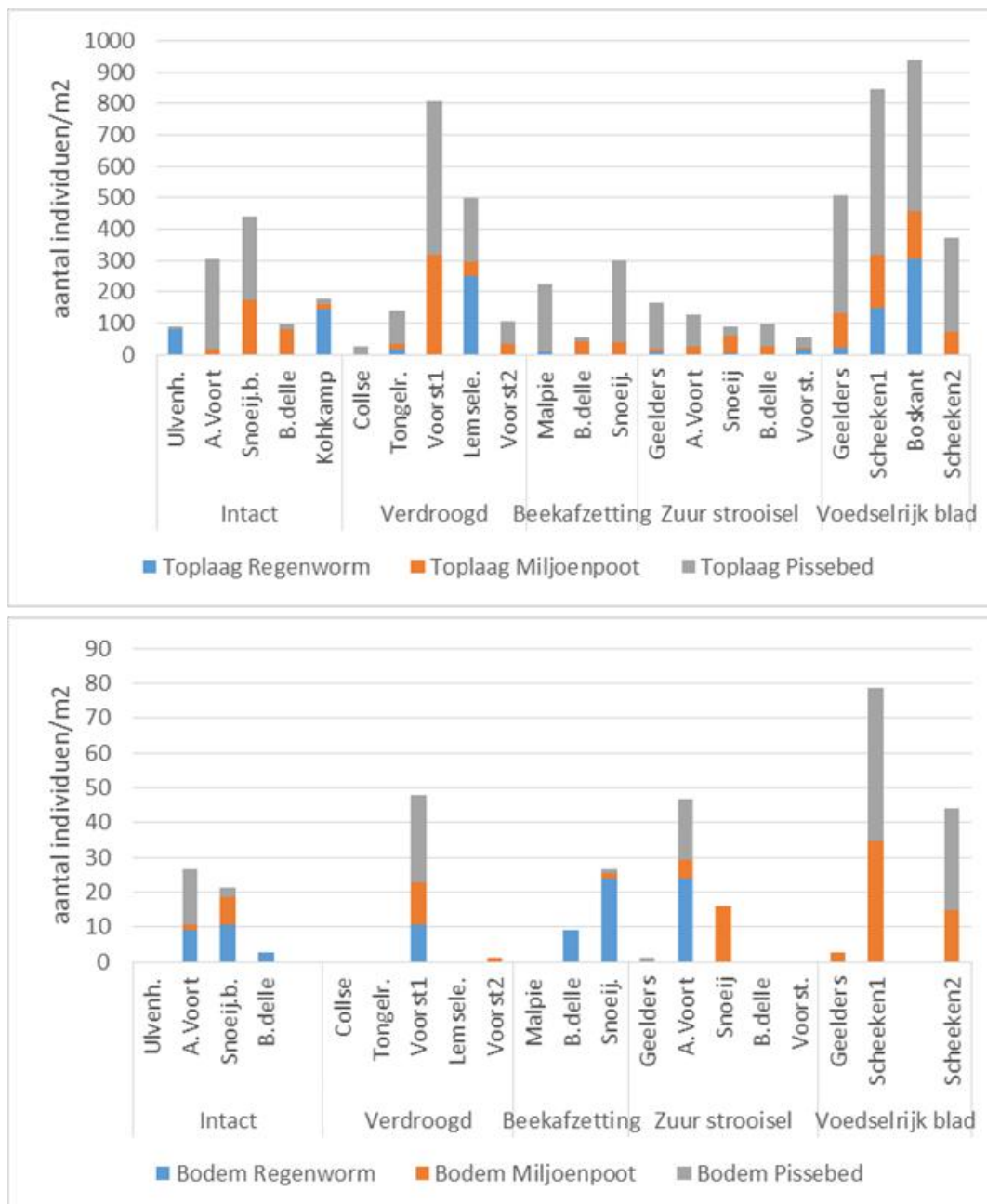


Figuur 4.26. Gemiddelde aantallen individuen van bodemfauna per vierkante meter in de toplaag (boven) en de onderliggende minerale bodem (onder) van de onderzoekslocaties van intact en verdroogd Eiken-Haagbeukenbos.

Figure 4.26. Average numbers of individuals of soil fauna ('Pissebed' = woodlice, 'miljoenpoot' = millipedes, and 'regenworm' = earthworms) per square meter in the topsoil (top) and underlying mineral soil (bottom) of the study sites of intact and desiccated Stellario-Carpinetum woodlands.

In de toplaag van Eiken-Haagbeukenbossen zijn pissebedden de meest talrijke groep (Figuur 4.26). Regenwormen zijn alleen in de wat diepere bodemmonsters aangetroffen, behalve in de referentielocatie Kohkamp, waar regenwormen zich wel in de bovenste 5cm van de strooisellaag en bodem bevinden. In verdroogde situaties zien we een duidelijk lager aantal regenwormen. Verreweg de meeste van de aangetroffen regenwormen behoren tot de bewoners van strooisel of

de ondiepe bodem (epigeïsch en endogeïsch). De weinige diepgravende regenwormen (*Lumbricus terrestris* en *Aporrectodea longa*) zijn gevonden in de verdroogde locaties en één exemplaar in de intacte locatie in de Geelders. Het relatief hoge aantal pissebedden in de "intacte" locatie in de Geelders wijst op een wat drogere bodem, in vergelijking met Smoddebos en Willinks Weust. De dichtheden van pissebedden en miljoenpotten verschillen nogal tussen de locaties; de hoogste dichtheden zijn op de locaties in de Geelders gevonden, vooral in de verdroogde.



Figuur 4.27. Gemiddelde aantallen individuen van bodemfauna per vierkante meter in de toplaag (boven) en de onderliggende minerale bodem (onder) van de onderzoekslocaties van intact en verdroogd Alno-Padion, Alno-Padion met voedselrijke beekafzetting en (potentiële) vochtige bossen met bomen met zuur strooisel of met voedselrijk blad.

Figure 4.27. Average numbers of individuals of soil fauna per square meter in the topsoil (top) and underlying mineral soil (bottom) of the study sites of intact and desiccated Alno-Padion, Alno-Padion with nutrient-rich stream sediment and (potential) wet forests with trees with acidic litter or with nutrient-rich leaves.

Figuur 4.27 geeft aan dat de samenstelling van de detritivore bodemfauna in Alno-Padion bossen nogal verschilt tussen verschillende situaties, zowel binnen als tussen de groepen van boslocaties. Dit geeft aan dat er sprake is van continue reeksen van standplaatscondities, waarbij zowel vochthuishouding, als bodemchemie (zuurgraad, basenverzadiging) en strooiselkwaliteit een belangrijke rol spelen. Om dit enigszins inzichtelijk te maken, zijn de gegevens per locatie weergegeven en geen gemiddelden voor de onderscheiden categorieën van de toestand van het bos. In figuur 4.28 en 4.29 zijn de aantallen per diergroep uitgezet tegen de zuurgraad en de basenverzadiging van de bodem. Voor alle groepen geldt in de Alno-Padion bossen dat hoge dichtheden van bodemdieren alleen voorkomen bij een hoge basenverzadiging en een pH vanaf 5,0 (fig. 4.29). Hoge dichtheden van deze diergroepen vonden we vooral op locaties met voedselrijker, makkelijker verteerbaar blad (wilg, populier, els). In de intacte Eiken-Haagbeukenbossen is de basenverzadiging duidelijk hoger dan in de verdroogde locaties en zijn de dichtheden van regenwormen ook hoger. Voor pissebedden lijkt dit –binnen de gevonden range van basenverzadiging - geen sturende factor te zijn.

Duidelijk is dat de boslocaties met bomen met voedselrijk en sneller verterend blad gemiddeld hogere dichtheden aan bodemfauna kennen, met name pissebedden en miljoenpoten, maar soms ook regenwormen. Regenwormen zijn slechts in beperkte mate gevonden in de verschillende situaties. In elk geval wel in de toplaag of de onderliggende bodem van de groep intacte locaties en ook in een aantal verdroogde situaties en locaties met beekafzetting. In de zeer natte situaties met de waterstand dicht onder het maaiveld in het Ulvenhoutse bos en in Kohkamp wordt de bodemfauna in de toplaag gedomineerd door regenwormen. In zulke natte situaties kon de diepere bodem niet worden bemonsterd, maar we mogen ervan uitgaan dat zich in de erg natte en zuurstofloze bodem geen of zeer weinig bodemfauna bevindt. Het is van bijvoorbeeld regenwormen bekend dat zij zich omhoog begeven, wanneer de waterstand stijgt. Sterke wisselingen in de waterstand kunnen een negatief effect hebben op de bodemfauna. In onder andere het Collse bos (Urkhoven) en de Malpie, waar de waterstand op het moment van bemonstering nabij het maaiveld stond, maar waar 's zomers de waterstand aanzienlijk daalt (Hoofdstuk 3), is weinig bodemfauna aangetroffen. Een meer stabiele waterstand die over grotere oppervlakten in natte perioden vaak enkele centimeters onder maaiveld blijft, maar ook bodems met een beter vochtvasthoudend vermogen (organisch materiaal en leemfractie in de bodem) bieden meer stabiele leefomstandigheden voor regenwormen en andere ongewervelden.

Zuur strooisel geeft in de toplaag in elk van de vijf in deze categorie onderzochte locaties een relatief lage dichtheid bodemfauna, vooral van pissebedden en miljoenpoten in de strooisellaag. De dichtheid en samenstelling van de bodemfauna in de onderliggende bodem kan hier echter sterk verschillen, als gevolg van de standplaatscondities. Alleen in de onderliggende bodem van de locatie met zuur strooisel in Achter de Voort werden regenwormen gevonden, waaronder enkele diepgravers (pendelaars, anekisch).

Tot slot moet opgemerkt worden dat het aantal monsterpunten per gebied klein is, zodat moeilijk vastgesteld kan worden in hoeverre soorten of soortgroepen in een gebied ontbreken. Doordat binnen terreinen aanzienlijke heterogeniteit aanwezig is in het maaiveld, mate van inundatie en grondwaterinvloed, is er ook variatie in geschiktheid voor diersoorten. De gegevens over de soortensamenstelling van de bodemfauna die nu zijn verzameld geven geen aanleiding om te veronderstellen dat belangrijke soorten of soortgroepen in de onderzoeksgebieden ontbreken en dat herintroductie nodig zou zijn. De gegevens van de kolonisatie van getransplanteerde plaggen (paragraaf 5.4) geven dit ook aan. In sterk verdroogde en verzuurde gebieden, waar nattere en wat minder zure plekken echt ontbreken, waardoor (relict)populaties van regenwormen ontbreken, zou dit in theorie anders kunnen zijn. De in dit onderzoek aangetroffen soorten regenwormen zijn echter vrij algemeen voorkomende soorten, mits de bodem niet langdurig zuurstofloos is en de zuurgraad boven pH 4 blijft.



Figuur 4.28. Aantallen miljoenpoten, pissebedden en regenwormen per m² uitgezet tegen de basenverzadiging en de pH van de bodem van de onderzoekslocaties van het Eiken-Haagbeukenbos.

Figure 4.28. Numbers of millipedes, woodlice and earthworms per m² plotted against the base saturation and soil pH of the study sites of the Stellario-Carpinetum woodlands.



Figuur 4.29. Aantallen miljoenpoten, pissebedden en regenwormen per m² uitgezet tegen de basenverzadiging en de pH van de bodem van de onderzoekslocaties van het Alno-Padion.

Figure 4.29. Numbers of millipedes, woodlice and earthworms per m² plotted against the base saturation and soil pH of the Alno-Padion research sites.

4.5 De nutriëntenkringloop als bepalende factor in de standplaatscondities

In deze paragraaf wordt eerst getracht om een goede beschrijving te maken van de nutriëntenkringloop in een Eiken-Haagbeukenbos op leembodem in pleistoceen Nederland. Dit wordt gedaan door vanuit de landschapsecologische context in te zoomen op de standplaatscondities. Vervolgens wordt geprobeerd de verschillen aan te wijzen in verwante bossystemen, met name het Vogelkers-Essenbos. Dit om ook een beeld te krijgen van de variaties in de nutriëntenkringloop en de betekenis van deze variaties voor de biodiversiteit van de leembossen in pleistoceen Nederland. Met dit beeld in het achterhoofd kan vervolgens beschreven worden hoe verdroging, verzuring en vermesting doorwerken in de nutriëntenkringloop, en daarmee in het hele ecosysteem. Tenslotte kan op grond van dit beeld worden aangegeven welke herstelstrategieën kunnen worden toegepast voor de verschillende degradatiestadia. Deze herstelstrategieën zijn mede afhankelijk van de landschapsecologische context.

De nutriëntenkringloop in een intacte situatie

In dit hypothetische referentiebos gaan we uit van een gemengde boomlaag waarin zowel soorten met "arm" strooisel als "rijk" strooisel aanwezig zijn. De bodem bestaat uit basenrijke, maar doorgaans niet kalkrijke leem. Het grondwater is matig tot goed gebufferd, ijzerhoudend en stijgt elke winter tot boven in de wortelzone.

In de herfst zijn de grondwaterstanden vrij laag en is de toplaag van de bodem licht uitgedroogd. De vers vallende bladeren worden snel verteerd. Voor wormen is de basenrijkdom in het strooisel van groot belang (Desie et al. 2020). In de door ons onderzochte vochtige bossen lijkt er voldoende strooiselafbraak te zijn zo lang er geen verzuring optreedt. Dat betekent dat hier ook de basenrijkdom de belangrijkste eigenschap is die de strooiselafbraak beïnvloedt. Dit onderstreept het belang van de aanwezigheid van rijk strooisel soorten. De boomlaag bestaat doorgaans uit een mengsel van bomen met arm en rijk strooisel. Vooral de bladeren van rijk strooisel soorten worden snel verwerkt. Regenwormen trekken de bladeren de grond in, eten ze op en scheiden een mengsel van leembodem en een organische restfractie uit, waarin de vrijgekomen nutriënten goed worden gebonden. Bovengronds worden hele bladeren vooral verteerd door taailingen (*Marasmius* spp.), waarna onder meer pissebedden zorgen voor een verdere versnippering en afbraak. In de bodem zijn vooral inktzwammen (*Coprinus* spp) en franjehoeden (*Psathyrella* spp.) actief. Ook is er zowel een hoge biomassa aan schimmels als bacteriën aanwezig, die een grote rol spelen bij de verdere afbraak van de fijne humus. Het eindresultaat is een snelle afbraak van strooisel en de vorming van stabiele (moeilijk verder afbreekbare) humus waarin ook veel voedingsstoffen zitten opgeslagen. De bomen fungeren als nutriëntenpomp en halen, met de hulp van mycorrhizapartners, fosfaat en andere nutriënten op uit diepere delen van de bodem. Maar de continue aanvoer van voedingsstoffen is in balans met de opslag van voedingsstoffen in de stabiele humusfractie, waardoor de bodem matig voedselarm blijft.

In de winter komt het grondwater tot boven in de wortelzone en voert calcium- en ijzerionen aan die mobiel fosfaat kunnen binden. Ook wordt de bodem zuurstofarm, waardoor ijzer uit de leem in oplossing kan gaan. De ondergroei maakt vroeg in het jaar gebruik van de goede lichtcondities als er nog geen of weinig blad aan de bomen zit. Ook bevat de zuurstofarme bodem waarschijnlijk meer opgelost fosfaat.

Gedurende de zomer vindt oppervlakkige uitdroging plaats. Hierdoor wordt fosfaat goed gebonden aan het in de winter aangevoerde of gemobiliseerde ijzer en calcium. Door aerobe afbraak van organisch materiaal en door oxidatieprocessen in de leem vindt enige verzuring plaats. In de loop van de zomer kan hierdoor weer wat fosfaat vrijkomen van ijzer en calcium. Er komt een gematigde hoeveelheid stikstof en fosfaat vrij uit strooiselafbraak, die snel wordt opgenomen door met name de bomen en hun mycorrhiza-partners. De mobiele fractie van fosfaat is zeer klein. Waarschijnlijk geldt dit ook voor nitraat indien er geen stikstofdepositie plaatsvindt.

De ondergroei is over een groot deel van de bosbodem kruidenrijk, waarbij de hogere planten voor hun voedingsstoffen afhankelijk zijn van de strooiselaanvoer en -afbraak. Op plekken waar wel strooisel wordt aangevoerd, maar dit snel wordt afgebroken, ontstaat een kale bodem die zeer geschikt is voor de verjonging van veel bosplanten die slechts enkele jaren oud worden zoals Bleeksporig bosviooltje, Slanke sleutelbloem, Gulden boterbloem en Heelkruid. Echter, wanneer de strooiselaanvoer structureel ontbreekt, of waar voedingsstoffen goed worden gebonden, is de kenmerkende bosflora doorgaans juist weinig ontwikkeld. Hier is wel een rijke mycoflora aanwezig en is ook een goed ontwikkeld mosdek aanwezig met vooral Fijn laddermos, Geplooid snavelmos (*Eurhynchium striatum*), Groot rimpelmos (*Atrichum undulatum*) of Gewoon sterrenmos (*Mnium hornum*). Dit zijn bijvoorbeeld boswallepjes, bosranden, randen van paden, lanen, plekken grenzend aan open water, kwelplekken en zeer ijzerrijke bodems. Deze plekken zijn te stikstofarm voor de meeste bosplanten, maar een soort die een voorkeur voor sommige van deze plekken heeft is Ruige veldbies (*Luzula pilosa*). Aan de andere kant zijn er ook relatief voedselrijke plekken, met bijvoorbeeld fosfaatrijke afzettingen of met extra veel strooiselophoping. Hier overheersen doorgaans eutrafente plantensoorten.

4.6 Effecten degradatiefactoren op nutriëntenkringloop

In totaal zijn 30 locaties geanalyseerd, die zijn verdeeld over de volgende categorieën:

- Intact Vogelkers-Essenbos en intact Eiken-Haagbeukenbos
- Locaties met een vegetatie die duidt op verdroogde varianten van deze vegetatietypen
- Locaties met een meer eutrafente vegetatie, vermoedelijk door de groei op voedselrijke (beek-)afzettingen
- Locaties gedomineerd door schietwilg of populier, met voedselrijk en makkelijk afbreekbaar blad
- Locaties gedomineerd door Zomereik, Amerikaanse eik, Beuk of Fijnspar, met basenarm en moeilijk afbreekbaar blad.

Na de selectie van de locaties bleken enkele locaties niet goed binnen de gekozen categorie te passen en zijn daarom verplaatst. Zo bleek het verdroogde Vogelkers-Essenbos in Voorstonden (VO VAP1) in de praktijk weinig verdroogd te zijn, op het hoogste deel van de rabat na. Deze is daarom verplaatst naar de categorie intact. Het plot in de Lemselermaten bleek verreweg de meest fosfaat- en ijzerrijke bodem te bezitten van alle plots. Deze zat in de categorie verdroogd Vogelkers-Essenbos, maar is vanwege het afwijkende karakter uit de analyse gelaten. De grote hoeveelheid ijzer-gebonden fosfaat bepaalt hier vrijwel volledig de fosfaatrijkdom, en die beschikbaarheid wordt sterk gestuurd door de hydrologie. Door de zeer droge omstandigheden was fosfaat op dat moment goed gebonden, maar in natte tijden is dit vermoedelijk juist niet zo. Een ander sterk afwijkend plot was het verdroogde Eiken-Haagbeukenbos in de Willinks Weust. Dit plot was inderdaad wat verdroogd, maar vanwege de kalk- en ijzerrijke bodem vertoont deze locatie een andere reactie op verdroging dan de overige locaties. Dit bostype komt in Nederland verder vrijwel alleen voor op krijthellingen in Zuid-Limburg, als Eiken-Haagbeukenbos met purperorchis (*Stellario-Carpinetum orchietosum*). Ook deze is buiten de analyse gelaten.

De bodemeigenschappen van de intacte locaties met Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos komen in grote mate overeen. Een matig hoog aluminiumgehalte (136-410 millimol/liter) bevestigt dat het gaat om leembodems. Deze zijn tevens vrij rijk aan ijzer, het totaal fosforgehalte is matig (8-15 millimol) en de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat is vrij laag (500-800 micromol/l). Afwijkend is het Vogelkers-Essenbos in het Ulvenhoutse bos. Hier is de bodem veel zandiger, wat tot uiting zou moeten komen door lagere gehalten aluminium en ijzer. Voor aluminium klopt dit, maar er is toch veel ijzer aanwezig. Ook hydrologisch gezien wijkt dit plot af, door het contact met een tamelijk dik watervoerend pakket die een vrij sterke kwel in stand houdt en waarschijnlijk ook

het ijzer heeft aangevoerd. De beschikbaarheid van nitraat is hier met gemiddeld 19 micromol/liter duidelijk lager dan in de 7 andere plots (98-315 micromol/liter). De sterke kweldruk betekende dat dit plot in de droge zomers het minste uitdroogde, de bodem had met 61% het hoogste vochtgehalte. Hierdoor bleef de denitrificatie waarschijnlijk goed op gang.

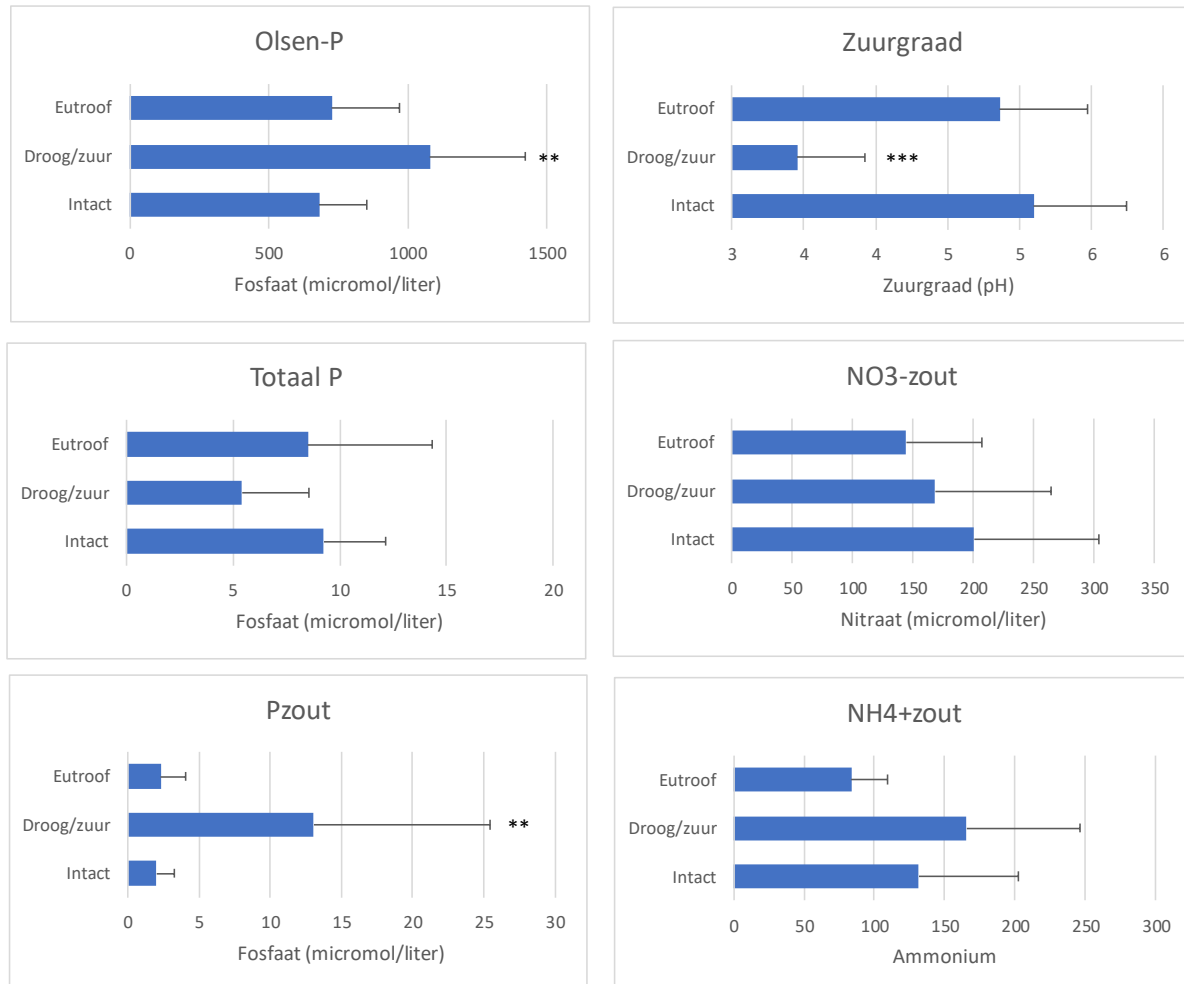
Verdroging had een sterk uiteenlopend effect op de geselecteerde locaties, wat vooral samenhang met de leemfractie, mate van buffering en ijzerrijkdom van de bodem. De locatie in Willinks Weust betrof een zware leembodem, getuige het hoge aluminiumgehalte van 525 millimol/liter. Verdroging heeft op deze locatie niet geleid tot veranderingen in de bodemchemie, althans niet ten opzichte van de referentiesituaties. Op zich een waardevol gegeven; het lijkt er op dat een sterk lemige, ijzerrijke bodem niet makkelijk verzuurt door verdroging. De andere verdroogde locaties vielen juist op door een (zeer) geringe leemfractie, afgeleid uit een aluminiumgehalte van slechts 16-145 millimol/liter. Dit maakt deze bodems bij verdroging erg gevoelig voor verzuring. Dit heeft dan ook overal plaatsgevonden, met de kanttekening dat de standplaatsen waarschijnlijk ook van oorsprong al wat zuurder waren. Waar de pH in de intacte situaties tussen 4,4 en 6,4 zit, is dit in de verdroogde varianten 3,1 tot 4,3. Deze verzuring gaat samen met een sterke mobilisatie van fosfaat (zie figuur 4.11). Opvallend is dat indien boomsoorten met basenarm strooisel dominant zijn, er eveneens verzuring en fosfaatmobilisatie optreedt. Maar ook is de nitraatbeschikbaarheid gemiddeld duidelijk lager.

De vier locaties die geselecteerd zijn omdat hier een eutrafente ondergroei aanwezig was omdat de bodem vermoedelijk van oorsprong fosfaatrijker was, blijken onderling erg te verschillen. De locaties langs de Snoeyinksbeek en in de Willinks Weust blijken geen fosfaatrijke bodem te hebben (6,3 resp 4,0 millimol totaal P/liter), beide anderen duidelijk wel (14,7 en 16,5 millimol totaal-P/liter). Ook merkwaardig was dat zowel de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat als de hoeveelheid mobiel fosfaat niet verschilde van die in de referentiesituaties. En de nitraatbeschikbaarheid was zelfs aan de lage kant. Vermoedelijk spelen de natte omstandigheden in de plots een rol; in de Snoeyinksbeek, de Willinks Weust en Bekendelle ging het om plots die lager lagen dan de intacte varianten. In natte perioden wordt vermoedelijk veel fosfaat mobiel (op de locaties met een hoge fosforvoorraad), of is er langdurig contact met fosfaat- en nitraatrijk beekwater. Door de droge omstandigheden hebben we dergelijke perioden met voedselrijkere omstandigheden waarschijnlijk gemist, en kan alle fosfaat weer snel aan ijzer gebonden worden. Dominantie van bomen met voedselrijk, makkelijk afbreekbaar strooisel gaat wel samen met een hogere beschikbaarheid van fosfaat, alhoewel het verschil minder duidelijk is dan bij verdroging en verzuring. De nitraatbeschikbaarheid in deze situatie is gemiddeld wat lager. In dat verband is het interessant dat onder de bramen nog tamelijk veel mycorrhiza-paddenstoelen aanwezig waren, met name vezelkoppen (*Inocybe* spp) en gordijnzwammen (*Cortinarius* spp) in de Scheeken en in Boskant.

Verzuring of eutrofiering (bijvoorbeeld met stikstof) van de bodem van uiteenlopende ecosystemen kan leiden tot veranderingen in de verhouding van schimmels versus bacteriën in een bodem. Een bacterie-gedomineerde bodem wordt doorgaans gevonden in verstoorde (omgewoelde) bodems met een hoge nutriënten beschikbaarheid, een basische of hooguit licht zure pH en weinig ophoping van organisch materiaal. Een schimmel gedomineerd systeem, daarentegen, komt vaak voor in weinig verstoorde (weinig omgewoelde), voedselarme bodems met een lage pH en ophoping van organisch materiaal (Van der Heijden et al., 2008). Het bodemtype bepaalt grotendeels of er daadwerkelijk verzuring plaatsvindt (Augusto & Ranger, 1998). Vooral kalkloze zandbodems hebben een beperkte mineralenreserve en een lage buffercapaciteit en zijn hiermee gevoelig voor verzuring.

Omdat het effect van verdroging vooral via verzuring lijkt te verlopen, en zuur strooisel ongeveer hetzelfde effect heeft, zijn deze groepen samengenomen voor een statistische analyse. Hetzelfde is gedaan voor de groep met eutrafente ondergroei en de groep met dominantie van wilg of populier. De statistische analyse laat zien dat er ook dan geen statistische verschillen zijn in de

beschikbaarheid van stikstof in de vorm van nitraat of ammonium, en dat de bodemchemie van eutrofe varianten niet significant verschilde van die van de intacte of eutrofe situatie (Figuur 4.30). Wel zijn er zeer significante verschillen tussen verzuurde en niet verzuurde situaties, allereerst in pH, maar ook heel duidelijk voor plant beschikbaar fosfaat en mobiel fosfaat.



Figuur 4.30. Gemiddelde waarden voor zes factoren, inclusief standaardafwijking, waarbij de onderzochte locaties zijn ingedeeld in drie groepen: 1) locaties met eutrofe beekafzettingen of dominantie van boomsoorten met voedselrijk, makkelijk afbreekbaar strooisel, 2) verdroogd Vogelkers-Essenbos, verdroogd Eiken-Haagbeukenbos of dominantie van bomen met basenarm, moeilijk afbreekbaar strooisel, en 3) locaties met intact Vogelkers-Essenbos of Eiken-Haagbeukenbos. De groep droog/zuur verschilt significant van de overige groepen indien aangegeven: ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,0001$ (Tukey-test na eenweg-ANOVA). Verder zijn er geen significante verschillen gevonden

Figure 4.30. Average values for 6 parameters, including standard error, for three groups of plots: 1) locations with eutrophication (as a consequence of nutrient rich river water or nutrient rich leaves), 2) locations with acidified topsoils due to drainage or poor litter quality (oak, beech, fir), 3) intact forests on base-rich soils. The acidified soils (droog/zuur) show significant differences from both other groups if indicated. ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$ (results Tukey Post-hoc test following one-way Anova).

Invloed van stikstofdepositie

Stikstofdepositie leidt ertoe dat er meer stikstof in de biomassa zit, en er dus ook meer stikstof vrij komt. Daarnaast zorgt de depositie zelf ervoor dat er permanent een stikstoffractie wordt aangevoerd die direct opneembaar is. Door stikstofdepositie wordt in eerste instantie vooral het

bodemleven aangetast. Uit de resultaten blijkt dat stikstof een negatieve invloed heeft op de schimmel-biomassa. Ook blijkt heel duidelijk een effect op de diversiteit in paddenstoelen, met name mycorrhiza paddenstoelen, met als resultaat dat veel mycorrhiza-paddenstoelen zich teruggetrokken hebben naar de meest strooiselarme plekken. De vele honderden soorten die echt gevoelig zijn voor stikstofdepositie zijn helemaal verdwenen. Hogere planten kennen gemiddeld een veel hogere tolerantiegrens voor stikstof zo lang oplosbaar fosfaat limiterend blijft. Alleen in de bosranden, waar de depositie veel hoger is, is alleen deze stikstoftoevoer in staat om een flinke verruiging te veroorzaken. Ook is de tijdelijke verruiging die gepaard gaat met het ontstaan van gaten in het kronendak sterker en houdt langer aan. Dit geeft aan dat op te stikstofrijk geworden bodems schaduwwerking belangrijk is om ruigtekruiden te onderdrukken. Stikstof mijddende zoomplanten, zoals Zwartblauwe rapunzel, Echte guldenroede en Knollathyrus zijn hierdoor zeldzaam geworden.

Subtieler is het effect op de kenmerkende kruidlaag dieper in het bos. Veel soorten hebben een vrij hoge tolerantiegrens en kunnen zich handhaven zo lang met name fosfaat de groei limiterende voedingsstof blijft en/of licht de limiterende factor is. Maar ook hier is het waarschijnlijk dat de minst stikstof tolerante soorten onder druk staan als gevolg van concurrentie met soorten die beter van het verhoogde stikstofaanbod kunnen profiteren.

Invloed van zuurdepositie

Met name de zwavelzuurdepositie in het verleden had een sterk verzurende werking. Verzuring trad vooral op wanneer ook andere verzurende factoren aanwezig waren, zoals dominantie van arm strooisel soorten, onvoldoende basenaanvulling uit het grondwater of een relatief basenarme (zandige) ondergrond. Een cruciale rol speelt hierbij het omslagpunt van een goede strooiselafbraak met mull- of moderprofielen naar de vorming van een ecto-organische laag met een mor-humusprofiel. Die vindt plaats wanneer de zuurgraad in de toplaag zakt beneden pH-water 4,5 – 5 (pH zout 3,5 – 4). Wanneer deze omslag eenmaal heeft plaatsgevonden, is herstel naar een basenrijkere toestand zeer moeilijk. De nog altijd voortdurende verzuring als gevolg van stikstofdepositie vormt hierbij een extra hobbel.

Deze omslag heeft een zeer grote invloed op de soortenrijkdom binnen veel taxonomische groepen. De meeste grotere bodemfauna gaat sterk achteruit, zoals wormen en geleedpotigen. De biomassa van schimmels en bacteriën gaat achteruit en de soortensamenstelling binnen deze groepen verandert sterk. Bovengronds zien we bijvoorbeeld satijnzwammen, wasplaten, aardtongen, franjehoeden en inktzwammen sterk afnemen, terwijl binnen de ecto-mycorrhiza paddenstoelen grote verschuivingen in soorten optreden. De moslaag verdwijnt onder een bladlaag, of er ontwikkelt zich een nieuwe moslaag boven op het afbrekende strooisel. Dit laatste gebeurt vooral op naaldstrooisel, in vochtige bossen meest van Fijnspaar. Naalden van sparren en ook Lariks (*Larix* spp.) zijn klein genoeg om uiteindelijk vooral in de gaten tussen plukken mos te vallen en niet er bovenop te blijven liggen. Hogere planten krijgen te maken met een uiterst zure strooisellaag, met nog wel een redelijke voorraad kationen die met het strooisel zijn aangevoerd. Aangezien deze laag doorgaans goed doorworteld is, is het waarschijnlijk dat planten hier hun kationen vandaan halen. En daaronder een minder zure, maar zeer sterk uitgeloopte minerale toplaag met een basenverzadiging van 30% of lager.

De verzuring heeft ook invloed op de fosfaatbeschikbaarheid. Aanvankelijk komt fosfaat vrij door verminderde binding aan calcium en ijzer. Op langere termijn kan er ook weer veel van dit vrijgekomen fosfaat gebonden worden aan het dan veel aanwezige, opgeloste aluminium. De combinatie van stikstofdepositie en verzuring leidt gemakkelijk tot verruiging, waarbij met name bramen en grassen dominant kunnen worden, en op dikke strooisellagen of verdrogende, moerige bodem ook stekelvarens.

De funeste invloed van de combinatie van stikstofdepositie en verzuring is het minst groot op plekken waar de invloed van basenhoudend grondwater nog intact is, en op zeer basen- of ijzerrijke bodems. Verdroging leidt tot de hierboven beschreven verzuring, fosfaatmobilisatie en uiteindelijk verruiging.

Voedselrijke beekafzettingen/bodembewerking & bosbemesting in het verleden.

In beekdalen wordt continu vers sediment afgezet door de beek. Meestal stromen deze beken ook door landbouwgebied en/of stedelijk gebied; in de loop der tijd is de belasting met fosfaat, sulfaat en stikstofrijk organisch materiaal hier flink toegenomen. Door gedaalde grondwaterstanden is de kwel afgenomen en daarmee ook de aanvoer van ijzer en basen. Ook is het grondwater vaak sterk belast met fosfaat, sulfaat en/of nitraat. Dit betekent dat de samenstelling van het slib sterk veranderd is; het is rijker aan stikstof en fosfaat geworden en er is veel minder ijzer om fosfaat te binden, ook al omdat dit ijzer veel sterker bezet is met zwavel (uit sulfaat). Op vers slib is vaak een sterke verruiging zichtbaar, omdat hier nog veel stikstof in aanwezig is. Veel beeklopen worden tegenwoordig begeleid door een lint van Grote brandnetel, Zevenblad, Rietgras en de nodige exoten (duizendknopen, balsemien). Na verloop van tijd verdwijnt de meeste stikstof indien er geen overstroming meer plaatsvindt. Maar ook op oudere, vermeste beekafzettingen zijn de gevolgen duidelijk zichtbaar. Met de huidige stikstofdepositie wordt verruiging vooral voorkomen door een verminderde beschikbaarheid van fosfaat, maar juist die fosfaatbeschikbaarheid is in deze vermeste sedimenten permanent verhoogd. Op de oudere sedimenten domineren vaak Rietgras, Gewone hennepnetel en Gestreepte witbol. Het moge duidelijk zijn dat ook de mosflora en mycoflora hier weinig om het lijf heeft. De hogere voedselrijkdom kon in twee van de vier plots wel gemeten worden als een veel hogere fosforvoorraad dan in de plots in het intacte Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos, maar de beschikbaarheid van makkelijk oplosbaar fosfaat was gemiddeld zelfs lager dan in deze intacte leembossen. Vermoedelijk is dit het effect van de drie droge jaren, waardoor de fosfaatcyclus juist op de natte, normaal wat eutrofe plekken is gaan lijken op de referentiesituatie.

Veel van de beschreven effecten gaan ook op voor bemestingen die in het verleden hebben plaatsgevonden, vooral bij bosaanplant op heiden en stuifzanden die zich hebben ontwikkeld tot basenarme, vochtige bossen. Vaak is hier voorafgaande aan het planten van jonge bomen de bodem omgewerkt en/of bemest. Het omwerken heeft al tot gevolg dat zich dieper in de bodem een voedselrijke laag bevindt. Bij bijkomende bemesting worden de effecten nog duidelijker; vooral het aanbrengen van kunstmest, compost en organische mest blijft nog heel lang een vermestend effect houden op de vegetatie (Ozinga e.a., 2003). In vochtig bos hebben dergelijke bemestingen veel minder plaatsgevonden, mede omdat deze bodems van oorsprong al wat voedselrijker zijn.

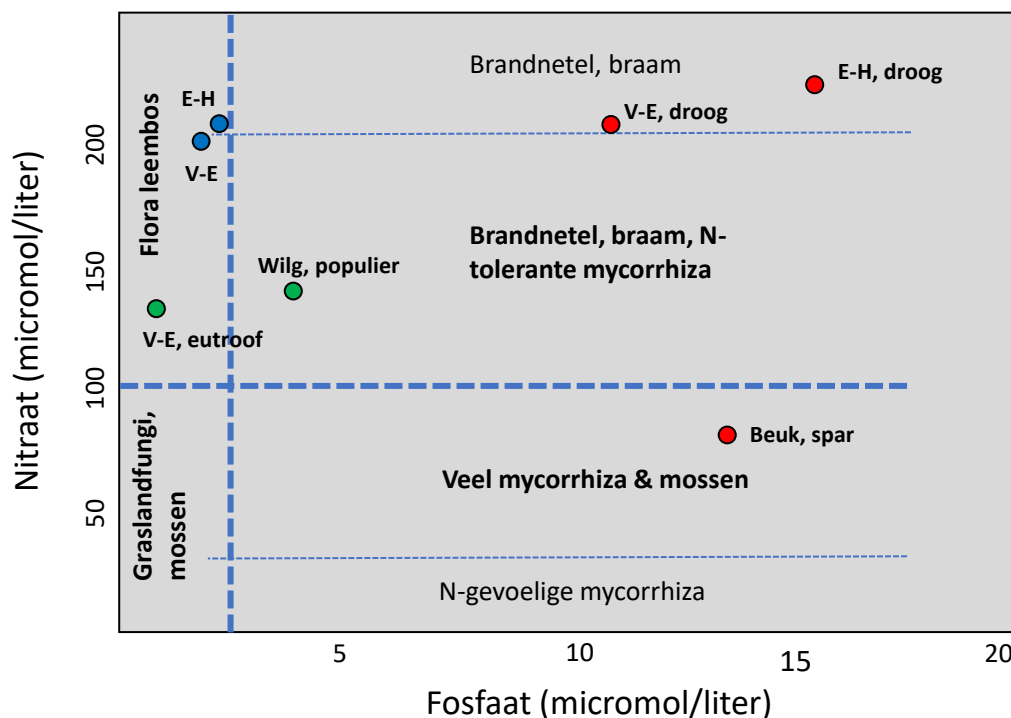
Veranderingen in strooiseltype

Goed ontwikkelde Vogelkers-Essenbossen en Eiken-Haagbeukenbossen hebben een boomsoortensamenstelling die gemiddeld matig basen- en nutriëntenrijk strooisel levert. Wanneer het strooisel gemiddeld te basen- en nutriëntenarm is, of juist erg basen- en nutriëntenrijk, treden al snel ongewenste effecten op. Dominantie van arm strooisel soorten draagt sterk bij aan de effecten die hierboven onder het kopje verzuring zijn beschreven. Dominantie van Canadapopulier en Schietwilg, de soorten met het rijkste strooisel, kan helpen om verzuring op lemige bodems te voorkomen maar heeft vaak ook een verruigend effect. Het fosfaatrijke, goed afbreekbare strooisel zorgt vooral op minder ijzerrijke (leemrijke) bodems voor een te hoge fosfaatbeschikbaarheid. In combinatie met de hoge stikstofdepositie en de relatief lichte omstandigheden onder deze bomen, kan zich een gesloten dek van met name bramen ontwikkelen. Opvallend is dat in enkele sterk lemige referentielocaties onder zo'n bramendek nog wel tamelijk veel mycorrhiza-paddenstoelen zijn aangetroffen en ook relatief lage nitraatgehalten zijn gemeten.

Verdroging

Verdroging is de vorm van degradatie die de meest verstrekkende gevolgen heeft. Doordat het grondwater niet meer de calciumvoorraden in de toplaag kan aanvullen, ontstaat verzuring met de hierboven beschreven gevolgen. Deze verzuring leidt tot fosfaatmobilisatie, die nog versterkt wordt doordat er geen grondwater meer is dat ijzer aanvoert en daarmee fosfaat kan binden. In combinatie met stikstofdepositie treedt doorgaans sterke verruiging op. Ook is het effect afhankelijk van de boomlaag; onder arm strooisel soorten overheersen de effecten van verzuring, onder rijk strooisel soorten de effecten van vermesting.

Verdroging heeft ook directe effecten: vochtminnende soorten verdwijnen door lagere grondwaterstanden en door een droger microklimaat. De dikte van de doorluchte zone die geschikt is voor boomwortels wordt groter, waardoor extra voedingsstoffen beschikbaar komen. Ook neemt de dénitrificatie, die in natte tijden en/of plekken optreedt, snel af bij verdroging. De natuurlijke afwisseling van natte, vochtige en droge plekken neemt sterk af en uiteindelijk blijven alleen de droge plekken over. In Eiken-Haagbeukenbos in het Bentheimerwald bijvoorbeeld ontwikkelt zich onder invloed van basenrijk grondwater in de wortelzone een mull (in overeenstemming met wat je zou verwachten op zo'n basenrijke standplaats), maar na een droog jaar met onvoldoende afbraak van bladeren trad oppervlakkige verzuring op, waarna het profiel zich geleidelijk in de richting van een moder ontwikkelde (Veerkamp 2005).



Figuur 4.31. Schematisch verband tussen de hoeveelheid makkelijk oplosbare voedingsstoffen (fosfaat en nitraat in een NaCl-extract) en de samenstelling van de ondergroei in leembossen, onder de huidige stikstofdepositie. De stippellijnen geven grenswaarden tussen de verschillende typen ondergroei aan. Ook zijn de gemiddelde waarden van de 7 onderzochte typen bos weergegeven. V-E = Vogelkers-Essenbos, E-H = Eiken-Haagbeukenbos. Eutroof = Verruigd Vogelkers-Essenbos op vermoedelijk fosfaatrijke afzettingen. Wilg, Populier = leembos gedomineerd door deze bomen met voedselrijk, makkelijk afbreekbaar strooisel. Beuk, spar = leembos gedomineerd door boomsoorten met basenarm, moeilijk afbreekbaar strooisel (inclusief eik).

Figure 4.31. Schematic correlation between readily available phosphate and nitrate (in a NaCl-extract), and the composition of flora and fungi on the forest floor, under the current nitrogen deposition. Dotted lines indicate critical values for the distinction between the different types of undergrowth. The coloured dots represent the 7 forest types in this study: intact forests (blue dots), acidified forests (red dots) and eutrophied forest (green dots).

De relatie tussen de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem en de samenstelling van flora en fungi is samengevat in Figuur 4.31. Fosfor is gemeten als totale fosforvoorraad (zure destructie), als hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat (NaHCO₃ extract, Olsen-P) en als mobiel fosfaat (NaCl extract). Voor fosfaat blijkt een vrij duidelijke grenswaarde aanwezig te zijn die de

samenstelling van de ondergroei bepaalt. Bij een Olsen-P waarde van 500-800 micromol/liter is een goed ontwikkelde ondergroei aangetroffen. Tevens is er dan nauwelijks mobiel fosfaat aanwezig, minder dan ongeveer 2,5 micromol/liter. Voor nitraat is er minder duidelijk sprake van een grenswaarde en bovendien wordt dit beeld sterk bepaald door de hoge stikstofdepositie. Dit heeft ervoor gezorgd dat stikstofgevoelige mycorrhiza-paddenstoelen al lang uit de leembossen verdwenen zijn. Een nog tamelijk rijke mycoflora komt nu alleen nog voor op locaties waar nauwelijks strooisel blijft liggen en de nitraatconcentratie beneden ongeveer 100 micromol per liter blijft. Opvallend is dat op deze plekken wel vaak een goed ontwikkelde moslaag aanwezig was, maar geen ondergroei van kenmerkende bosplanten. Mogelijk is de bodem te voedselarm voor deze bosplanten, of kunnen ze op voedselarme bodem de concurrentie niet aan met mossen, boomwortels en hun mycorrhiza-partners. Hierin zou de lage stikstofbeschikbaarheid een rol kunnen spelen, maar dat geldt voor ook andere voedingsstoffen die in het strooisel zitten. De hoeveelheid licht is niet minder dan in bossen met een kruidenrijke ondergroei.

Op grond van de grenswaarden kunnen grofweg 4 typen ondergroei onderscheiden worden, althans zo lang er voldoende licht op de bodem valt (figuur 4.31).

1) Onder voedselrijke omstandigheden, meer dan 200 micromol nitraat én meer dan 2,5 micromol fosfaat per liter, domineren ruigtekruiden. Dit zijn meestal bramen of Grote brandnetel, maar onder meer ook Rietgras, Gewone hennepnetel, Gestreepte witbol, Zevenblad, Kleefkruid, Gewoon speenkruid en Dagkoekoeksbloem kunnen abundant aanwezig zijn. Ook exoten als Bonte gele dovenetel en Japanse duizendknoop vormen hier vaak haarden, en kunnen zich vervolgens over voedselarmere bodems uitbreiden. De mosflora beperkt zich doorgaans tot Gewoon dikkopmos en Fijn laddermos, op zure plekken ook wel Gewoon haakmos en Groot laddermos. Er zijn slechts enkele zeer stikstofolerante mycorrhiza-paddenstoelen aanwezig.

2) Op sommige locaties is relatief weinig nitraat aanwezig. Dat kan een gevolg zijn van het verdwijnen van strooisel (steilkanten, padranden, windgevoelige plekken), van natte omstandigheden met een goede denitrificatie of van een combinatie van basenarm, vrij stikstofarm strooisel en een niet te zure bodem. Hier zijn relatief veel mycorrhiza-paddenstoelen aanwezig.

3) Fosfaat kan goed gebonden worden aan stabiele humus of aan ijzer en calcium. Dit is het geval op basenrijke, ijzerrijke leembodems en op locaties met invloed van gebufferd, ijzerhoudend grondwater. Door de constante strooiselaanvoer blijft de beschikbaarheid van nitraat vrij hoog. Door fosfaatlimitatie wordt de verzuiging onderdrukt en kan de kenmerkende bosflora zich ontwikkelen. Mogelijk missen er wel soorten die ook nitraatarme bodems prefereren.

4) Hier en daar zijn in leembossen nog plekjes aanwezig waar zowel fosfaat goed gebonden wordt en de nitraatbeschikbaarheid laag is. Meestal gaat het om relatief natte plekken in leembossen, met een grote grondwaterinvloed. Fosfaat wordt hier het beste gebonden aan ijzer en de denitrificatie werkt hier relatief goed. Ook gaat het vaak om locaties met greppels, waarbij veel strooisel in de greppels eindigt en de rabatten strooisel- en stikstofarm zijn. De grondwaterinvloed is door de greppels wel afgenomen, maar door de grondwaterinvloed in het verleden is de bodem vaak nog ijzerrijk, en dus goed in staat om fosfaat te binden. Zo lang er geen extern fosfaat wordt aangevoerd kan de fosfaatbinding vele tientallen jaren in stand blijven. Hier kan een mycoflora worden gevonden die doorgaans in graslanden aanwezig is, maar na goed zoeken ook in vrijwel alle leembossen in enige mate is aangetroffen. Het gaat om wasplaten (*Hygrocybe* spp), satijnzwammen (*Entoloma* spp), aardtongen (*Geoglossum* spp.), knotszwammen (*Clavulinopsis*, *Clavaria*) en koraalzwammen (*Ramariopsis*). Bekende voorbeelden zijn het Coovels bos bij Helmond (Lammers et al, 2005) en de Kleibosch bij Roden (Arnolds et al., 2015).

De metingen aan de bodemchemie op de referentielocaties en de overige hierbij betrokken data laten zien dat verschillende delen van de ondergroei anders reageren op vermisting. De mycorrhiza-paddenstoelen zijn het meest gevoelig voor stikstof en met de huidige stikstofdepositie blijft alleen een vrij kleine groep van relatief ongevoelige soorten over. De hogere planten kunnen zich daarentegen vrij goed handhaven bij vrij hoge nitraatgehalten, zo lang de beschikbaarheid van fosfaat beperkt is. Bij verdroging vindt verzuring van de toplaag plaats, waarbij vorming van een

zure, ecto-organische laag gaat plaatsvinden. Een belangrijke vraag voor het verrichte onderzoek is de volgende:

Gaat er vermesting en verzuiging optreden indien de standplaats weer hersteld wordt door verhoging van het aandeel bomen met basenrijk strooisel, of door herstel van de hydrologie?

De mate van vermesting lijkt vooral af te hangen van de mate waarin fosfor-limitatie in stand kan worden gehouden. Herstel van meer basenrijke omstandigheden zal bij voldoende herstel leiden tot herstel van de oorspronkelijke snelheid van humusafbraak. Dit leidt in eerste instantie tot het vrijkomen van meer voedingsstoffen, waarbij de verwachting is dat vooral fosfaat bepalend zal zijn voor de mate van verzuiging. Aan de ene kant komt fosfaat vrij door decompositie, aan de andere kant kan fosfaat gebonden worden aan ijzer en calcium dat of nog in de bodem aanwezig is, of met grondwater wordt aangevoerd. Met andere woorden, de verhouding tussen de dikte van de te verteren humuslaag enerzijds en de leemrijkdom en grondwatervoeding anderzijds, zullen in hoofdzaak bepalen of ruigtekruiden dominant gaan worden. Deze verzuiging kan worden onderdrukt door de kroonlaag zo veel mogelijk gesloten te houden.

Voor de mycorrhiza-paddenstoelen lijken de korte termijn vooruitzichten na hydrologisch herstel minder gunstig. Dit om verschillende redenen:

- De atmosferische stikstofdepositie is te hoog om meer dan alleen de relatief stikstof tolerante soorten te kunnen verwachten
- Door de buffering zal een verschuiving van ammonium naar nitraat optreden, en vooral met het nitraatgehalte is een negatieve correlatie vastgesteld
- Bij de afbraak komt extra stikstof vrij, waardoor de kansen voor mycorrhiza-paddenstoelen verder afnemen.

Wellicht kan de mycoflora zich enigszins herstellen als de ecto-organische laag geheel is afgebroken, de stikstofnalevering weer terugzakt naar het oorspronkelijke niveau van voor de verzuring en er door de basenrijkere en nattere omstandigheden wellicht meer dénitrificatie gaat optreden. Deze verwachtingen zullen verder worden onderzocht in het transplantatie-experiment.

De grootste gevolgen voor de nutriëntenkringloop als gevolg van verzuring, vermesting en verdroging, lijken de volgende te zijn:

- De effecten van verdroging zijn afhankelijk van de uitgangssituatie:
 - o Op leem- en basenrijke bodem met weinig grondwaterinvloed zijn de gevolgen beperkt, zolang er geen verzuring en strooiselaccumulatie optreedt
 - o Verdroging van langdurig natte plekken remt de stikstofafvoer via denitrificatie, en kan dus leiden tot hogere nitraatgehalten. In het eerste groeiseizoen wordt fosfaat beter gebonden door binding aan geoxideerd ijzer. Maar bij langduriger ontbreken van de aanvoer van ijzer- en calciumhoudend grondwater vindt ook fosfaatmobilisatie plaats door verzuring en ijzeruitputting.
 - o Vooral op leemarmere bodems leidt verdroging tot verzuring, fosfaatmobilisatie en hierdoor verzuiging
- Zowel uitspoeling van het teveel aan nitraat uit de bosbodem als vervuiling van het grondwater met nitraat en sulfaat hebben tot gevolg dat ijzer neerslaat (onder invloed van nitraat) of gebonden wordt (onder invloed van sulfaat). Door de afnemende beschikbaarheid van ijzer wordt fosfaat minder goed gebonden en de verzuiging gestimuleerd.
- Aanwezigheid van bomen met basenarm strooisel versnellen de verzuring, en hiermee ook de fosfaatmobilisatie en verzuiging. Wel is op nog niet sterk verzuurde bodems de nitraatbeschikbaarheid relatief laag, wat gunstig is voor mycorrhiza-paddenstoelen. Enige verzuring door bomen die ectomycorrhiza vormen kan in dat opzicht ook positief uitpakken.
- Aanwezigheid van fosfaatrijke afzettingen leiden doorgaans tot verzuiging, vooral in natte perioden wordt vermoedelijk fosfaat gemobiliseerd. De periodiek hogere

fosfaatbeschikbaarheid leidt tot verzuuring. Ook overstromingen met veelal fosfaat- en stikstofrijk water leiden tot periodiek hogere beschikbaarheden van voedingsstoffen en permanente verzuuring. Vanwege de droogte in de onderzoeksperiode kon deze periodieke mobilisatie van voedingsstoffen niet worden gemeten.

- Wilg en populier hebben hoge gehalten aan zowel basische kationen als voedingsstoffen in het blad, en de bladeren breken snel af. Dit leidt tot een verhoging van de fosfaatbeschikbaarheid, en hierdoor verzuuring. De nitraatbeschikbaarheid lijkt juist wat te dalen, wat een gunstig effect heeft op de mycorrhiza-paddenstoelen.
- Momenteel is in alle vochtige bossen de beschikbaarheid van nitraat hoog. Het is niet duidelijk in welke mate dit het gevolg is van stikstofdepositie. Alleen op zeer zure plekken is stikstof vaak niet als nitraat maar als ammonium aanwezig. En op de natste plekken is nitraat laag door een snelle denitrificatie.

5 Strooiselophoping en herstelbeheer: een transplantatie-experiment

De meeste gedegradeerde vochtige bossen hebben te maken met een omslag van goed verterende humus naar slecht verterende humus, en daarmee het ontstaan van een dikke laag strooisel en slecht verteerde humus. Dit kan direct het gevolg zijn van verzurende depositie, maar vaker zijn de verminderde invloed van gebufferd grondwater (verdroging) of een kroonlaag waarin bomen met slecht afbreekbaar strooisel domineren de belangrijkste oorzaken. De slechte vertering betekent als het ware een soort kortsluiting in de kringloop van voedingsstoffen: door de trage strooiselafbraak vindt ophoping van voedingsstoffen plaats in de humuslaag.

Deze vertraagde strooiselafbraak kan weer op gang gebracht worden door de buffering en basenrijkdom in de humuslaag te verbeteren. Experimenten met het uitstrooien van kalk in verzuurde bossen op kalkarm zand laten zien dat hiermee de strooiselafbraak kan worden verbeterd, maar ook dat er verruiging op kan treden met bijvoorbeeld Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) of bramen (Bobbink e.a., 2019).

De aanplant van soorten met beter verteerbaar strooisel of het herstellen van de invloed van gebufferd grondwater hebben mede als doel om de kortsluiting in de nutriëntenkringloop te verhelpen door de strooiselafbraak weer op gang te brengen. Het is daarbij de vraag of dit ook in vochtig bos kan leiden tot een inhaaleffect in het vrijkomen van voedingsstoffen en daarmee tot de uitbreiding van ruigteplanten. Om een beter idee te krijgen van het antwoord op deze vraag is een transplantatie-experiment uitgevoerd: een laag zure, weinig afgebroken humus uit een verdroogd vochtig bos is afgeplagd en de plaggen zijn neergelegd op niet verdroogde en/of niet verzuurde locaties in vochtig bos. Van dit experiment wordt in het onderstaande verslag gedaan.

5.1 Opzet en uitvoer transplantatie-experiment

Op 10 januari 2020 is het experiment ingezet. Vanuit de donorlocatie in Achter de Voort zijn op 16 locaties verspreid over 4 verschillende terreinen plaggen met een zure humuslaag aangebracht.

De donorlocatie grensde aan het referentie-proefvlak AVVSC, dus het verdroogde Eiken-Haagbeukenbos in Achter de Voort, langs het kanaal Almelo-Nordhorn. Op deze locatie had zich op de zandbodem een ongeveer 5 cm dikke laag ruwe humus opgehoopt, met daar bovenop nog zo'n 2 centimeter bladstrooisel. De humuslaag was doorworteld met voornamelijk wortels van Zomereik. In de ondergroei waren vooral Bonte gele dovenetel (*Lamium galeobdolon* subsp. *argentatum*), Klimop en wat Witte klaverzuring en Grote muur aanwezig. De bodem is zandig, kalkloos, zuur (pH-zout 3,3) en bevat weinig totaal fosfor (5 mmol/liter). Niettemin is de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat hoog (1676 micromol/liter).

Met een schop is de ruwe humuslaag van de zandondergrond geschept; er was een vrij scherpe grens tussen de ruwe humus en de zandondergrond (figuur 5.1). De humuslaag is in plaggen van ongeveer 25 x 30 cm gestoken, waarbij soms ook tot 2 cm dikke boomwortels moesten worden doorgestoken. De plaggen zijn verzameld in kratjes. Vervolgens zijn de plaggen op 16 locaties teruggeplaatst op de daar aanwezige bosgrond (tabel 5.1). Per locatie zijn 16 plaggen van ongeveer 25 x 25 cm neergelegd, waarbij het totale oppervlak per locatie ongeveer 1 x 1,2 meter was. De plaggen zijn afgedekt met gaas en dit gaas is op elke hoek met tentharingen vastgezet in de ondergrond.



Figuur 5.1. *Locatie in Achter de Voort waar de plaggen voor het experiment zijn gestoken op 10 januari 2020.*

Figure 5.1. Donor-site for the experimental transplantation (januari 2020) of acidified ectorganic soil layers to more base rich conditions

De plaggen zijn op dezelfde dag teruggeplaatst in de plots in Achter de Voort. De overige plaggen zijn per bus meegenomen en de dag erop (Bekendelle, Snoeyinksbeek), of twee dagen later (Geelders) neergelegd.

Tabel 5.1. Gegevens van de 16 locaties waar plaggen zijn neergelegd. GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand.

Table 5.1. Some data from the 16 sites where ectorganic soil layers were introduced on the original woodland soil. GHG = average annual highest groundwater level.

Terrein	Type	X	Y	Humus (cm)	GHG (cm-MV)	Opmerking
Achter	Intact	257,165	489,011	2	+/- 15 cm	Bij AV-AP
de	Verdroogd	256,949	488,851	3	+/- 50 cm	
Voort	Verzuurd	257,025	488,839	3	+/- 10 cm	
	Zuur&droog	257,002	488,815	6	+/- 40 cm	Is ook donorlocatie!
Snoeyinks-	Intact	263,807	478,622	1	+/- 10 cm	Bij SN-AP
beek	Verdroogd	263,822	478,736	3	+/- 30 cm	Onder wilg
	Verzuurd	263,792	478,698	3	+/- 20 cm	Onder spar
	Zuur&droog	263,833	478,740	5	+/- 30 cm	Onder beuk
Bekendelle	Intact	245,561	440,210	3	+/- 20 cm	Bij BE-AP
	Verdroogd	245,572	440,203	5	> 1m	
	Verzuurd	245,501	440,144	5	+/- 20 cm	
	Zuur&droog	245,494	440,122	5	> 1m	
Geelders	Intact	154,256	399,784	1	+/- 20 cm	Bij Ge-SC1
	Verdroogd	154,277	399,816	2	+/- 60 cm	
	Verzuurd	153,913	399,990	5	+/- 40 cm	20 m van plot GE-ZU
	Zuur&droog	153,955	399,885	5	> 1m	Adelaarsvaren/beuk, bij greppel



Figuur 5.2. Net aangebrachte plaggen op een bestaande bosbodem (Achter de Voort, verzuurd), 10 januari 2020.

Figure 5.2. Transplanted topsoils in the site "Achter de Voort, acidified", januari 2020.

Helaas zijn enkele proefvlakken kort na het inrichten sterk verstoord. Bij de Snoeyinksbeek zijn bij het proefvlak op verzuurde bodem en bij het proefvlak op verdroogde bodem de afdekkingen met gaas verdwenen, ondanks dat deze vastgezet waren met tentharingen. Vermoedelijk hebben zwijnen de stukken gaas omhoog gewroet. Bij het verzuurde proefvlak zijn ook de plaggen niet meer teruggevonden, bij het verdroogde proefvlak waren deze op ongeveer de helft van het oppervlak nog aanwezig. Na een jaar is ook bij het proefvlak in de intacte vegetatie het gaas verdwenen. Ook hier was een deel van de plaggen nog terug te vinden.

De proefvlakken zijn op de volgende data bekeken voor de vegetatie en paddenstoelen:

- 19 oktober 2020 (Geelders)
- 3 november 2020 (Achter de Voort, Snoeyinksbeek, Bekendelle)
- 19 oktober 2021 (Geelders)
- 22 oktober 2021 (Achter de Voort, Snoeyinksbeek, Bekendelle)

Bodemmonsters zijn genomen op verschillende data in mei en november 2020, en in september 2021.

5.2 Vegetatie-ontwikkeling na transplantatie

Door de verplaatsing van de plaggen in de winter, was niet duidelijk wat de actuele begroeiing op de bosbodem was. In ieder geval waren Bonte gele dovenetel (*Lamium galeodolon subsp. argentatum*), Klimop (*Hedera helix*), Grote muur (*Stellaria holostea*) en Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*) aanwezig. Stukken met Bonte gele dovenetel zijn vermeden, om verspreiding van deze invasieve exoot te voorkomen. De soort is ook niet waargenomen in de herfst van 2020 en 2021, in de verplaatste plaggen. Dit met uitzondering van de plaggen die op dezelfde plek zijn teruggeplaatst (Achter de Voort verzuurd&verdroogd) en op een nabije locatie (Achter de Voort verdroogd). Hier was Bonte gele dovenetel al aanwezig en heeft de verplaatste plaggen gekoloniseerd.

Klimop is in vrijwel alle locaties waargenomen (tabel 5.2), wat duidt op het uitlopen van meegekomen wortelfragmenten. Ook Grote muur, Witte klaverzuring en Heideklauwtjesmos zijn op de meeste locaties waargenomen en zeer waarschijnlijk meegekomen met de verplaatste plaggen. Daarnaast vindt ook kolonisatie plaats vanuit de nieuwe locatie. De soorten die vrij hoge bedekkingen bereiken zijn meest soorten met wortelstokken of bovengrondse uitlopers, zoals Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*), bramen, Groot heksenkruid (*Circaea lutetiana*), Hondsdraf (*Glechoma hederacea*) en Penningkruid (*Lysimachia nummularia*). Deze soorten kunnen deels gebruik maken van nutriënten uit de verplaatste plaggen, maar ze wortelen ook buiten de plaggen (uitlopers) of er onder (wortelstokken). Ook sommige robuuste soorten weten zich door de plag heen naar boven te werken, zoals Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en IJle zegge (*Carex remota*). Daarnaast zijn er ook veel soorten die zich vanuit aangevoerde zaden vestigen. Voor de boomsoorten wordt min of meer de samenstelling van de kroonlaag weerspiegeld. Zo is in Bekendelle veel sprake van vestiging van Es en Hazelaar, in de Geelders van Zomereik, en vestigt zich in de Snoeyinksbeek Meidoorn (*Crataegus* spp.) en Wilde lijsterbes (*Sorbus aucuparia*). Ook soorten uit de kruidlaag vestigen zich al snel en zijn kennelijk in staat om op de dikke, zure humuslaag te kiemen. Dat geldt vermoedelijk voor Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*) langs de Snoeyinksbeek en Bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*) in Bekendelle. Op soortniveau zijn er geen duidelijke verschillen in behandelingen waargenomen die niet waren te herleiden tot verschillen in de vegetatie tussen de nieuwe locaties. Dit geldt ook voor de met de plaggen meegekomen soorten; de variatie tussen locaties was groot maar vertoonde geen duidelijke samenhang met verzuring of verdroging op de nieuwe locaties.

Op de plaggen zijn ook vruchtlichamen van paddenstoelen geteld. Op de donorlocatie waren een aantal grote strooiselafbrekers aanwezig, met name trechterzwammen (*Clitocybe* spp) die vaak in heksenkringen groeien. Deze zijn niet meer waargenomen op de verplaatste plaggen. Mogelijk heeft het deel van de zwamvlok dat met de plag meegekomen is dit niet overleefd. Wel zijn veel kleine strooiselafbrekers waargenomen die zich snel op nieuwe plekken kunnen vestigen, taailingen (*Marasmius* spp), knotsjes (*Typhula* spp.) en vooral veel mycena's (*Mycena* spp). Binnen deze groep was er geen invloed van de type nieuwe locatie merkbaar; er waren geen duidelijke verschillen tussen intacte, verdroogde en verzuurde plots. Wel zijn enkele zeer zeldzame, of althans heel weinig waargenomen, soorten genoteerd zoals Tonnetjesmycena (*Mycena picta*) en Kurketrekmycena (*Hemimycena tortuosa*). Onder de mycorrhizapaddenstoelen (tabel 5.2, laatste 6 soorten) valt de afwezigheid van deze groep op de plaggen op de intacte locaties op. De gevonden mycorrhizapaddenstoelen zijn vrijwel allemaal soorten van verzuurde bosbodems met een dikke humuslaag (mor-humus). Het ligt voor de hand dat deze soorten al in de humuslaag van de nieuwe locatie aanwezig waren, en hun mycelium opwaarts hebben uitgebreid in de plag. Op intacte locaties zijn vooral mycorrhiza-paddenstoelen aanwezig die in goed gemengde bodems leven (moder- en mull humusprofielen); deze breiden zich niet uit naar de plag met mor-humus.

Na twee jaar is de bedekking van de kruidlaag al niet veel lager meer dan rondom de nieuwe locatie, en ook de soortensamenstelling vertoont een vrij grote gelijkheid. Het lijkt er dus op dat de

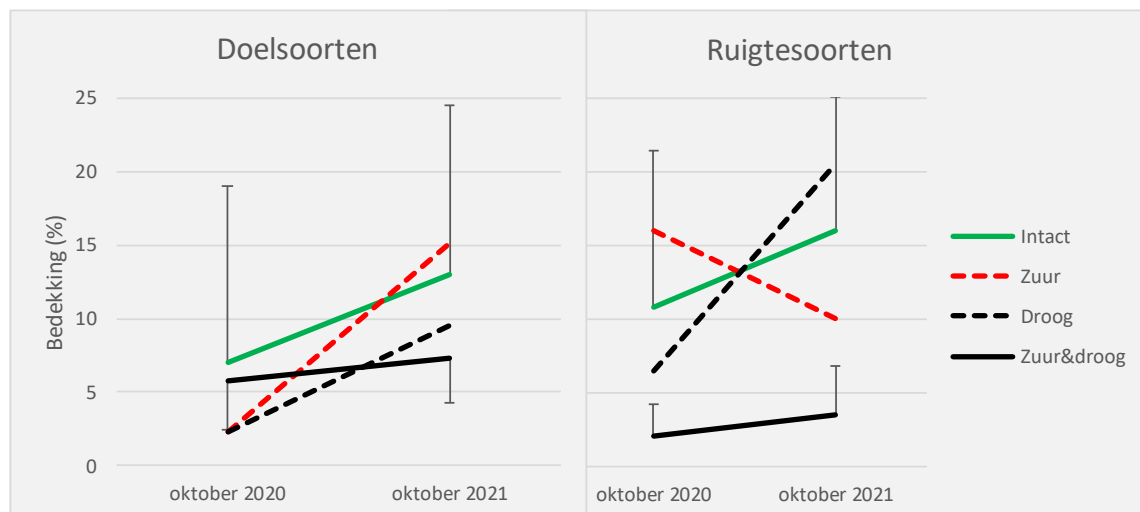
plaggen vrij snel onderdeel worden van de al aanwezige bosbodem. Na twee jaar waren de plaggen ook moeilijk meer af te grenzen van de al aanwezige vegetatie; er vindt geleidelijk aan menging plaats. Door de toch al sterk variërende dikte was het daarom niet mogelijk om een goede schatting te maken van de dikte van de plaggen, en of deze in de loop der tijd afnam. Ook is door de bemonstering voor bodemchemie en bodemleven uiteindelijk een aanzienlijk deel van de plaggen “verbruikt”. Op veel plekken was een deel van resterende plaggen op het oog nog even dik als bij het inzetten van het experiment.

	Geelders								Achter de Voort								Snoeyingsbeek						Bekendelle							
Planten (% bedekking)	Intact		Zuur		Droog		Zu&dr		Intact		Zuur		Droog		Zu&dr		Intact		Droog		Zu&dr		Intact		Zuur		Droog		Z&d	
	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	
Doelsoorten:																														
Circaea lutetiana									20		8		3				5	2					2							
Maianthemum bifolium				3																					1					
Oxalis acetosella	1										5	15	5	20	3	8	5	3									1	2		
Plagiomnium undulatum											1																			
Polytrichum formosum																				2	1	3								
Stellaria holostea					1	1	6	8							2	2	15	20			1	1	1	2	1	40	2	10	10	
Viola riviniana																							1	3						
Ruigtesoorten:																														
Agrostis spec.																	15		1											
Dryopteris dilatata													3	2				2												
Galium aparine														1																
Geranium robertianum									1					4												3				
Glechoma hederacea						10	10				30	15											10	15			3			
Hedera helix	1	3	3	2		60			20	20	1	5	3	3	5	3	2	1			2	2	10	5	2	2			1	
Poa trivialis										3																				
Rubus fruticosus			2								10	3		1					5		5									
Urtica dioica							1										1													
Overig:																														
Cardamine pratensis																							2	2						
Cardamine spec.																									1					
Carex remota																	2	2												
Corylus avellana (k)																							3	1		2		2		
Crataegus monogyna (k)																	1													
Dicranella spec.																				1										
Dryopteris spec.(k)																				1										
Fraxinus excelsior (k)																							3	5	1		1	1		
Geum urbanum									5				1				5	3												
Hedera helix (k)	1	<1			1																									
Hypnum jutlandicum	1	8	3	2			1	10	5		2		3	6					2		5					3				
Kindbergia praelonga										1											8									
Lamiastrum galeobd. arg.													1		2															
Lysimachia nummularia																	10	25												
Molinia caerulea																						2	3							
Pteridium aquilinum							2	10																						
Quercus robur (k)			2				1	2					1											1		1				
Sorbus aucuparia (k)																			1											
Fungi (aanwezigheid)																														
Ciboria pseudotuberosa	x	x	x		x		x		x		x		x						x											
Clavariadelphus junceus		x																						x						
Hemimycena tortuosa											x																			
Marasmius bulliardii							x																							
Marasmius minutus								x																						
Marasmius setosus																				x		x								
Mycena adscendens																			x											
Mycena capillaris																	x					x								x
Mycena cinerella											x		x		x						x		x			x				
Mycena filipes					x				x	x																				
Mycena galopus	x										x		x			x														
Mycena picta											x																			
Mycena polyadelpha																														
Mycena smithiana																														
Mycena speirea																														
Mycena vitilis	x		x						x		x		x		x								x			x				
Paecilomyces farinosus		x										x																		
Poculum sydow./petiol.					x			x																						
Pseudoboletus parasiticus																x														
Roridomyces rorida								x																						
Typhula erythropus												x																		
Typhula setipes sl					x																									
Alnicola escharoides																														
Laccaria amethystina																			x		x	x								x
Laccaria laccata													x	x																
Lactarius tabidus					x								x	x																
Scleroderma citrinum								x							x															
Xerocomellus pruinatus						x																								

Tabel 5.2. Vegetatie-ontwikkeling op de verplaatste humusplaggen. 20 = herfst 2020. 21 = herfst 2021. Zu&Dr = Verzuurde & verdroogde locatie.

Table 5.2. Plant growth and fructification of fungi on the transplanted soils. 20 = autumn 2020. 21 = autumn 2021. Zu&dr = acidified & drained locations.

De patronen in de vegetatie-ontwikkeling op de verplaatste humuslaag worden wat duidelijker wanneer groepen van indicatorsoorten worden bekeken. Twee groepen van soorten zijn geselecteerd; doelsoorten van de ondergroei van vochtige bossen en soorten die verruiging indiceren. De samenstelling van deze groepen staat in tabel 5.2. Op vrijwel alle locaties vindt een kolonisatie van de plaggen plaats, wat tot uiting komt in een toename van de bedekking met vegetatie. De bedekking van typische bossoorten neemt toe van ongeveer 5% aan het einde van het eerste groeiseizoen naar ongeveer 10% aan het einde van het tweede groeiseizoen (figuur 5.3). In vergelijking met de kolonisatie op intacte locaties, verloopt de kolonisatie langzamer op verzuurde & verdroogde locaties. De grote verschillen in bedekkingen in de verschillende gebieden geven tevens aan dat dit verschil niet statistisch significant is. Voor de ontwikkeling van soorten die verruiging indiceren is eenzelfde patroon zichtbaar (figuur 5.3, rechts). Hier blijft de ontwikkeling op de verzuurd & verdroogde locaties nog wat verder achter. Voor dit verschil zijn meerdere oorzaken aan te wijzen. Ten eerste heeft de vegetatie op de verdroogde locaties meer last gehad van de droge zomers, waardoor de groei getemperd is. Ten tweede zijn verzuurde locaties deels locaties met bomen die weinig licht doorlaten en daarmee slechts een ijle ondergroei mogelijk maken. Dit was het geval in Bekendelle (Beuk), Snoeyinksbeek (Beuk) en de Geelders (Amerikaanse eik). Daarnaast kan ook een verschil in beschikbaarheid van voedingsstoffen en een verschil in zuurgraad een rol hebben gespeeld, daar wordt in paragraaf 5.3 op in gegaan.

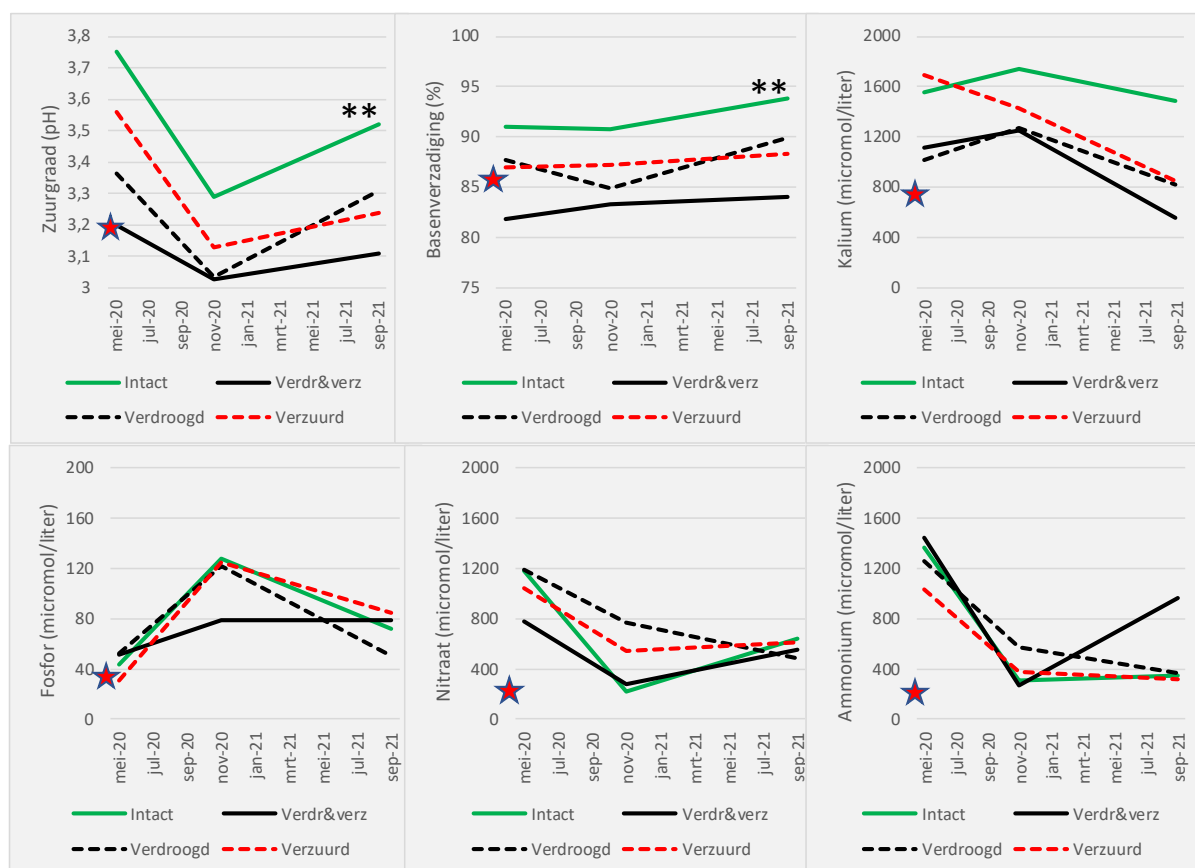


Figuur 5.3. Vegetatie-ontwikkeling op de in januari 2020 verplaatste plaggen met humusbodem. Voor doelsoorten en ruigtesoorten, zie tabel 5.2. Voor de intacte locaties en de verzuurde & verdroogde locaties is de standaarddeviatie weergegeven met foutbalken.

Figure 5.3. Colonisation of the transplanted soils by two groups of indicator species. Doelsoorten = characteristic woodland species. Ruigtesoorten = indicators for eutrophication. See table 5.2 for species composition. Error bars indicate the standard deviation for plots in intact forests and plots on acidified & drained locations.

5.3 Buffering en nutriëntenhuishouding na transplantatie

De donorlocatie grenst aan de locatie "Achter de Voort verdroogd Stellario-Carpinetum", die in 2019 is doorgemeten voor het referentie-onderzoek. Er is toen ook onderscheid gemaakt tussen de organische toplaag en de zandondergrond. Deze meting uit 2019 is dus min of meer representatief voor de samenstelling van de verplaatste plaggen. Op de nieuwe locatie zijn van de plaggen vervolgens op drie tijdstippen monsters genomen voor een zout-extract. Van deze zoutextracten hebben we dus 4 meet-tijdstippen. Deze zijn weergegeven in figuur 5.4.



Figuur 5.4. Samenstelling van de in januari 2020 verplaatste plaggen in de twee jaren die daarop volgen. De rode ster geeft de meting weer die is verricht in de humuslaag van het aangrenzende proefvlak uit het referentie-onderzoek in 2019. ** = verschil in september 2021 tussen plaggen in intacte situatie en op verzuurde & verdroogde bodem significant ($P < 0,01$)

Figure 5.4. Composition of the transplanted soils in the two years following transplantation. The red star indicates the composition before transplantation (in the reference site AV VSC).

Voor vrijwel alle parameters wordt een grote variatie gemeten, zowel tussen de 4 behandelingen, de individuele proefvlakken per behandeling, als tussen de 4 tijdstippen. Niettemin zijn er toch patronen te onderscheiden.

Het eerste dat opvalt is dat in de vier behandelingen ongeveer dezelfde ontwikkelingen plaatsvinden. In mei 2020 is er zeer veel ammonium en nitraat gemeten in de plaggen. Daarna vindt een flinke verzuring plaats, die gepaard gaat een piek in de fosfaatbeschikbaarheid. Daarna treedt weer enig herstel van de pH op en daalt de beschikbaarheid van fosfaat weer. Het is moeilijk om uit de drie tot vier meet-tijdstippen te kunnen vaststellen welke successievelijke processen er zijn opgetreden. Het meest waarschijnlijke is het volgende scenario:

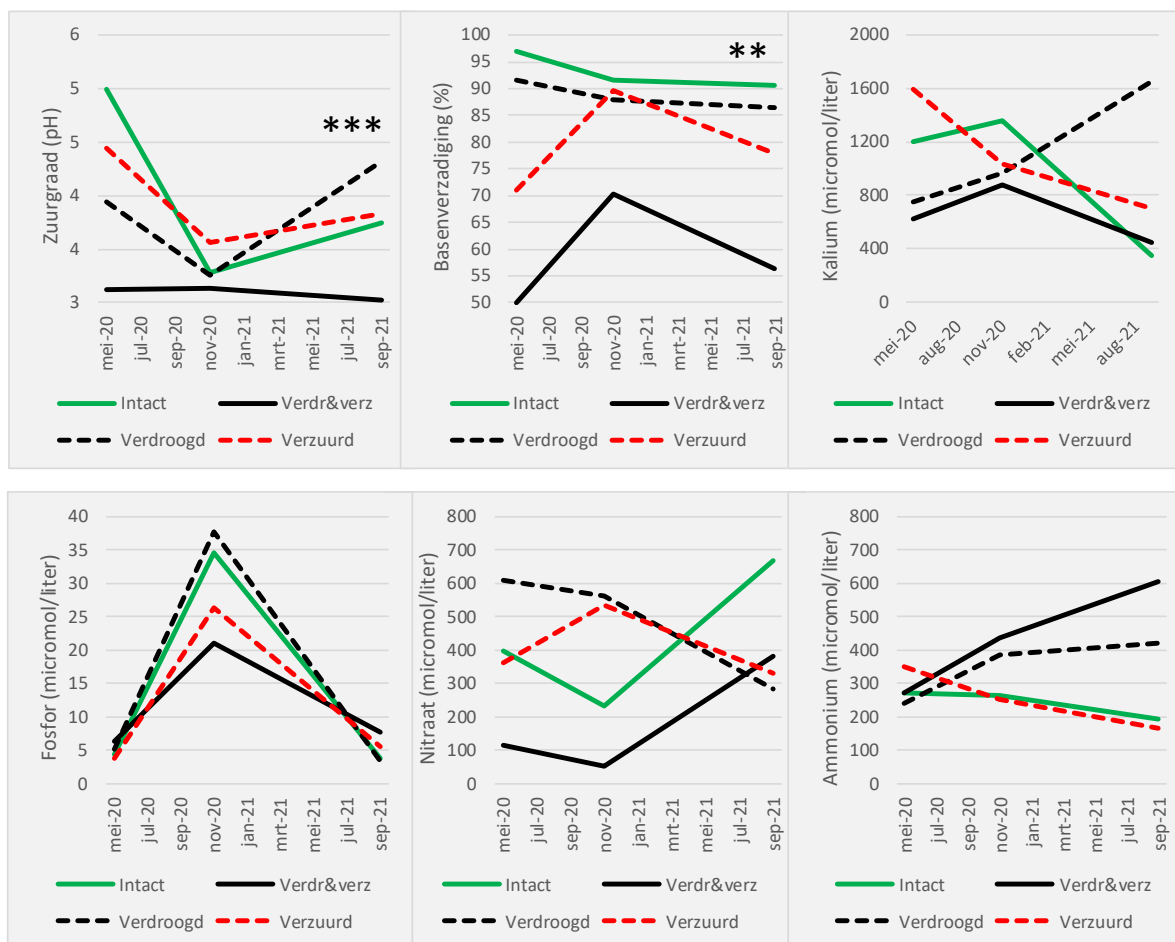
- De humuslaag is goed doorworteld door boomwortels, met bijbehorend bodemleven (ectomycorrhiza, bacteriën). Na het steken van de plaggen gaan deze wortels en het

daarbij horende bodemleven afsterven. Hierbij komt onder andere veel stikstof vrij, in de vorm van ammonium. Ook is er geen opnamen van nutriënten meer, omdat wortels en bodemleven zijn geïnactiveerd. In mei 2020 wordt een sterk toegenomen concentratie van zowel ammonium als nitraat gemeten. Dit nitraat is waarschijnlijk gevormd als gevolg van nitrificatie van ammonium. De fosforconcentratie was in 2019 al hoog, en lijkt niet verder toe te nemen.

- In november 2020 zijn de stikstofconcentraties al een flink stuk gedaald, maar nog steeds verhoogd. Het gevormde ammonium is grotendeels omgezet in nitraat en vervolgens uitgespoeld naar de ondergrond. Hierbij is veel zuur geproduceerd, wat leidt tot een daling van de pH. Ook zorgt deze verzuring voor verdere mobilisatie van fosfor tot gemiddeld 120 micromol/liter. Mogelijk is deze verzuring nog versterkt door de droge zomer. Deze processen treden het minst duidelijk op in de plaggen op al verzuurde en verdroogde bodem.
- In september 2021 treedt weer enige buffering op, behalve in de plaggen op verdroogde & verzuurde bodems. Dit leidt tevens weer tot enige daling van de concentratie uitwisselbaar fosfaat.

Op het laatste tijdstip is getoetst of er significante verschillen zijn ontstaan door de behandelingen. De situatie waarin de plaggen neergelegd zijn in een intact vochtig bos, is vergeleken met de plaggen die neergelegd zijn in een verzuurde plus verdroogde situatie. Dit vooral omdat hier de grootste contrasten in de resultaten te vinden zijn. Er is een t-toets gebruikt, waarbij eenzijdig is getoetst. Dit levert voor zuurgraad ($P = 0,001$) en basenverzadiging ($P = 0,002$) een zeer grote waarschijnlijkheid op van de hypothese dat plaatsing van de plaggen in een intacte situatie een betere buffering in de strooisellaag oplevert dan plaatsing in een verzuurde & verdroogde situatie. Voor het overige zijn alleen significante verschillen gevonden voor calcium ($P = 0,01$) en magnesium ($P = 0,0003$), dus niet voor ammonium, nitraat en fosfaat. Voor kalium is een bijna significant verschil ($P = 0,08$) gevonden.

In de bosbodem waar de plaggen op gelegd zijn, is in mei 2020 alleen een verhoogd nitraatgehalte gemeten (figuur 5.5). Dit zal het gevolg zijn van nitraatuitspoeling van de plag die er op ligt. De ammoniumwaarden zijn niet verhoogd; ammonium spoelt ook niet makkelijk uit de toplaag. De zuurgraad laat in mei 2020 nog een mooie spreiding zien van een lage pH op de verzuurde & verdroogde bodems naar een tamelijk hoge pH in de intacte bosbodems. In november 2020 vindt overal een sterke verzuring plaats, die ook hier gepaard gaat met mobilisatie van fosfaat. In september 2021 herstelt de zuurgraad zich min of meer en ook fosfaat wordt weer vastgelegd. De concentratie uitwisselbaar fosfaat daalt ook tot veel lagere waarden dan in de plag er boven; bij waarden onder de 5 micromol/liter begint fosfaat ook duidelijk limiterend te worden voor de plantengroei.

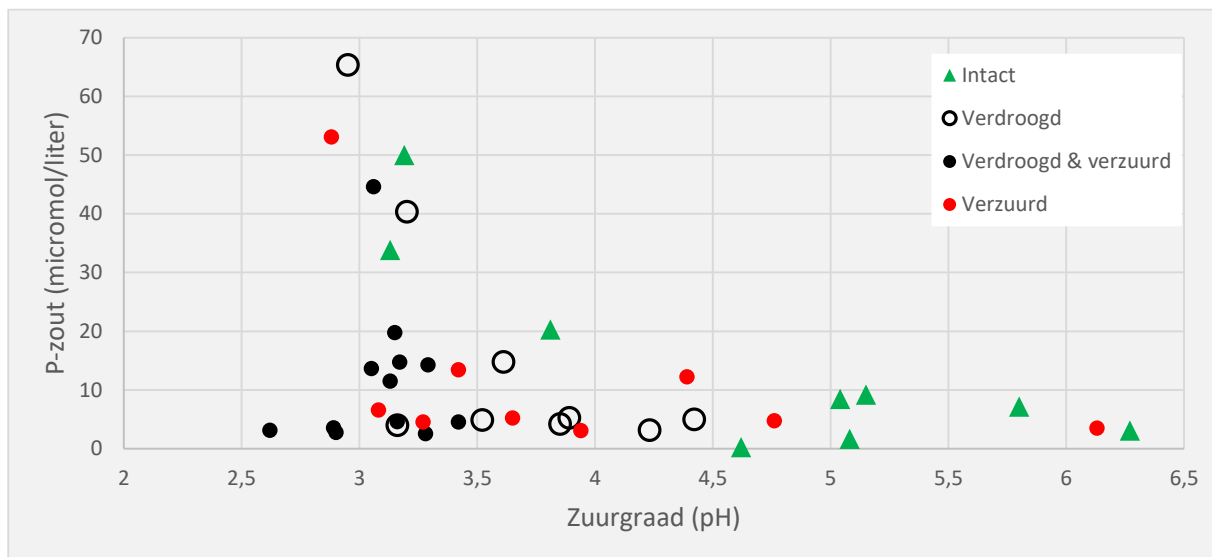


Figuur 5.5. Samenstelling van de bosbodem onder de in januari 2020 verplaatste plaggen in de twee jaren die daarop volgen. ** = verschil in september 2021 tussen plaggen in intacte situatie en op verzuurde & verdroogde bodem significant ($P < 0,01$), *** = idem, zeer significant ($P < 0,001$)

Figure 5.5. Composition of the soils beneath the transplanted sods, in the two years following transplantation.

Vergeleken met de schommelingen in de tijd zijn de behandelingseffecten relatief gering. De spreiding in de meetwaarden is groot en het aantal replica's is maximaal 4. Dit maakt dat er nauwelijks statistisch significante verschillen te vinden zijn, buiten het te verwachten verschil in buffering van de bosbodem. Hier zijn pH, basenverzadiging, silicium, calcium en magnesium significant hoger in de intacte situatie, en de concentraties aluminium en ijzer significant lager in het zoutextract. Niettemin worden wel trends zichtbaar voor de overige factoren, vooral als de intacte situatie vergeleken wordt met de verzuurde & verdroogde situatie. Enkele opvallende verschillen:

- De plaggen zijn op de intacte bodems na twee jaar minder zuur dan in de uitgangssituatie in 2019, en ook is de basenverzadiging gestegen. Op verzuurde & verdroogde bodems vindt geen verbetering in zuurgraad en basenrijkdom plaats.
- Dit leidt niet tot een verhoging van beschikbaar stikstof of fosfor, ten opzichte van terugplaatsing op verzuurde & verdroogde bodems. Wel is er gemiddeld meer kalium aanwezig in plaggen op intacte bodems.
- In de bosbodem onder de plaggen is de stikstofconcentratie in intacte, beter gebufferde bodem na 2 jaar niet hoger dan in verzuurde & verdroogde bodem, maar wel is naar verhouding meer nitraat en dus minder ammonium aanwezig. De kaliumconcentratie is ongeveer gelijk en de beschikbaarheid van fosfaat is iets lager dan in de verdroogde & verzuurde situatie.

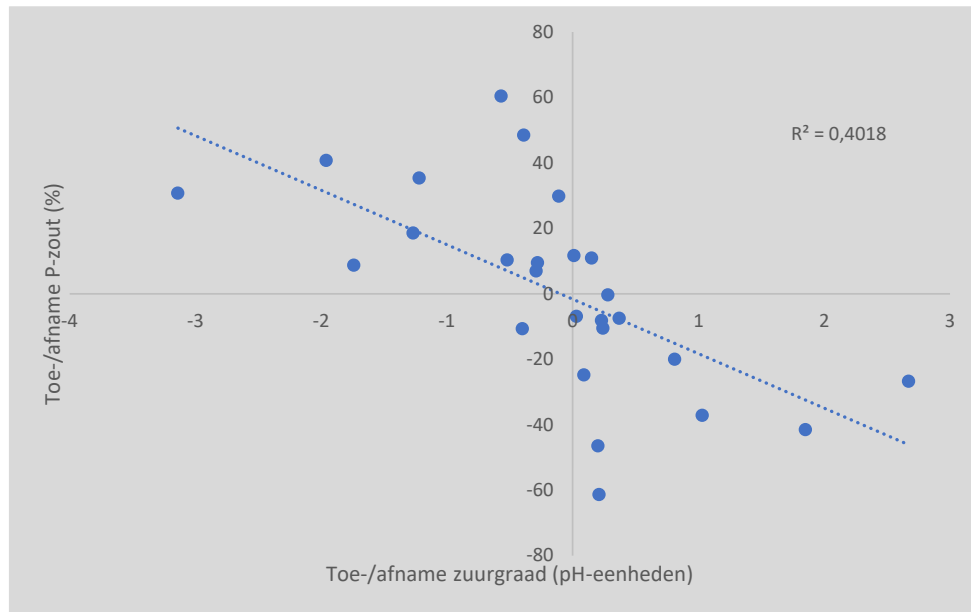


Figuur 5.6. *Correlatie tussen de zuurgraad en de hoeveelheid zout-uitwisselbaar fosfaat in de bosbodem onder de verplaatste plaggen.*

Figure 5.6. *Correlation between the pH and salt-extractable phosphorus in the soil beneath the transplanted sods.*

Net als in het referentie-onderzoek wordt er hier een duidelijke relatie tussen de hoeveelheid zout-uitwisselbaar fosfaat en de zuurgraad gevonden. Deze correlatie wordt duidelijk zichtbaar wanneer deze wordt uitgezet voor de bosbodems onder de plaggen (figuur 5.6). Beneden een pH-zout van 3,5 stijgt de beschikbaarheid van fosfaat exponentieel. Hierbij valt op dat deze correlatie in de verdroogde & verzuurde bodems niet of nauwelijks aanwezig is. De meest zure bodems hebben daar zelfs de laagste fosfaatbeschikbaarheid. Waarschijnlijk is in langdurig en sterk verzuurde bosbodems uiteindelijk veel fosfaat gebonden aan aluminium, en dit komt niet meer vrij bij verzuring of onder reductieve (zuurstofloze) condities. Dit bevestigt het vermoeden uit het referentie-onderzoek dat fosfaatmobilisatie bij verzuring een tijdelijk proces is dat na langdurige en sterke verzuring weer afneemt.

Een tweede zeer relevante constatering is dat gemobiliseerd fosfaat ook kan worden vastgelegd indien de bodem weer minder zuur wordt. Dit proces is op een andere manier weergegeven in figuur 5.7. In deze figuur is duidelijk zichtbaar dat verzuring leidt tot mobilisatie van fosfaat, en buffering tot immobilisatie. Hiermee is nog niet duidelijk welke mechanismen hierbij zorgen voor immobilisatie. De verbetering van de buffering is waarschijnlijk het gevolg van de aanvoer van onderaf van water met een grondwater-achtig karakter. Fosfaat kan dan binden een meegevoerd calcium, maar ook aan meegevoerd ijzer. Niettemin is duidelijk dat zo lang er sprake is van een intacte hydrologie, er ook voldoende binding van fosfaat kan worden verwacht tot op een niveau dat dit limiterend gaat werken voor plantengroei.

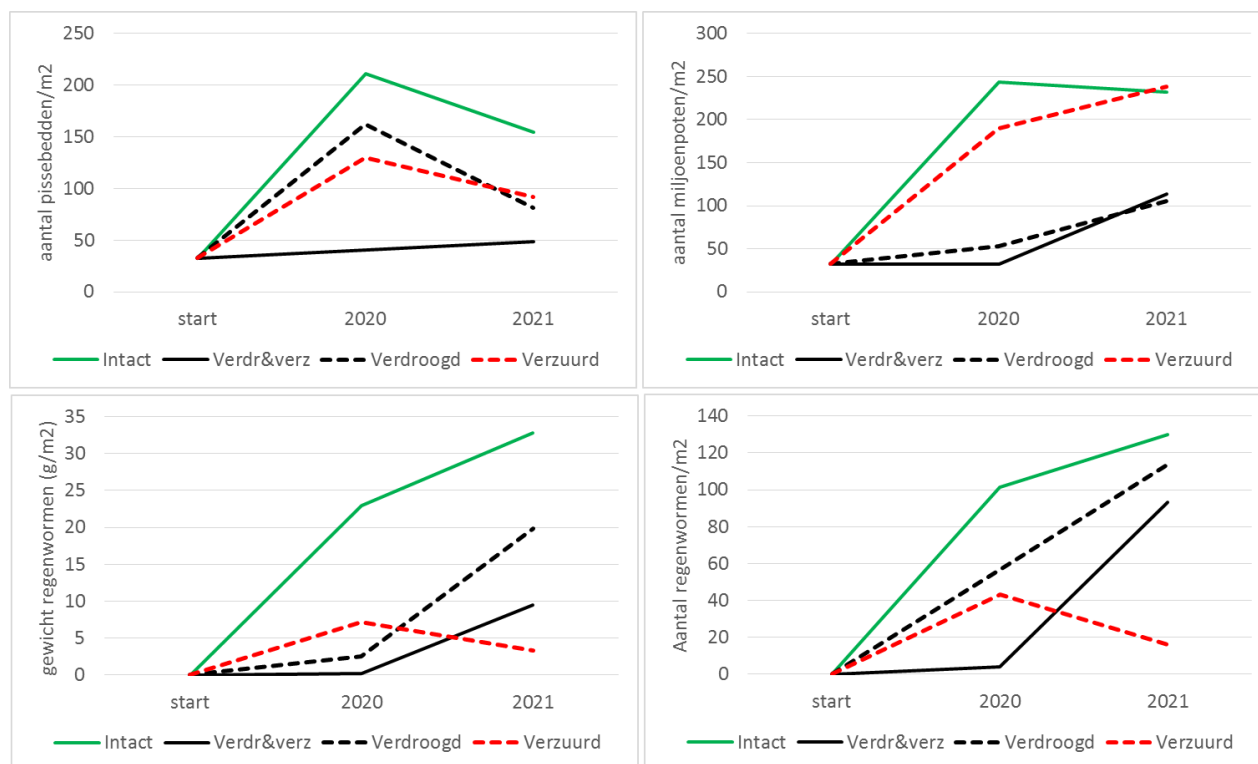


Figuur 5.7. Correlatie tussen de verandering in zuurgraad en uitwisselbaar fosfaat in de bosbodem onder de verplaatste plaggen. De verandering is gedefinieerd als het verschil tussen de tijdstippen 1 en 2 (mei en november 2020), of tussen de tijdstippen 2 en 3 (november 2020 en september 2021).

Figure 5.7. Correlation between the change in pH and salt-extractable phosphorus in the forest soil under the transplanted topsoils. Change = difference between the values in May and November 2020, or difference between the values in November 2020 and September 2021

5.4 Ontwikkeling bodemleven na transplantatie

De samenstelling van de bodemfauna in de getransplanteerde plaggen is in november 2020 en december 2021 bepaald door met behulp van een springvorm met een diameter van 28 cm de top laag, bestaande uit de bovenste 5 cm van de ectorganische laag (strooisellaag, en deel van fermentatie- en/of humuslaag) en de minerale bodem, te verzamelen en daaruit de bodemfauna te extraheren in een tullgrenopstelling (zie paragraaf 4.4).



Afbeelding 5.8. Aantallen pissebedden, miljoenpoten en regenwormen en het gewicht van de regenwormen per m² in de getransplanteerde bodemplaggen in november 2020 en december 2021. Voor de aantallen en het gewicht bij het startpunt zijn de aantallen en het gewicht genomen van de plag van de donorlocatie (verzuurd & verdroogd in Achter de Voort).

Figure 5.8. Numbers of woodlice, millipedes, and earthworms and weight of earthworms per m² in the transplanted sods in November 2020 and December 2021. For the numbers and weight at the starting point, the numbers and weight were taken of the sods from the donor site (acidified & desiccated in Achter de Voort).

Alle drie de onderzochte diergroepen bleken al na één groeiseizoen gemiddeld het meest talrijk in de plaggen die op de intacte situaties zijn gelegd. In december 2021 was dit nog steeds zo. De variatie in de aantallen dieren per monster is groot, ook tussen de 4 gebieden (replica's) per behandeling, mede vanwege de onderlinge verschillen in vochthuishouding en bodemchemie tussen de gebieden. Patronen in het voorkomen van regenwormen, pissebedden en miljoenpoten die al in het referentieonderzoek naar voren kwamen, zien we hier in de getransplanteerde plaggen ook terugkomen. Dit is - samen met de hiervoor besproken resultaten van de vegetatieontwikkeling en de paddenstoelen - een indicatie dat de plaggen in het systeem waarin ze zijn getransplanteerd worden opgenomen en dat vanuit de omringende bodem de plaggen door de bodemfauna wordt gekoloniseerd. De basenverzadiging en zuurgraad zijn in de plaggen die in de intacte situaties zijn gelegd, en in de verzuurde óf verdroogde situaties zijn hoger dan die in de verdroogde & verzuurde situaties (paragraaf 5.3). De bodemfauna in de plaggen lijkt daarop veelal positief te reageren. De hogere aantallen regenwormen, die veelal ook zwaarder zijn, in de situaties met een meer intacte

hydrologie, kunnen zorgen voor een meer stabiele vastlegging van voedingsstoffen door hun verwerking van organisch materiaal tot stabiele humusdeeltjes.

In het monster uit de plag op de donorlocatie in Achter de Voort - die als startpunt in afbeelding 5.8 is weergegeven - was in november 2020 weinig bodemfauna aanwezig. Weliswaar weten we niet welke eventuele variatie in dichtheden van bodemfauna in de 16 getransplanteerde plaggen aanwezig was bij de start van de proef. Wel mogen we er gezien de over het geheel genomen lage aantallen dieren en regenwormenbiomassa in de verdroogde & verzuurde situaties van uitgaan dat deze ook relatief laag was in alle getransplanteerde plaggen. Binnen één groeiseizoen worden in de plaggen die in de intacte locaties zijn neergelegd al hogere aantallen wormen, miljoenpoten en pissebedden aangetroffen.

5.5 Samenvatting & conclusies transplantatie-experiment

De uitvoering van het transplantatie-experiment leidt tot de volgende conclusies:

- De beschadiging van met name de wortelmat en het hierbij horende bodemleven, als gevolg van het steken van de plaggen, leidt tot een piek in de nalevering van stikstof. Waarschijnlijk gebeurt dit in de vorm van ammonium, waarna er omzetting naar nitraat plaatsvindt
- De nitrificatie gaat gepaard met verzuring, mogelijk versterkt door de droge zomer van 2020. Hierdoor wordt fosfaat gemobiliseerd. Dit vindt vooral plaats in de verplaatste plag, maar in mindere mate ook in de bosbodem daaronder. Vermoedelijk door uitspoeling van zuur en/of fosfaat uit de plag.
- In het veel minder droge jaar 2021 vindt vooral in de bosbodem weer enige buffering plaats, waardoor ook de beschikbaarheid van fosfaat weer terugloopt. Niet gemeten is in hoeverre dit fosfaat wordt vastgelegd in biomassa, stabiele humus of aan calcium en ijzer.
- Op verzuurde & verdroogde locaties is de fosfaatbeschikbaarheid in de plag veel minder onderhevig aan schommelingen, maar nooit laag genoeg om limiterend te worden voor de vegetatie. Onder de plag is wel dezelfde piek te zien als bij de andere behandelingen, maar in mindere mate.
- In de plaggen op intacte locaties is de verhoging van de kaliumconcentratie groter en langduriger dan op verzuurde & verdroogde locaties. Dit is een aanwijzing dat de decompositie en mineralisatie wordt aangejaagd door herstel van buffering & hydrologie.
- Alhoewel op vrijwel alle locaties eutrafente plantensoorten aanwezig zijn, zijn deze nergens dominant geworden op de plaggen in de twee jaren volgend op transplantatie.
- De bedekking van eutrafente soorten neemt wel geleidelijk toe over de twee jaren na transplantatie, maar de toename in bedekking van typische bossoorten is ongeveer even groot
- De typische bossoorten die zich vestigen, zijn allen aanwezig in de direct aangrenzende vegetatie; vestiging over langere afstand is niet waargenomen
- Alle drie de onderzochte diergroepen bleken al na één groeiseizoen gemiddeld het meest talrijk in de plaggen die op de intacte situaties zijn gelegd. In december 2021 was dit nog steeds zo. Er vindt een snelle kolonisatie plaats vanuit de bosbodem waar de plaggen zijn neergelegd
- Onder de paddenstoelen valt op dat er geen vruchtlichamen zijn waargenomen van grote strooiselafbrekers, terwijl deze wel aanwezig waren op de donorlocatie. De mycelia zijn mogelijk beschadigd door het steken van de plaggen. Op de intacte locaties zijn ook geen ectomycorrhiza paddenstoelen waargenomen. Mogelijk is de mineralisatie (en opname van voedingsstoffen) dus lager dan in een verzuurde & verdroogde bosbodem waar buffering & hydrologie weer wordt hersteld
- Op verzuurde & verdroogde locaties neemt de bedekking van de vegetatie gemiddeld iets minder snel toe, maar hier is gemiddeld meer lichtlimitatie als gevolg van een groter aandeel Beuk of Amerikaanse eik in de kroonlaag.

Doel van het experiment was om na te gaan of herstel van de hydrologie, buffering en strooiselafbraak zou leiden tot een periode met versterkte nalevering van voedingsstoffen en verruiging van de vegetatie. De pieken in stikstofbeschikbaarheid en fosfaatbeschikbaarheid lijken vooral samen te hangen met de beschadiging door de transplantatie, respectievelijk een hierop volgende piek in verzuring. Het verhoogde kaliumgehalte, vooral in plaggen op intacte bodems, lijkt ook te wijzen op een versnelling van de decompositie en mineralisatie. Na twee jaar waren de plaggen nog wel zichtbaar aanwezig, maar aan de onderkant ook al tamelijk gemengd met de onderliggende bosbodem. De plaggen worden gekoloniseerd door bosplanten van de nieuwe locatie, zowel eutrafente soorten als typische bossoorten. Ook zijn op verzuurde en/of verdroogde locaties mycorrhiza-schimmels aanwezig, die voedingsstoffen opnemen en doorgeven aan de

omringende bomen. De gegevens uit de eerste twee jaren wijzen erop dat er inderdaad buffering van onderaf en versterkte humusafbraak plaatsvindt, maar vastlegging van fosfaat lijkt het belangrijkste mechanisme te zijn dat verruiging van de vegetatie voorkomt, samen met de verminderde lichtbeschikbaarheid die bij een bos hoort. De capaciteit om fosfaat vast te leggen is op de intacte locaties voldoende om versterkte nalevering op te vangen.

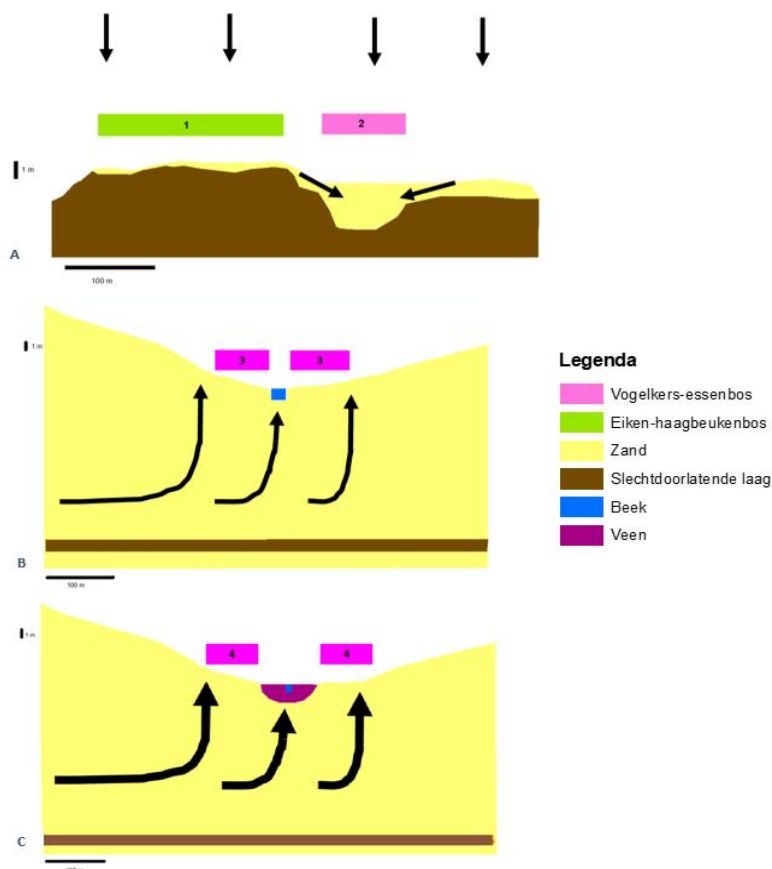
6 Synthese

6.1 Vochtige bossen op landschapsschaal

Voor het herstel en behoud van vochtige bossen is het nemen van hydrologische maatregelen één van de belangrijkste sleutels tot succes. Om de juiste hydrologische maatregelen te kiezen is het van belang om te begrijpen hoe het systeem functioneert.

In de landschapsecologische systeemanalyse zijn de 14 onderzoeksgebieden onderzocht en deze verdeeld in vier kenmerkende systeemtypen (Figuur 6.6.1). De standplaatsomstandigheden van de eerste twee typen, Eiken-Haagbeukenbos en Vogelkers-Essenbos op een dun watervoerend pakket, worden bepaald door lokale hydrologische systemen: onder de relatief dunne laag (lemig) dekzand bevindt zich een slechtdoorlatende laag, bijvoorbeeld een dikke leem- of kleilaag, die nauwelijks water doorlaat. Het vochtige bos wordt hierdoor vooral beïnvloed door lokaal grondwater wat in en nabij het gebied infiltreert en stagneert op de slechtdoorlatende laag en dus niet door dieper, bovenlokaal c.q. regionaal grondwater. Voor het herstel van deze systemen betekent dat het gebied goed te herstellen is met lokale maatregelen, zoals het dempen en afdammen van lokale ontwatering (sloten) en rabatten in het gebied. Binnen deze twee typen liggen enkele gebieden die door een beek doorsneden worden (Bekendelle, Snoeyinksbeek en Kohkamp). Als de beek te diep is geworden door bijvoorbeeld erosie zorgt dit ook voor ontwatering en zijn maatregelen die hierop gericht zijn gewenst, zoals het verhogen van het beekpeil en/of het verhogen van de beekbodem.

Het derde en vierde systeemtype, Vogelkers-Essenbos op een dik watervoerend pakket met zwakke of sterke kwel, staan naast lokaal grondwater onder invloed van (sub)regionaal grondwater; ze zijn dus onderdeel van een groter hydrologisch systeem. Dit maakt dat deze systeemtypen niet alleen door lokale, maar ook door bovenlokale ingrepen in de waterhuishouding negatief kunnen worden beïnvloed. In deze gebieden volstaan lokale maatregelen niet, hoe noodzakelijk ze ook zijn, maar zijn tevens maatregelen op regionale schaal noodzakelijk voor herstel, hoe lastig die ook te realiseren mogen zijn. Een deel van deze vochtige



Figuur 6.6.1: Schematische weergave van de vier verschillende typen vochtige bossen. De nummers corresponderen met het typenummer en de pijlen geven de grondwaterstroming en in lokale grondwatersystemen de invloed van regenwater weer. De dikte van de pijl geeft de intensiteit van de grondwaterstroming weer.

Figure 6.1 Schematic representation of the four different types of moist forests. The numbers correspond to the type number and the arrows indicate the groundwater flow and in local groundwater systems the influence of rainwater. The thickness of the arrow indicates the intensity of the groundwater flow.

bossen is ontstaan onder invloed van ontwatering van Elzenbroeken. Hier dienen herstelmaatregelen in de eerste plaats gericht te zijn op herstel Elzenbroeken, aangezien alleen daarmee de standplaatscondities over de volledige gradiënt hersteld kunnen worden, en niet op de instandhouding van een bos dat is ontstaan dankzij verdroging.

Tabel 6.1 De vier landschaps-ecologische systeemtypen met de belangrijkste kenmerken.

Table 6.1 The four system types on landscape level, with their most important characteristics.

	1	2	3	4
Type	Eiken-Haagbeukenbossen op zand in een dun watervoerend pakket op klei of leem (stagnatiebos)	Vogelkers-Essenbos op zand van een dun watervoerend pakket op klei of leem (stagnatiebos)	Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en zwakke kwel	Vogelkers-Essenbos op zand in een dik watervoerend pakket en sterke kwel
Dikte freatisch watervoerend pakket	Dun	Dun	Dik	Dik
Type grondwatersysteem	Zeer lokaal, geen diepe kwel, alleen lokaal grondwater	Lokaal, geen diepe kwel, alleen lokaal grondwater.	Regionaal, van nature zwakke kwel.	Regionaal, van nature sterke kwel.
Kwaliteit	Vaak verdroogd, maar ook nog aanwezig in goede kwaliteit	Vaak verdroogd, maar ook nog aanwezig in goede kwaliteit	Meestal sterk verdroogd	Meestal sterk verdroogd
Geschiede maatregelen voor systeemherstel	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten.	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten Regionaal/lokaal: verhogen van het beekpeil en de beekbodem Regionaal	Lokaal, zoals dempen en afdammen van sloten, greppels en rabatten Regionaal/lokaal: verhogen van het beekpeil en de beekbodem Regionaal

6.2 Humusafbraak en voedingsstoffen in de bovenste bodemlaag

Essentieel voor de vochtige basenrijke bossen is dat er jaarlijks aanvoer van basenrijk grondwater plaatsvindt tot in de toplaag van de bodem. Hierdoor vindt een goede strooiselafbraak plaats en wordt de humus door wormen en ander bodemleven goed gemengd met de toplaag van de minerale bodem. Ook wordt veel humus afgebroken door schimmels die mycorrhiza vormen met kenmerkende bosplanten in de ondergroei, het zogenaamde Paris-mycorrhizatype (Baas, 1999). Fosfaat wordt vastgelegd in de biomassa in de bodem, in moeilijk verder afbreekbare humusresten, en aan calcium, bicarbonaat en ijzer. De zuurgraad varieert meestal tussen pH(water) 5 en 6, wat voor veel bacteriën aan de zure kant is. Hierdoor verloopt de humusafbraak niet te snel.

De fosfaatbeschikbaarheid is afhankelijk van bodem en hydrologie. Zandbodems zijn het armst aan totaal fosfaat, maar de beschikbaarheid en zeker de zout-oplosbare fractie is juist het laagst op leembodems. Hiervoor is de ijzer- en calciumfractie in de leem verantwoordelijk. IJzer en basen lossen op uit de leem en kunnen in natte perioden de toplaag van de bodem bereiken. Op welvingen die boven het winterse grondwaterniveau uitkomen, is een overgang naar zure bostypen aanwezig ('zure' Eiken-Haagbeukenbos en Beuken-Eikenbossen). Ook zijn deze bostypen het meest gevoelig voor een te groot aandeel arm strooisel-soorten in de boomlaag.

De Vogelkers-Essenbossen op dikke zandpakketten in de beekdalen (type 3 en 4) staan doorgaans langdurig in contact met gebufferd grondwater, waardoor de strooiselvertering goed is en dit type weinig gevoelig is voor een te groot aandeel arm-strooisel soorten. Wel kan door het zandige karakter bij verdroging makkelijk verzuring optreden. De fosfaatbeschikbaarheid is gemiddeld hoger, doordat vaak wat fosfaatrijkere beekafzettingen aanwezig zijn. Aan de andere kant wordt stikstof snel omgezet en uit het systeem verwijderd, door de zeer vochtige en basenrijke omstandigheden. Niettemin is het karakter van de vegetatie wat eutrafenter dan in het Eiken-Haagbeukenbos. Ook hier zijn overgangen naar zure bostypen aanwezig op de beekdalrand en zandige ruggen in het beekdal waar de strooiselkwaliteit van de dominante boomsoorten een belangrijke rol speelt in de bosontwikkeling.

6.3 Degradatiefactoren en invloed op humus en voedingsstoffen

De belangrijkste oorzaken voor achteruitgang van de biodiversiteit van basenrijke, vochtige bossen op de zandgronden zijn verdroging, verslechtering van de kwaliteit van sediment en grond- en oppervlaktewater, verzuring en stikstofdepositie.

Verdroging leidt er vooral toe dat er geen basenrijk en ijzerhoudend grondwater meer tot in de toplaag van de bosbodem reikt. Bij de strooiselafbraak komen humuszuren vrij en deze verzuring kan niet meer gecompenseerd worden, waardoor de toplaag gaat verzuren. Dit heeft twee zwaarwegende effecten. Ten eerste vindt er een omslag plaats in het bodemleven. Wormen en ongewervelden nemen sterk af, waardoor menging met de minerale fractie vrijwel niet meer plaatsvindt. Er wordt een zure laag half afgebroken strooisel gevormd, waarin vooral schimmels voor de afbraak zorgen. Ten tweede leidt de verzuring tot de mobilisatie van fosfaat, waarschijnlijk door de mobilisatie van ijzer- en calcium gebonden fosfaten. Door de verzuring verdwijnen veel karakteristieke bosplanten en de fosfaatmobilisatie stimuleert een verruiging die nog extra wordt aangejaagd door atmosferische stikstofdepositie. Hierdoor ontstaat bijvoorbeeld dominantie van bramen en stekelvarens in de ondergroei. De meeste graslandpaddenstoelen en mycorrhiza-paddenstoelen zijn dan al lang verdwenen.

Verzuring kan ook in niet verdroogde situaties plaatsvinden, als gevolg van de combinatie van verzurende depositie en de dominantie van arm strooisel soorten in de boomlaag. Wel gebeurt dit alleen op plekken waar basenrijk water maar zeer kort tot in de toplaag reikt, of waar het grondwater vrij basenarm is. Door de verzuring verdwijnen vaak veel kenmerkende bosplanten. Maar omdat fosfaat nog vrij goed gebonden blijft en ook de dénitrificatie redelijk blijft doorlopen, treedt er minder verruiging op.

Het is lastig in te schatten wat de afzonderlijke bijdrage van stikstofdepositie is in de degradatie van vochtige, basenrijke bossen. Duidelijk is dat met name mycorrhiza-paddenstoelen afhankelijk zijn van een beperkte stikstofbeschikbaarheid en snel in aantal en diversiteit afnemen. Ook veel boomsoorten reageren sterk op stikstofdepositie. Teveel opname van stikstof leidt al snel tot een onbalans in de interne mineralenhuishouding en tot ophoping van stikstofrijke aminozuren en hiermee gepaard gaande gevoeligheid voor vraat en schimmels (van Dijk e.a., 1992). De meeste

bosplanten in de ondergroei lijken enig stikstof wel te tolereren of zelfs te prefereren en zijn minder gevoelig voor een hogere stikstofdepositie. Dit komt mede omdat de concurrentie door ruigtesoorten minder is vanwege de dominante rol van schaduw. Maar het verdwijnen van langzaam groeiende, wat meer lichtminnende soorten als Zwartblauwe rapunzel (*Phyteuma spicatum* subsp. *nigrum*) en Bleke zegge (*Carex pallescens*) zal ongetwijfeld mede door stikstofdepositie zijn veroorzaakt.

In beekdalen speelt een verslechtering van de kwaliteit van beekwater, grondwater en het afgezette beeksediment vaak een grote rol in de achteruitgang. Het beekslib is vaak aanzienlijk rijker aan fosfaat geworden, en tegelijkertijd ook rijker aan zwavel maar armer aan ijzer. De beschikbaarheid van fosfaat wordt hiermee veel hoger wat de weg vrij maakt voor een snelle verruiging. In het grondwater valt de toename in fosfaat vaak mee, maar hier zien we vaak de gevolgen van nitraatuitspoeling in aangrenzende bossen en vooral landbouwpercelen. Hierdoor neemt het nitraatgehalte in het grondwater toe, en het ijzergehalte sterk af. Daar waar zwavelhoudende lagen in de grondwaterbaan aanwezig zijn, wordt nitraat verwisseld voor sulfaat en vindt ook verzuring plaats. Via allerlei wegen kan zo een verhoogde stikstof- of fosfaatbeschikbaarheid optreden.

Tenslotte is er ook nog een interactie met verdroging. Door verdroging in beekdalen klinken venige delen sterk in, waardoor er komvormige laagten ontstaan. Bij hoog water vangen deze kommen veel meer slib in, dan in de oorspronkelijke situatie. Zo wordt een tamelijk voedselarme veenlaag geleidelijk vervangen door fosfaat-naleverende beekafzettingen.

6.4 Herstel van humusafbraak en nutriëntenhuishouding

De gevolgen van de achteruitgang van de kwaliteit van met name grondwater en beeksedimenten kunnen niet worden opgeheven door de herstelmaatregelen die in dit onderzoek betrokken zijn: ingrepen in de kwantitatieve hydrologie en wijziging van de samenstelling van de boomlaag. De andere drie oorzaken van degradatie (verdroging, verzuring en stikstofdepositie) vertonen wel een sterke interactie met deze herstelmaatregelen.

6.4.1 Ingrepen in de kroonlaag

De analyses van de bladeren die in de herfst op de grond vallen ondersteunen de constatering dat dominantie van "arm strooisel" soorten, met name Beuk, Fijnspar, Amerikaanse eik en in mindere mate Zomereik, leidt tot een omslag naar een zure bosbodem met strooiselophoping. Vooral op locaties waar de aanvoer van bufferstoffen naar de toplaag niet optimaal is. Maar als de boomlaag geheel uit bomen bestaat met heel basenrijk, voedselrijk en snel afbrekend blad van met name wilgen of populier, verloopt de strooiselafbraak juist zeer snel en vooral via bacteriën. Alleen kort na de bladval zijn enkele paddenstoelen aanwezig; naast een aantal zeer kleine ascomyceten zijn dit vooral Draadknotszwam (*Macrotiophula juncea*) en Populierentaailing (*Marasmius minutus*). Aan het eind van de winter is het meeste blad al verdwenen. Bacteriën zijn over het algemeen minder goed in het vasthouden van gemineraliseerde voedingsstoffen dan schimmels (Read, 2003). Dit leidt tot een voedselrijkere situatie, waarin bramen, Grote brandnetel en Robertskruid (*Geranium robertianum*) kunnen gaan domineren. Dit fenomeen is ook bekend van hardhoutooibossen en zachthoutooibossen, waar onder populier of wilg soortenarme en stabiele vervangingsgemeenschappen ontstaan die gedomineerd worden door Grote brandnetel en Dauwbraam (*Rubus caesius*) in de ondergroei (Wolf e.a., 2001).

Optimaal voor een vochtig bos op basenrijke bodem is een groot aandeel van soorten met tamelijk rijk strooisel, zoals Gewone es, Haagbeuk, lindes, Zoete kers en Gewone vogelkers, mogelijk ook Hazelaar en Gewone esdoorn. Een alternatief is wellicht een combinatie van soorten met arm en zeer rijk strooisel, bijvoorbeeld Zomereik en Canadapopulier in het Coovels bos. Het blad dat in het najaar valt wordt in de loop van enkele maanden tot jaren afgebroken. Het aandeel van schimmels

in de afbraak lijkt groter, afgaande op het veel groter aantal paddenstoelen op de bladeren in de onderzochte proefvlakken. Met name mycena's en taailingen zijn hierbij goed vertegenwoordigd. Ook krijgt de bodemfauna meer tijd om de bladeren en humus te mengen met de bosbodem, wat waarschijnlijk bijdraagt aan een betere vastlegging van fosfaat. Een gematigde afbraaksnelheid, waarbij enerzijds strooiselophoping en anderzijds het vrij beschikbaar komen van grote hoeveelheden voedingsstoffen wordt voorkomen, lijkt een grote rol te spelen in de nutriëntenkringloop van de onderzochte vochtige bossen.

6.4.2 Herstel van de waterhuishouding

Middels het transplantatie-experiment is nagegaan in hoeverre de omslag van een goed verterende humuslaag (moder-profiel) naar een slecht verterende humuslaag (mor-profiel) omkeerbaar is, en of dan ook de biodiversiteit zich kan herstellen. Een bepalende factor hierbij is de mate waarin weer aanvoer van bufferstoffen tot in de verzuurde humuslaag kan plaatsvinden. Als het grondwater inmiddels te sterk verzuurd is, wordt de afbraak van organisch materiaal maar in geringe mate gestimuleerd en leidt hydrologisch herstel eerder tot de ontwikkeling van een basenarm, vochtig bos. Bijvoorbeeld een vochtig Eiken-Berkenbos.

Maar daar waar voldoende gebufferd grondwater weer de toplaag kan bereiken, lijkt er weer vrij snel een terugkeer mogelijk naar een goede strooiselvertering. In de verplaatste plaggen herstelt het bodemleven zich snel en er vindt ook snel kolonisatie plaats door allerlei typische bossoorten uit de ondergroei. Na hydrologisch herstel van een verdroogd bos, zal dit herstel van bodemleven en ondergroei waarschijnlijk wel langzamer verlopen, omdat de gewenste soorten vrijwel geheel uit het verdroogde bos zijn verdwenen.

De weer op gang komende strooiselafbraak leidt tot het versneld vrijkomen van voedingsstoffen. Dit is in het experiment waargenomen bij kalium en mogelijk ook stikstof en fosfor. Verruiging van de vegetatie lijkt vooral te worden voorkomen door de capaciteit van de bosbodem om fosfaat vast te kunnen leggen onder basenrijke condities. Met het herstel van de grondwaterinvloed worden bicarbonaat-, calcium- en ijzerionen aangevoerd die bijdragen aan de vastlegging van fosfaat. Ook kan veel fosfaat worden vastgelegd in moeilijk afbreekbare humus en in de microbiële biomassa. De versneld afbrekende humuslaag blijft echter gevoelig voor verruiging omdat meer voedingsstoffen vrijkomen uit afbraak van de zure humuslaag. Een belangrijke bijdrage aan het voorkomen van verruiging in deze fase wordt waarschijnlijk geleverd door de geringe lichtbeschikbaarheid.

7 Herstel van vochtig bos; aanbevelingen

7.1 Aantastingen en herstelmogelijkheden

Zoals voor de meeste bostypen in Nederland geldt ook voor vochtige bossen dat het denken over herstel bemoeilijkt wordt door een onvolledig referentiebeeld. We weten eigenlijk niet goed hoe een goed ontwikkeld vochtig bos er in Nederland uit zou zien. Alle referentiebossen, ook de beter ontwikkelde bossen in Nederland en Duitsland, dragen hun sporen van het beheer in het verleden, zoals hakhout, veeweiden en vaak ook een lange periode dat er niet eens bos was. De hieronder gepresenteerde herstelmaatregelen zijn dan ook vooral bedoeld om te komen tot een goede uitgangssituatie voor verschillende typen basenrijk, vochtig bos, van waaruit het boscossysteem zich geleidelijk verder kan ontwikkelen.

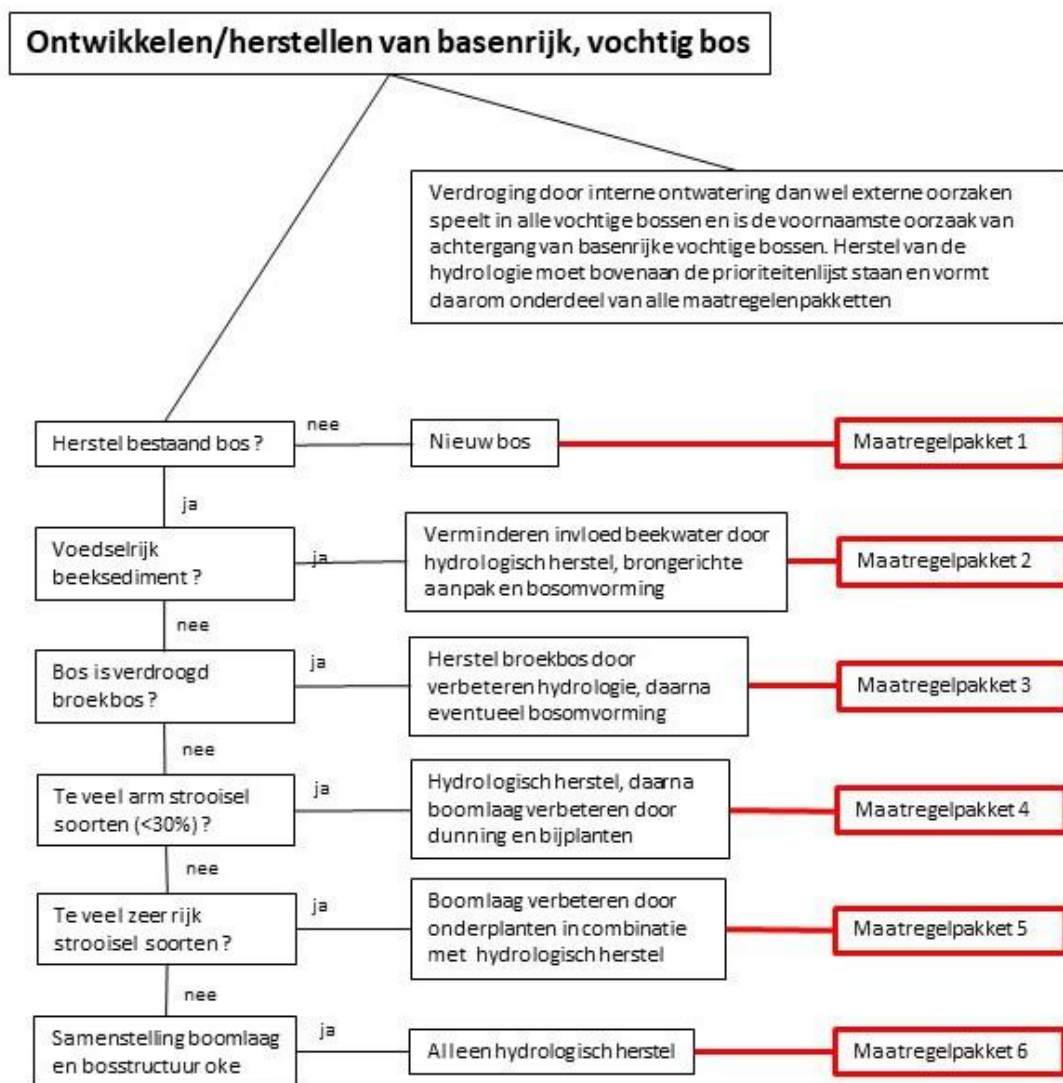
De kleine oppervlakken goed ontwikkeld vochtig, basenrijk bos die nog reesteren hebben de afgelopen decennia vooral te maken gehad met de volgende problemen:

- Drainage in en om het bos, waardoor vooral de invloed van gebufferd grondwater is verminderd of zelfs geheel is weggevallen. Deze verdroging leidt vervolgens ook tot verzuring, mobilisatie van fosfaat en verminderde stikstofafvoer door dénitrificatie;
- Een te groot aandeel van bomen die basenarm, moeilijk afbreekbaar strooisel produceren, waardoor zich een zure humuslaag vormt;
- Een veel te hoge stikstofdepositie, waardoor extra vermesting optreedt;
- Een veranderde samenstelling van afgezette sedimenten in beekdalen. Deze zijn vaak rijker aan fosfaat en zwavel geworden, en armer aan ijzer. De fosfaatbeschikbaarheid is hierdoor vaak sterk verhoogd;
- Extensivering van beheer en daardoor vermindering van de dynamiek in bossen. Hierdoor ontstaat op langere termijn weliswaar een gevarieerdere structuur en wordt een voorraad dood hout opgebouwd, maar dit gaat vaak gepaard met een overgangsfase waarin bossen juist (tijdelijk) donkerder en structuurarmer zijn.

Op basis van de hiervoor genoemde knelpunten is een beslisboom gemaakt (figuur 7.1), die kan helpen bij het opstellen van het juiste pakket herstelmaatregelen. Uiteraard is de werkelijkheid complexer dan in deze figuur is weergegeven en kunnen in een te herstellen of ontwikkelen bos vaak meerdere van de beschreven situaties worden aangetroffen. In de beschrijving van de maatregelpakketten is geprobeerd daar zo veel mogelijk rekening mee te houden.

7.2 Maatregelen

Op veel potentiële locaties voor goed ontwikkeld vochtig bos is de actuele situatie sterk afwijkend en zijn ingrijpende maatregelen nodig om weer een situatie te herstellen van waaruit zich wel een waardevol vochtig bos kan ontwikkelen. Op andere locaties kan gelukkig met minder ingrijpende maatregelen worden volstaan, zie hiervoor de beslisboom (figuur 7.1). Vervolgens zijn een aantal veel voorkomende situaties beschreven, en worden pakketten van maatregelen voorgesteld. Met name voor ingrijpende maatregelen is een goede afweging nodig tussen de natuurwinst op langere termijn en de risico's voor de huidige natuurwaarden. Bijvoorbeeld het kappen van bomen, het sterk verhogen van de waterstand waarbij bomen kunnen afsterven, en het verwijderen van greppels en rabatten.



Figuur 7.1 Beslisboom met de meest voorkomende mogelijkheden en hieruit voortvloeiende keuzes voor het herstelbeheer in vochtige, basenrijke bossen

Figure 7.1 Diagram representing the most common causes for degradation of forests on base-rich, moist soils, and the management measures that can counteract these problems.

Maatregelpakket 1: Ontwikkelen van vochtig bos vanuit een lage vegetatie

Ontwikkeling van nieuwe vochtige bossen vindt doorgaans plaats op voormalige landbouwgronden, of op locaties met een lage vegetatie die in de uitgangssituatie meestal een vrij lage natuurwaarde hebben. In de grote meerderheid van de gevallen is er sprake van een voedselrijke toplaag die een grotere fosforvoorraad bevat dan in goed ontwikkelde, vochtige bossen. Door deze grote fosforvoorraad ontstaat meestal een tamelijk soortenarm bos met een groot aandeel van soorten als Grote brandnetel en Rietgras. Een indruk daarvan kan worden verkregen uit de opnamen van bossen in beekdalen waar fosfaatrijk sediment is afgezet.

Toch liggen er op sommige plaatsen goede mogelijkheden om hier soortenrijkere bossen te ontwikkelen. Met name daar waar de fosfaatvoorraad niet te groot is, de bodem kalkhoudend is of waar ijzerhoudend kwelwater periodiek tot in maaiveld reikt, kan hydrologisch herstel voldoende zijn om mooie vochtige bossen te ontwikkelen. In Vlaanderen zijn goede ervaringen met de ontwikkeling van soortenrijk bos op leemgronden die in landbouwkundig gebruikt zijn geweest (Hermy & Verheyen, 2007). In deze situaties kunnen bij de bosaanleg direct voor vochtige bossen karakteristieke boomsoorten worden geplant. Goede resultaten voor de bosontwikkeling zijn te verwachten wanneer een deel van de aanplant bestaat uit pioniers (snelle groeiers) gecombineerd met schaduwboomsoorten en rijk - en arm strooisel soorten in min of meer gelijke aantallen. Op deze wijze kan redelijk snel een structuurrijk bos met dikke grote bomen, schaduwrijke plekken en een struiklaag ontstaan.

Op veel andere plekken zal het nodig zijn om een groot deel of de totale opgehoopte fosforvoorraad uit het landbouwkundig verleden te verwijderen. Wanneer tijd geen beperking is kan dit bijvoorbeeld door uitmijning van fosfaat in de bovengrond. In andere gevallen zal (een deel van) de bouwvoor moeten worden verwijderd. Daarbij is het ook zinvol om op de meestal sterk geëgaliseerde landbouwgronden weer meer reliëf terug te brengen. Daarmee ontstaan meer gradiënten in vochtigheid en voedselrijkdom, en kan eventueel ook fosfaatrijke bouwvoor intern verwerkt worden op aan te leggen ruggen. Voor de bosaanleg kunnen na uitmijning dezelfde strategieën toegepast worden die hierboven genoemd zijn.

Echter, als de hele bouwvoor wordt weggehaald, worden de omstandigheden waarschijnlijk minder geschikt voor de vestiging van veel boom- en struiksoorten. Er zal dan eerst een fase optreden met spontane of aangeplante pioniers als Zwarte els (*Alnus glutinosa*), Zachte berk (*Betula pubescens*), Ratelpopulier (*Populus tremula*) en diverse wilgen (*Salix* spp). Zo'n pionierfase is vaak zeer rijk aan mycorrhiza-paddenstoelen. Een goed voorbeeld van zo'n ontwikkeling is momenteel te zien in het voormalige, deels herstellende Beekbergerwoud. Zodra zich een bosbodem vormt, worden de omstandigheden gunstiger voor boomsoorten van oudere stadia.

Dit maatregelenpakket wordt hier verder niet uitgewerkt, omdat ontwikkeling van nieuw bos geen onderdeel van deze studie is.

Maatregelenpakket 2: Herstel van vochtig bossen die geïnundeerd worden met voedselrijk beekwater.

In bossen die overstromd worden met voedselrijk beekwater vormt verruiging van de ondergroei een groot knelpunt voor ontwikkeling van vochtige bossen. Hoewel de nutriëntenbelasting in veel beken afneemt door onder meer sanering van riooloverstorten en maatregelen in de landbouw, is deze over het algemeen nog veel te hoog. Bovendien neemt naar verwachting de duur en frequentie van inundaties toe, zowel door klimaatverandering (toename van neerslagpieken en de noodzaak deze op te vangen in beekdalen) als door beekherstelmaatregelen zoals ophogen van de beekbodem en hermeandering. In veel gevallen is al een dikke laag beeksediment afgezet, met ongunstige verhoudingen tussen ijzer en calcium enerzijds en fosfaat en zwavel anderzijds. Ook zonder nieuwe overstromingen is hier de fosfaatbeschikbaarheid langdurig hoog.

Door het beekwater buiten te sluiten, bijvoorbeeld door het opwerpen van dammen en kades kan de voortgaande accumulatie van fosfaat en zwavel worden gestopt. Maar inundatie is een essentieel element van deze bossen, die onder meer verzuring van de toplaag voorkomt en strooisel kan afvoeren. Ook stagneert er makkelijk veel water achter zo'n dam, wat tot vermesting kan leiden. Buitensluiten is dus een uiterste redmiddel. In sommige situaties is het mogelijk om de

instroom van water te beperken tot een enkel punt en daar een slibvang aan te leggen. Ook kan gezorgd worden voor dichte vegetatie langs de beek, bijvoorbeeld een ruigte of een braamstruweel. Deze remt de stroomsnelheid van het instromende water waardoor slib dicht bij de beek wordt afgezet. Op die manier kan overstroming blijven plaatsvinden met slechts weinig afzetting van fosfaatrijk sediment.

Verder is het zo dat de fosfaataanvoer via beeksedimenten in de oorspronkelijke situatie gecompenseerd werd door de aanvoer van ijzerhoudend grondwater, waardoor dit fosfaat geïmmobiliseerd werd. Brongerichte maatregelen om de kwaliteit van het beekwater en de invloed en kwaliteit van grondwater te verbeteren zijn daarom een belangrijke voorwaarde voor ontwikkeling van vochtige bossen in beekdalen.

Verdroging door ontwatering heeft een grote invloed op de kwaliteit van vochtige bossen. Genoemd zijn al de fosfaatmobilisatie door afnemende grondwaterinvloed en verzuring. Ook breken eventueel aanwezige venige of moerige lagen versneld af. In een hydrologisch intacte situatie is in een natte periode niet alleen inundatie mogelijk, maar is ook de aanvoer van grondwater groot. Hierdoor kan eutroof oppervlaktewater niet diep in de bodem doordringen en wordt het geïnundeerde gebied al snel weer doorgespoeld met grondwater. Ook wordt de ijzervoorraad door dit grondwater steeds aangevuld.

Verdroogde beekdalbossen met bovendien overstroming van voedselrijk water kampen met een ingewikkelde problematiek. De verdroging kan louter het gevolg zijn van interne drainage. In dat geval zullen maatregelen om de hydrologie te verbeteren ook in eerste instantie uit interne maatregelen bestaan: het dempen van sloten en greppels in het gebied en zo mogelijk het verwijderen van rabatten om grond- en oppervlaktewater langer in het gebied te houden en alleen over maaiveld af te laten stromen. Stagnatie van water kan het beste voorkomen worden, omdat naar beekdalen toestromend grondwater helaas vaak belast is met sulfaat, dat in stagnante situaties snel tot vermessing leidt. Soms is het aangevoerde grondwater door nitraatuitspoeling bovendien rijk aan nitraat en arm aan ijzer. Hydrologisch herstel is dan pas zinvol als eerst deze nitraatuitspoeling wordt aangepakt. Als het enigszins mogelijk is en het bovenstrooms geen wateroverlast genereert moet geprobeerd worden eventueel te diep uitgesleten beeklopen te verondiepen met zandsuppleties en/of houtpakketten.

Helaas zijn er ook veel situaties waarbij de zijdelingse grondwateraanvoer naar het beekdal sterk is verminderd. In dat geval zijn bovenstaande maatregelen weinig zinvol en moet eerst de kwaliteit en kwantiteit van de grondwateraanvoer voldoende worden hersteld. Voor al het hydrologisch herstel geldt dat ook de effecten op andere natuurtypen, bijvoorbeeld naastgelegen broekbossen, moeten worden meegewogen. Het is een maatregel op landschapsschaal, waarvan de effecten ook op deze schaal moeten worden bekeken.

Na hydrologisch herstel kan bosvorming bijdragen aan tegengaan van verruiging en aan kwaliteitsverbetering van de bossen. Door het verhogen van de schaduwdruk – door het vergroten van het aandeel schaduwboomsoorten en ontwikkelen van meer gelaagde bossen – worden ruigtekruiden onderdrukt en kunnen karakteristieke bossoorten zich beter handhaven. Het is hier niet nodig om het aandeel rijk-strooisel soorten te verhogen omdat er via grondwater en overstromingen al voldoende basen worden aangevoerd. Wel maken van nature rijk-strooisel soorten zoals Gewone es, iepen, Gewone esdoorn en Haagbeuk onderdeel uit van deze bossen en is het niet verkeerd om hun aandeel te verhogen. Omvormen kan door onderplanten van open delen van het bos, bijvoorbeeld in populierenplantages. In dichtere delen die vaak nog weinig structuur hebben (doorgesloten hakhout en productiebossen) zal onderplanten gecombineerd moeten worden met een dunning en/of groepenkap.

Samenvattend:

- Brongerichte maatregelen voor verlagen van de nutriëntenbelasting van het beekwater;
- Verbeteren van de kwaliteit van het toestromend grondwater en verhogen van de kweldruk door hydrologische maatregelen in het inrijgebied;
- Hydrologische maatregelen in het beekbegeleidend bos zelf om drainage van grondwater tegen te gaan, en te laten uittreden aan maaiveld;
- Creëren van gevarieerde bossen met een hoge schaduwdruk waardoor ruigtesoorten onderdrukt worden;
- Eventueel tegengaan van inundatie vanuit de beek, of afvangen van slib via een slibvang of een dichtere ondergroei direct langs de beek.

Maatregelpakket 3: Herstel van verdroogde broekbossen.

Broekbossen kunnen door verdroging zijn overgegaan in, meestal soortenarme, vochtige bossen. In dergelijke bossen zal de focus niet direct moeten liggen op herstel of verbetering van vochtige (Vogelkers-Essen) bossen maar juist op het herstel van broekbossen, vooral als er nog een venige of moerige bodem uit het broekbosverleden aanwezig is. Ook verdroogde Vogelkers-Essenbossen die hoger op de gradiënt liggen zullen hierdoor positief beïnvloed worden. Verbeteren van de hydrologie is dan ook de eerste maatregel die ook hier van toepassing is. Ten eerste door de kwaliteit en kwantiteit van aangevoerd grondwater te herstellen en indien nodig gevolgd door het zo veel mogelijk ongedaan maken van de interne ontwatering (greppels en sloten). Alleen water vasthouden zonder vergroting van de grondwaterinvloed leidt vaak tot sterke eutrofiering (o.a. kroosvorming) en boomsterfte. In sterk vergraven situaties (aanleg van rabatten) kan het ook goed zijn om rabatten te verlagen. Maar dat is eigenlijk alleen mogelijk als er nauwelijks meer natuurwaarden aanwezig zijn op de rabatten; alle bestaande ondergroei wordt immers verwijderd.

Bosomvorming kan zinvol zijn in situaties waarin het bosbeeld sterk bepaald wordt door een productieverleden zoals aangeplante naaldbhoutopstanden, structuurarm doorgesloten hakhout van Zwarte els en monoculturen van populieren. Als maatregelen kan gedacht worden aan ontwikkelen van structuur door vellen en ringen in de bestaande boomlaag al dan gecombineerd met aanplant van ontbrekende broekbossoorten. Meestal zal hydrologisch herstel voldoende zijn om spontaan een ontwikkeling met broekbossoorten in gang te zetten als er Zwarte els en wilgen in de omgeving of de zaadbank aanwezig zijn. Op de wat hogere beekdalrand en beekoeverwallen kunnen andere (ontbrekende) boom- en struiksoorten van vochtige bossen bijgeplant worden. Hier is dominantie van Zwarte els minder wenselijk, omdat de stikstof die deze bomen in de bodem brengen onder de wat drogere condities lang in de bodem blijft hangen.

Samenvattend:

- Verbeteren van de hydrologie: Verhogen van de kweldruk en uittredend grondwater, afstroming over maaiveld;
- Omvormen van bossen (structuur en boomsoorten) voor zover dit niet spontaan gaat na hydrologische ingrepen.

Maatregelpakket 4: Omvormen van bossen die gedomineerd worden door boomsoorten met arm strooisel.

In van oorsprong vochtige, basenrijke bossen waar de huidige boomlaag gedomineerd wordt door boomsoorten met arm, zuur strooisel is omvormen hiervan een zinvolle maatregel. Dit is vooral van belang op wat hogere plekken waar basenrijk grondwater niet tot aan maaiveld komt en strooiselophoping optreedt. Bomen met basenrijk strooisel kunnen dan zorgen voor een betere

strooiselafbraak. Op lager gelegen plekken met een (aangeplante) éénvormige boomlaag kan het eveneens zinvol om wat meer diversiteit in structuur en boomsoorten te krijgen.

De wijze waarop bosomvorming uitgevoerd kan worden hangt af van de uitgangssituatie. Wanneer de gewenste boom- en struiksoorten met rijk strooisel aanwezig zijn, maar in een te geringe bedekking om een rol te spelen in de strooiselomzetting, kunnen deze door vellen of ringen van omringende bomen vrijgezet worden. Hierdoor krijgen deze bomen meer licht en groeiruimte, kunnen hun kronen uitbreiden en uiteindelijk ook als zaadbron fungeren voor toekomstige generaties bos. Waar de gewenste boom- en of struiksoorten ontbreken, zullen deze aangeplant moeten worden. Om aanplant kans van slagen te geven zal het in de meeste gevallen nodig zijn om voldoende licht in een opstand te maken door een kleinschalige groepenkap of een dunning door te voeren. Een gedunde opstand is geschikt om met schaduwsoorten zoals Haagbeuk, lindes of iepen te onderplanten. Een groepenkap is ook geschikt voor verjonging van lichtboomsoorten zoals Ratelpopulier, berken of Zoete kers. Vooral in éénvormige aanplanten is de huidige floristische natuurwaarde gering. Hier kan bijvoorbeeld door een dunning wat steviger uit te voeren sneller een structuurrijk, gelaagd bos ontstaan.

In verdroogde bossen moet tevens de hydrologie zoveel mogelijk verbeterd worden (zie maatregelpakket 5). Hierbij zal door sterfte van bomen spontaan meer structuur ontstaan. Bij de omvormingsmaatregelen kan daarop ingespeeld worden, bijvoorbeeld door lage delen niet te dunnen en eventueel wel bomen aan te planten waar sterfte verwacht wordt.

Samenvattend:

- Omvormen van bossen door vrijstellen van rijk strooiselsoorten voor zover deze aanwezig zijn.
- Uitvoeren van dunning en groepenkap om licht en ruimte te maken voor aanplant van ontbrekende rijk strooiselsoorten en ontwikkelen van een structuurrijk, gelaagd bos.
- In verdroogde situatie zullen hydrologische ingrepen vooral in de laagste delen al een belangrijke aanzet geven voor ontwikkeling van structuur, waarop met bosmaatregelen ingespeeld kan worden.

Maatregelpakket 5: Herstel van verdroogde bossen met een goede bosstructuur en boomsoortensamenstelling

In verdroogde bossen met een goede structuur en boomsoortensamenstelling ligt allereerst het verbeteren van de hydrologie voor de hand. In de in hoofdstuk 3 onderscheiden systeemtypen 1 en 2 (stagnatiebossen) zijn interne maatregelen vaak voldoende; het dempen van sloten en greppels.

Vaak is dit type bos ook op rabatten gezet en is het voor een optimaal hydrologisch herstel noodzakelijk deze te verwijderen. Verwijderen van rabatten is een maatregelen die tegelijk ook erg destructief is voor het bestaande bos en moet met mate en goed overwogen toegepast worden. Lage rabatten blijken vaak geen grote negatieve effecten te hebben; vaak staat hier nog een karakteristieke bosvegetatie. Hoge rabatten (met diepe greppels) kunnen een ontwikkeling naar een soortenrijk bos wél erg frustreren. Momenteel worden in verschillende gebieden ervaringen opgedaan met het verwijderen van rabatten; onder meer in het Ulvenhoutse bos en de Scheeken (Figuren 7.2 en 7.3).

In bossen van systeemtype 3 en 4 (bossen in beekdalen met een diep watervoerend pakket) zijn vaak eerst externe maatregelen nodig, en hangen de interne maatregelen af van de mate waarin de kwaliteit en kwantiteit van grondwateraanvoer kan worden hersteld. In het beekdal zelf is een externe maatregel bijvoorbeeld het verhogen van het drainageniveau van de beek om afvoer van kwelwater zoveel mogelijk tegen te gaan. Rondom het bosgebied zal ontwatering zoveel mogelijk verminderd moeten worden zodat infiltratie en grondwaterstromen versterkt worden. Ook de

bemesting op landbouwpercelen in het intrekgebied moet sterk worden gereduceerd om uitspoeling van nitraat en sulfaat te voorkomen. Vaak betekent dit ook verwerving van landbouwgronden in het inrijgebied.

Samenvattend:

- Voor alle typen verbeteren van de interne hydrologie: herstel van lokale grondwaterstromen en verminderen van drainage van uittredend grondwater door dempen van sloten en greppels en egaliseren van rabatten;
- Voor typen 3 en 4 verbeteren van de externe hydrologie (buiten het te herstellen bos en/of natuurgebied): herstel van lokale grondwaterstromen door dempen of verondiepen van sloten en greppels, verbeteren van de grondwaterkwaliteit door het voorkomen van verdroging en nitraatuitspoeling in het inrijgebied;



Figuur 7.2 Voorbeeld van een opstand waar rabatten vlaktegewijs verwijderd zijn. Door essentaksterfte was de boomlaag afgestorven en de ondergroei sterk verruigd.

Figure 7.2 Example of a forest stand where ditches and dikes have been leveled over the entire surface. This measure was selected here because the ash-trees had died after a disease.

Maatregelpakket 6: Omvormen van monoculturen van populier en wilg

Populieren en (schiet)wilgen hebben zeer basen- en nutriëntenrijk strooisel en daardoor een hele snelle strooiselafbraak. Deze soorten hebben hierdoor een gunstig effect op de bodemontwikkeling in bossen, maar wanneer de boomlaag uitsluitend uit deze soorten bestaat treedt ook sterke verruiging op. Dit is gemakkelijk op te lossen door omvorming in gang te zetten naar meer gemengde en gelaagde bossen. Door het licht doorlatende karakter van deze bossen is onderplanten vaak voldoende, mits plantsoen (plantmateriaal) gebruikt wordt wat al groot genoeg is om niet overwoekerd te worden door de hoge kruidlaag. Voor de aanplant kan een breed sortiment boom- en struiksoorten toegepast worden met zowel rijk - als arm strooisel soorten. In jonge bossen (<25 jaar) kan een dunning en kleine groepenkap ervoor zorgen dat er al een aanzet wordt gegeven voor een structuurontwikkeling. In oudere populieren- en wilgenopstanden

is dit vaak niet nodig. De eerste populieren en wilgen beginnen vaak al na een jaar of 40 af te sterven, waardoor variatie in structuur vanzelf ontstaat.

In verdroogde bossen moet omvorming gecombineerd worden met hydrologische maatregelen. In soortenarme sterk verruigde populieren- en wilgebossen op rabatten kunnen ook de rabatten verwijderd of verlaagd worden. Door de ruime plantafstanden tussen de bomen is hier voldoende werkruimte om zonder bomen te vellen het werk uit te voeren.

Populieren en wilgen zijn vanwege hun snelle groei en rijk strooisel hele goede soorten om toe te passen bij omvorming van bossen met arm strooisel en bij de ontwikkeling van nieuwe vochtige bossen op voedselarme en basenarme bodem.

7.3 Aandachtspunten bij hydrologische maatregelen in relatie tot bestaande natuurwaarden

In de maatregelenpakketten worden een aantal stevige maatregelen genoemd, gericht op systeemherstel, die een grote impact kunnen hebben op de bestaande natuurwaarden. In verdroogde situaties hebben veel kenmerkende soorten zich teruggetrokken in de laagste delen. Soorten zitten daardoor in een ecologische val; herstel van de hydrologie is nodig om de soorten niet verder achteruit te laten gaan en tegelijkertijd kunnen de maatregelen die hiervoor nodig zijn het zetje geven om de laatste individuen van deze soorten te doen verdwijnen. Toch is systeemherstel het belangrijkste waarnaar gestreefd moet worden, omdat zonder een goed functionerende waterhuishouding geen duurzaam herstel van vochtige bossen mogelijk is. Dan zal geaccepteerd moeten worden dat veel kritische soorten van vochtige bossen verder achteruitgaan



Figuur 7.3: Gedeeltelijke egalisering van rabatten, waarbij om en om rabatten verlaagd worden en op de anderen het bos behouden blijft.

Figure 7.3: Partial leveling of dikes en ditches: alternately the dikes are leveled so trees remain on the others

of alleen met extra beheerinspanning behouden kunnen blijven, zoals dat nu bijvoorbeeld gebeurt met projecten voor behoud van populaties van Knikkend nagelkruid (*Geum rivale*) en Zwartblauwe rapunzel. Een belangrijke vraag is dan ook hoe we maatregelen kunnen uitvoeren om het systeem te herstellen en tegelijkertijd kunnen voorkomen worden dat met de herstelmaatregelen (rest)populaties van soorten van vochtige bossen verdwijnen. Onder systeemherstel verstaan we herstel van het hydrologisch systeem maar ook herstel van de morfologie, meestal betekent dat verwijderen of verlagen van rabatten en herstel van het boscossysteem (structuur en boomsoortensamenstelling).

Herstelbeheer: risico's voor bestaande natuur versus toekomstige natuurwinst

Het verrichte onderzoek heeft zich toegespitst op herstel van verdroogde, verzuurde en/of vermeste vochtige bossen. Uitgangspunt hierbij is dat herstel leidt tot hogere natuurwaarden. Theoretisch is zo'n uitgangspunt voor discussie vatbaar: ook gedegradeerde bossen bevatten natuurwaarden en een hogere waardering van nog intact vochtig bos is in enige mate subjectief. Aan deze discussie gaan wij hier voorbij en we stellen vast dat op veel plekken herstelmaatregelen nodig zijn om meer goed ontwikkeld vochtig bos te krijgen. Het dilemma dat met deze vaststelling ontstaat is dat ingrijpende herstelmaatregelen altijd in enige mate ten koste zullen gaan van bestaande natuurwaarden, en dat het bovendien een onmogelijke taak is om voor elk te herstellen bos een volledig beeld te krijgen van die bestaande natuurwaarden. Hoe moet er dan een goede afweging tussen de te verwachten resultaten en de mogelijke bijwerkingen worden gemaakt? Wij stellen de volgende werkwijze voor:

- 1) Vaststelling actuele natuurwaarde: Uitgangspunt is dat er altijd een redelijke (maar geen uitputtende) inspanning moet zijn gedaan om de actuele natuurwaarde vast te stellen. Dat wil zeggen, voor een breed scala aan soortengroepen moet in beeld zijn of zich hier een bijzondere situatie voordoet waar rekening mee moet worden gehouden. Denk hierbij aan broedvogels, zoogdieren, amfibieën, insecten, paddenstoelen, hogere planten en mossen. Het aantreffen van enkele zeldzame soorten is daarbij vaak onderdeel van de gedegradeerde situatie, vooral als het gaat om weinig onderzochte soortgroepen. Aan de andere kant kunnen juist voor dit soort groepen op onverwachte plekken concentraties van zeer bijzondere soorten voorkomen. Het verzamelen van bestaande gegevens van veel bekeken soortgroepen, aangevuld met een quickscan voor met name de minder bekeken soortgroepen, is gewoonlijk voldoende. Indien uit deze gegevens het vermoeden rijst dat zich een bijzondere situatie voordoet, is het verstandig om aanvullend een specialist te laten kijken. Soortspecialisten kunnen aangeven waar bijzonder habitat aanwezig is wat bij voorkeur behouden moet blijven of waar nog relictpopulaties voorkomen of welke soorten nader geïnventariseerd zouden moeten worden.
- 2) Een speciaal geval vormen drainerende greppels en sloten. Doordat ze grondwater aantrekken hebben ze een vochtig microklimaat met soms veel soorten varens, mossen en paddenstoelen. Ook blijven ze voedselarm doordat er op de steile wanden geen strooisel blijft liggen en er veel ijzer wordt aangevoerd met het grondwater. Dit biotoop keert niet volledig terug in een herstelde situatie waarbij sloten en greppel zijn gedempt of volgelopen met water. Slechts in een (zeer) klein deel van de situaties zal de natuurwaarden van de greppelsystemen zo groot zijn dat het voor de hand ligt om de bestaande situatie te handhaven en (deels) af te zien van hydrologisch herstel. In de meeste gevallen hoeft er dus geen moeilijke afweging tussen huidige natuurwaarden en toekomstig systeemherstel te worden gemaakt. Wel is het van belang om dergelijke bijzondere situaties op te sporen en te behouden, zoals bijvoorbeeld in het Coovels bos (Lammers et al., 2005).
- 3) Ook bomen zelf kunnen van grote waarde zijn, zoals bijvoorbeeld hele oude bomen. Meestal zijn dit eiken maar ook soms groeien er ook nog oude zeldzame soorten zoals

Fladderiep, Haagbeuk of lindes. Deze hebben vaak cultuurhistorische waarden en zijn waardevol als bron voor autochtoon genenmateriaal voor toekomstige bosgeneraties. Bekeken moet worden in hoeverre deze bomen door de voorgenomen hydrologische maatregelen bedreigd worden. Dit kan bijvoorbeeld door een studie uit te voeren naar bewortelingsdiepte van deze bomen en deze te vergelijken met de te verwachten effecten van hydrologische maatregelen op de grondwaterstanden. Om dit soort elementen te behouden kan de uitkomst ook zijn om delen van het bos niet te vernatten.

- 4) Schaalgrootte: De mate waarin er bijwerkingen van herstelmaatregelen kunnen optreden is mede afhankelijk van de schaal waarop herstelmaatregelen worden genomen, en met name de schaal ten opzichte van de actuele, gedegradeerde situatie. Wanneer slechts in een klein deel van de gedegradeerde situatie wordt ingegrepen, is de kans groot dat natuurwaarden die in het te herstellen deel verloren gaan aanwezig blijven in het overige deel. Ook kunnen soorten zich vanuit de niet herstelde delen zich weer vestigen, bijvoorbeeld vanuit restpopulaties die zich handhaven in of langs greppels. De noodzaak om rekening te houden met bestaande natuurwaarden is dus kleiner naarmate er meer niet hersteld bos in de directe omgeving resteert. Ook als er nog intact bos (of bos dat zich al hersteld heeft) aanwezig is, zullen soorten zich makkelijker vanuit deze delen weer vestigen in het te herstellen deel.
- 5) Fasering: Waar wel bedreigde soorten voorkomen kan overwogen worden om hydrologisch herstel te spreiden in ruimte en/of tijd. Bijvoorbeeld door niet een bosgebied in één keer te herstellen maar in een aantal fasen. Bedreigde soorten kunnen dan de tijd krijgen om naar een herstelde locaties te migreren. Dit kan voor fauna een uitkomst zijn, maar om planten de gelegenheid te bieden om omhoog te migreren zou dit een herstelfase van tientallen jaren betekenen. Dergelijke voorbeelden van succesvolle migratie zijn bekend uit bossen waar de greppels geleidelijk zijn dichtgegroeid. Voor veel vochtige bossen is de urgentie om verdroging aan te pakken echter te hoog en hebben we niet de tijd om te wachten tot sloten en diepe greppels geleidelijk verlanden. Een alternatieve methode die voor planten sneller resultaat levert is bijvoorbeeld het uitgraven of uitzaaien en in kweek zetten van bedreigde soorten, om deze vervolgens terug te plaatsen op herstelde geschikte locaties. Mogelijk kan dit ook voor sommige diersoorten een uitkomst zijn. Zo is in de Moerputten met succes door middel van het transporteren van plaggen het Donker pimpelblauwtje (*Phengaris nausithous*) verplaatst.

Vooraf zal ook duidelijk moeten zijn welk effect de beoogde maatregelen gaan hebben op de waterhuishouding. Hiervoor kan een LESA inzicht bieden maar vaak zal er ook een grondwatermodellering aan te pas moeten komen. Door de veranderingen in grond- en oppervlaktewaterstanden te vergelijken met belangrijke groeiplaatsen en biotopen kan een afweging gemaakt worden om bepaalde maatregelen niet of minder intensief uit te voeren of kunnen voorstellen gemaakt worden voor mitigerende maatregelen.

Vernatting kan makkelijk leiden tot het afsterven van bomen. Door de grotere lichtinval treedt vervolgens verruiging op. De korte termijn nadelen (boomsterfte & verruiging) moeten dus zorgvuldig worden afgewogen tegen de voordelen op lange termijn (vochtig bos met herstelde hydrologie). Zo lang er geen bedreigde natuurwaarden in het geding zijn, is het beter om hydrologische maatregelen uit te voeren. Na herstel van de hydrologie zal misschien een deel van het bos doodgaan en verruiging geven. Ons onderzoek laat zien dat dit van tijdelijke aard is, als het hydrologische herstel volledig is en de maatregelen goed zijn uitgevoerd. Daarna kan het bos zich herstellen; deels doordat bestaande bomen zich aan hogere waterstanden aan kunnen passen en deels door verjonging na afsterven van de boomlaag. Vervolgens ontstaat er een veel structuurrijker bos met veel dood hout en een goed functionerende waterhuishouding. Van hieruit kan zich weer een bosesysteem ontwikkelen waar ook de meer kritische soorten van basenrijke vochtige bossen zich kunnen vestigen en uitbreiden.

Herstellen van de morfologie, wat meestal het verwijderen of egaliseren van rabatten betekent, is een maatregel die ook een grote impact heeft op het bestaande bos en haar natuurwaarden. Hiervoor zal namelijk een groot deel van de vegetatie en de boom- en struiklaag verwijderd moeten worden. Desondanks is het een belangrijke maatregel voor herstel van vochtige bossen, omdat daarmee de gradiënten hersteld worden, die een basisvoorwaarde zijn voor een grotere soortenrijkdom. Er zijn echter veel situaties te bedenken waar ingrijpen niet voor de hand ligt, bijvoorbeeld op plekken waar nog een karakteristieke bosflora aanwezig is. Maar er zijn ook veel (delen) van bossen aan te wijzen waar maatregelen doorgaans weinig bijwerkingen hebben: sterk verruigde populierenbossen, jonge dichte eikenaanplanten, afgestorven en verruigde essenopstanden of opstanden van Amerikaanse eik waar ondergroei ontbreekt. Hier kan een begin gemaakt worden om in delen van bossen de morfologie te herstellen waar kenmerkende flora en fauna na verloop van tijd een nieuw leefgebied kan vinden; spontaan of via herintroducties. Momenteel worden op enkele plaatsen al dergelijke maatregelen uitgevoerd, onder meer in Brabantse leembossen; de Scheeken, Mortelen en Wijboschbroek, in het Ulvenhoutse bos en in het beekdal van de Tongelreep. Hier worden de ingrepen goed gemonitord en daarmee kunnen ze een voorbeeld kunnen zijn voor andere bossen met rabatten.



Figuur 7.4: Referentie locatie in het Duitse Kohkamp waar de meest soortenrijke vegetatie-opname is gemaakt. Rabatten ontbreken en het microreliëf staat daardoor garant voor een grote diversiteit in de opname. Zo kunnen er soorten van relatief natte omstandigheden (Knikkend nagelkruid en Kleine valeriaan) voorkomen naast soorten van drogere plekken (Witte klaverzuring en Bosgierstgras).

Figure 7.4: Reference location Kohkamp (Germany), where the most species rich vegetation relevées were made. There are no ditches and dikes so micro-relief guarantees a great diversity of habitats. Species of relatively wet conditions can occur close to species of drier places.

Referenties

- Arnolds, E., R. Chrispijn & R. Enzlin (red.) (2015). Ecologische atlas van Paddenstoelen in Drenthe. Deel 1, inleiding. Paddestoelenwerkgroep Drenthe.
- Assink, B.J., 2018. Graslandpaddenstoelen in bossen. Stageverslag Aeres Hogeschool Almere. Stagebedrijf: Onderzoekcentrum B-WARE.
- Augusto, L., P. Bonnaud & J. Ranger (1998). Impact of tree species on forest soil acidification. *Forest Ecology and Management* 105(1-3): 67-78.
- Augusto, L., J. Ranger, D. Binkley & A. Rothe (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann For Sci* 59(3): 233-253.
- Baas, W., 1999. Bodemschimmels en het stinzenplantenmilieu. *Oase*, blz 11-14.
- Bobbink, R., A. van den Burg, E. Brouwer, B. van de Riet & H. Siepel (2018). Langetermijneffecten van bosbekalking en – bemesting: de Harderwijkerproef. Monitoring OBN-17-DZ. VBNE, Driebergen.
- Brock, O., A. Kooijman, K.G.J. Nierop, B. Muys, K. Vancampenhout, B. Jansen. (2019). Disentangling the effects of parent material and litter input chemistry on molecular soil organic matter composition in converted forests in Western Europe. *Org. Geochem.* 134, 66–76.
- Caporaso, J. G., C. L. Lauber, W. A. Walters, D. Berg-Lyons, C. A. Lozupone, P. J. Turnbaugh, N. Fierer, and R. Knight (2011). Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108:4516-4522.
- Compton JE, M.R. Church, S.T. Larned, W.E. Hogsett (2003). Nitrogen export from forested watershed in the Oregon Coast Range: the role of N₂-fixing red alder. *Ecosystems* 6, 773–785.
- De Schrijver, A., P. Frenne, J. Staelens, G. Verstraeten, B. Muys, L. Vesterdal, K. Wuyts, L. Nevel, S. Schelfhout & S. Neve (2012). Tree species traits cause divergence in soil acidification during four decades of postagricultural forest development. *Global Change Biology* 18(3): 1127-1140.
- Desie, E., K. Vancampenhout, B. Nyssen, L. van den Berg, M. Weijters, G.-J. van Duinen, J. den Ouden, K. van Meerbeek & B. Muys (2019). Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. *Science of The Total Environment*: 134383.
- Desie, E., K. Vancampenhout, L. van den Berg, B. Nyssen, M. Weijters, J. den Ouden & B. Muys (2020). Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management* 474: 118377.
- Dijk, H.F.G. van, M. Van der Gaag, P. J. M. Perik, and J. G. M. Roelofs (2013). Nutrient availability in Corsican pine stands in The Netherlands and the occurrence of *Sphaeropsis sapinea*: a field study. *Canadian Journal of Botany* • April 1992 • <https://doi.org/10.1139/b92-111>
- Edgar, R. C. (2013). UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads. *Nature methods* 10:996-998.
- Emsens, W.J., Bobbink, R., Maas, P. & F. Mooij (2020). Is de floristische achteruitgang van de Zeeuwse bloemdijken nog te stoppen? *De Levende natuur* 121(6) : 201-205.
- Gardes, M., and T. D. Bruns (1993). ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular ecology* 2:113-118.
- Hermý, M. & K. Verheyen, 2007. Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity. *Sustainability and diversity of forest ecosystems*, Springer361-371.
- Hommel, P., R. de Waal (2003). Rijke bossen op arme bodems. *Landschap* 20(4), 193-204.

Jacob M., K. Viedenz, A. Polle, F.M. Thomas (2010). Leaf litter decomposition in temperate deciduous forest stands with a decreasing fraction of beech (*Fagus sylvatica*). *Oecologia* 164: 1083–1094

Kara O., I. Bolat, K. Cakiroglu & M. Senturk (2014). Litter decomposition and microbial biomass in temperate forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.

Köljalg, U., K. H. Larsson, K. Abarenkov, R. H. Nilsson, I. J. Alexander, U. Eberhardt, S. Erland, K. Høiland, R. Kjoller, and E. Larsson (2005). UNITE: a database providing web-based methods for the molecular identification of ectomycorrhizal fungi. *New Phytologist* 166:1063-1068.

Lavelle, P. and Spain, A.V. (2005). *Soil Ecology, Chapter 3: Soil Organisms*, Springer: New Delhi, India.

Lammers, H., L. Raaijmakers & H. van Hooff (2005). Beekdalmycoflora in het Coovels Bos. *Coolia* 48: 191-196.

Matyssek, R. (1986). Carbon, water and nitrogen relations in evergreen and deciduous conifers. *Tree Physiology* 2, 177–187.

Melillo, J.M., Aber J.D. Muratore J.F. (1982). Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics. *Ecology* 63 (3), pp. 621-626.

Nilsson, S.I., H.G. Miller & J.D. Miller (1982). Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of the concepts. *Oikos*: 40-49.

Ozinga, W. & E. Arnolds (2003). Mycorrhizapaddestoelen als leidraad voor beheeradviezen voor bossen op voedselarme zandgrond. *De Levende Natuur* 104(5): 177-183.

Read, D.J. & J. Perez-Moreno (2003). Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? *New Phytologist* 157 (3): 475-492.

Reich, P.B., J. Oleksyn, J. Modrzynski, P. Mrozinski, S.E. Hobbie, D.M. Eissenstat, J. Chorover, O.A. Chadwick, C.M. Hale & M.G. Tjoelker (2005). Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology letters* 8(8): 811-818.

Rognes, T., T. Flouri, B. Nichols, C. Quince, and F. Mahé. (2016). VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ* 4:e2584.

Satti, P., Mazzarino, M.J., Gobbi, M., Funes, F., Roselli, L., Fernandez, H. (2003). Soil N dynamics in relation to leaf litter quality and soil fertility in north-western Patagonian forests. *J. Ecol.* 91, 173 181.

Schaminee, J.H.J., R. Haveman, P.W.F.M. Hommel, J.A.M. Janssen, I. de Ronde, P.C. Schipper, E. J. Weeda, K.W. van Dort & D. Bal, 2017. *Revisie Vegetatie van Nederland*. ISBN 978-94-91705-10-6.

Smith, D. P., and K. G. Peay. (2014). Sequence depth, not PCR replication, improves ecological inference from next generation DNA sequencing. *PLoS one* 9:e90234.

van Breemen N., Mulder J., Driscoll C.T. (1983). Acidification and alkalinization of soils, *Plant Soil* 75, 283–308.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminee & P.W.F.M. Hommel, 1999. *De Vegetatie van Nederland, deel 5: Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*. Opulus press, Uppsala, Leiden. ISBN 90-803988-3-7.

Vainio, E. J., and J. Hantula. (2000). Direct analysis of wood-inhabiting fungi using denaturing gradient gel electrophoresis of amplified ribosomal DNA. *Mycological research* 104:927-936.

Van der Heijden, M.G.A. Bardgett R.D., van Straalen N.M. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11: 296–310.

Van der Werf, S., 1991. *Natuurbeheer in Nederland, deel5: Bosgemeenschappen*. PUDOC, Wageningen. ISBN 90-220-1039-2.

Van Miegroet H., Cole D.W. (1984). The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in a red alder ecosystem. *Journal of Environmental Quality*, 13, 586–590.

Verbeek, P.J.M., U. Prins, R. Ketelaar, K. Eichhorn & E. Brouwer (2021). *Het akkerboek, ontwikkeling en beheer van kruidenrijke akkers*. KNNV uitgeverij Zeist, ISBN 978 90 5011 7593

Veerkamp, M.T. (2005) De diversiteit van paddestoelen in het Nederlandse bos. Alterra, Wageningen.

Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren, 2005, Atlas van de Plantengeneenschappen van Nederland. Deel 4 Bossen, struwelen en ruigten. KNNV Uitgeverij, Utrecht.

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications 18:315-322.

Wolf, R.J.A.M., A.H.F. Stortelder, R.W. de Waal, K.W. van Dort, S.M. Hennekens, P.W.F.M. Hommel, J.H.J. Schaminee & J.G. Vrielink, 2001. Ooibossen. Stichting Uitgeverij van de Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. ISBN 90 5011 115 7.

Bijlagen

Bijlage A: Vegetatietabel met opnamen van alle referentie-locaties

			1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7		
			2	27	69	28	66	67	13	3	17	26	6	23	19	24	65	68	61	16	60	20	14	18	11	22	64	63	15	25	21	10	4	12	9	
			GESC	WWSC	SBSC2	SBSC1	KKSC2	KKSC1	GEVSC2	GEVSC1	AVVSC	WWVSC	ULAP	SNBAP	AVAP	BEAP	KKAP2	KKAP1	TRVAP	VOVAP	CBVAP	LMVAP2	VOEAP	AVVAP	MAEAP	SNBEAP	BEEAP	GEZU	VOZU	BEZU	SNBZU	BOEU	SCEU	GEEU	SCSC2	
Soorten Alno-padion/Carpinion																																				
Fraxinus excelsior	kl	+	+	r	.	+	+	.	.	+	.	1	+	+	+	2	+	r	.	.	.	2	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	r	r	r	Gewone es
Circaea lutetiana	kl	.	1	1	+	1	2	.	.	.	.	+	.	+	+	1	1	2	.	.	.	+	.	1	.	1	r	.	.	.	.	+	.	.	Groot heksenkruid	
Euonymus europaeus	kl	.	.	r	+	.	+	.	.	.	.	r	.	.	1	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	Wilde kardinaalsmuts	
Primula elatior	k	kl	1	+	+	+	r	+	.	.	.	+	.	+	.	+	1	1	.	.	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.	.	.	Slanke sleutelbloem	
Ranunculus auricomus	kl	.	2	1	+	+	1	.	.	.	.	.	.	2	1	+	+	+	.	.	.	.	.	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	Gulden boterbloem	
Carex sylvatica	kl	.	+	+	+	+	1	1	.	.	.	+	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Boszegge	
Ficaria verna s. verna	kl	+	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	2	.	.	.	.	.	.	2	2	.	2	2	.	.	.	.	.	+	.	Gewoon speenkruid	
Stachys sylvatica	k	kl	+	1	+	r	.	2	.	.	.	.	.	+	2	.	2	1	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	Bosandoorn	
Lamium galeobdolon s. galeobd	k	kl	.	2	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kleine gele dovenetel	
Adoxa moschatellina	k	kl	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Muskuskruid	
Deschampsia cespitosa	kl	r	r	+	+	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	+	r	2	.	r	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	r	+	Ruwe smele	
Brachypodium sylvaticum	kl	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	Boskortssteel	
Paris quadrifolia	k	kl	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Eenbes	
Carpinus betulus	kl	.	.	+	r	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	Haagbeuk	
Eurhynchium striatum	ml	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	+	2	.	.	.	2	.	.	+	.	2	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	Geplooid snavelmos	
Crataegus laevigata	kl	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	+	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	Tweestijlige meidoorn	
Plagiomnium undulatum	ml	.	.	+	.	.	1	.	.	.	.	1	.	1	.	.	2	2	.	.	.	.	.	2	.	+	.	.	.	.	.	1	2	.	Gerimpeld boogsterrenmos	
Geranium robertianum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+	1	.	.	r	2	.	.	+	.	1	.	1	.	.	.	+	+	+	.	.	Robertsruis	
Impatiens noli-tangere	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	1	.	.	.	Groot springzaad	
Prunus padus	kl	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+	r	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	+	.	+	Vogelkers	
Moehringia trinervia	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+	+	.	Drienerfmuur	
Ribes rubrum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	2	+	.	.	.	.	r	.	.	Aalbes	
Rubus caesius	kl	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	+	+	.	.	.	r	+	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	Dauwbraam	
Sanicula europaea	kl	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Heelkruid	
Taxus baccata	kl	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	Taxus	
Viola reichenbachiana/riviniana	kl	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	r	.	.	.	Bosviooltje (groep)	
Actaea spicata	k	kl	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Christoffelkruid	
Prunus avium	kl	.	.	1	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zoete kers	
Acer pseudoplatanus	kl	.	.	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewone esdoorn	
Viola reichenbachiana	k	kl	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Donkersporig bosviooltje	
Festuca gigantea	kl	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	r	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	Reuzenzwenkgras	
Galium odoratum	kl	.	.	.	.	+	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Lievevrouwebedstro	
Milium effusum	o	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bosgierstgras	
Lysimachia nemorum	kl	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Boswederik	
Ajuga reptans	kl	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kruipend zenegroen	
Geum rivale	kl	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Knikkend nagelkruid	
Viburnum opulus	kl	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	Gelderse roos	
Oxyrrhynchium hians	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kleisnavelmos	
Fissidens taxifolius	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kleivedermos	
Poa nemoralis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Schaduwgras	

			1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7					
			2	27	69	28	66	67	13	3	17	26	6	23	19	24	65	68	61	16	60	20	14	18	11	22	64	63	15	25	21	10	4	12	9		
			GESC	WWSC	SBSC2	SBSC1	KKSC2	KKSC1	GEVSC2	GEVSC1	AWSC	WWVSC	ULAP	SNBAP	AVAP	BEAP	KKAP2	KKAP1	TRVAP	VOVAP	CBVAP	LMVAP2	VOEAP	AVVAP	MAEAP	SNBEAP	BEEAP	GEZU	VOZU	BEZU	SNBZU	BOEU	SCEU	GEEU	SCSC2		
Prunus spinosa		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Sleedoorn	
Neottia ovata	k	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grote keverorchis	
Ornithogalum umbellatum		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewone vogelmelk	
Scutellaria galericulata		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Blauw glidkruid	
Fragaria vesca		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bosaardbei	
Platanthera montana		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bergnachtorchis	
Arum maculatum		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gevlekte aronskelk	
Phegopteris connectilis	o	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Smalle beukvaren	
Luzula pilosa	o	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Ruige veldbies	
Scrophularia nodosa	o	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	Knopig helmkruid	
Silene dioica		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	Dagkoekoeksbloem	
Dryopteris filix-mas		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Mannetjesvaren	
Humulus lupulus		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	Hop	
Gagea spathacea		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Schedegeelster	
Brachythecium rivulare		ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Beekdikkopmos	
Equisetum telmateia		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Reuzenpaardenstaart	
Equisetum hyemale/x moorei		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Schaafstro (groep)	
Equisetum sylvaticum		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	Bospaardenstaart	
Hedera helix	o	kl	2	.	+	2	2	3	4	2	2	2	2	+	3	2	+	2	r	2	1	4	4	+	.	+	r	1	1	+	1	.	.	4	3	Klimop	
Anemone nemorosa	o	kl	3	4	2	2	1	2	5	2	1	3	2	.	2	4	2	2	.	+	.	.	+	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	4	.	Bosanemoon
Oxalis acetosella	o	kl	.	+	2	2	2	2	.	.	2	1	.	2	2	.	2	2	.	.	3	.	.	1	.	2	.	.	.	2	.	.	.	.	.	Witte klaverzuring	
Corylus avellana	o	kl	+	r	r	+	r	.	.	+	.	.	+	+	.	1	.	.	1	.	r	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	Hazelaar	
Carex remota		kl	r	+	.	.	+	.	+	+	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	+	.	.	IJle zegge	
Polygonatum multiflorum	o	kl	+	+	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	r	.	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	Gewone salomonszegel	
Stellaria holostea	o	kl	.	.	2	2	.	1	.	.	3	.	.	2	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grote muur	
Viola riviniana	o	kl	.	.	.	.	+	1	.	+	.	.	.	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bleeksporig bosviooltje	
Athyrium filix-femina	o	kl	+	.	.	.	.	1	+	r	.	.	+	+	.	+	+	+	2	.	.	.	.	r	.	r	r	.	.	.	.	.	+	+	.	Wijfjesvaren	
Soorten van Quercion																																					
Lonicera periclymenum		kl	2	.	r	.	+	.	r	.	.	.	.	1	.	.	2	2	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	Wilde kamperfoelie	
Hypnum cupressiforme/andoi		ml	.	.	+	1	.	1	.	1	.	2	1	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	r	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	Gewoon klauwtjesmos	
Sorbus aucuparia		kl	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	+	.	.	.	+	+	2	r	.	+	r	.	.	.	.	+	r	r	r	.	.	.	.	Wilde lijsterbes	
Polytrichum formosum		ml	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	1	r	.	.	2	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	Fraai haarmos	
Epipactis helleborine s. helleborine		kl	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Brede wespenorchis	
Fagus sylvatica		kl	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.	r	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	r	.	.	.	.	Beuk	
Ilex aquifolium		kl	.	.	.	.	+	r	.	.	+	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	Hulst	
Vaccinium myrtillus		kl	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Blauwe bosbes	
Maianthemum bifolium		kl	.	.	.	.	.	r	.	.	.	+	.	1	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	Dalkruid	
Molinia caerulea		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	Pijpenstrootje
Betula pubescens		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zachte berk	
Dicranella heteromalla		ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2	.	.	.	.	Gewoon pluusjesmos	
Leucobryum glaucum		ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	Kussentjesmos	
Carex pilulifera		kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	Pilzegge
Hypnum jutlandicum		ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	Heideklauwtjesmos

		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7		
		2	27	69	28	66	67	13	3	17	26	6	23	19	24	65	68	61	16	60	20	14	18	11	22	64	63	15	25	21	10	4	12	9		
		GESC	WWSC	SBSC2	SBSC1	KKSC2	KKSC1	GEVSC2	GEVSC1	AVSC	WWVSC	ULAP	SNBAP	AVAP	BEAP	KKAP2	KKAP1	TRVAP	VOVAP	CBVAP	LMVAP2	VOEAP	AVVAP	MAEAP	SNBEAP	BEEAP	GEZU	VOZU	BEZU	SNBZU	BOEU	SCEU	GEEU	SCSC2		
Soorten van Alnion																																				
Valeriana dioica	kl	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	+	.	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kleine valeriaan
Caltha palustris s.l.	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	1	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Dotterbloem	
Filipendula ulmaria	kl	.	.	+	.	.	.	.	.	.	r	.	+	+	+	2	1	.	.	.	.	.	1	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Moerasspirea	
Galium palustre s.l.	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	1	+	.	.	.	.	.	.	1	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Moeraswalstro	
Iris pseudacorus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	r	.	.	.	.	.	.	r	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Gele lis	
Angelica sylvestris	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	Gewone engelwortel	
Lythrum salicaria	kl	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grote kattenstaart
Carex elongata	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	Elzenzegge	
Mentha aquatica	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Watermunt
Myosotis scorpioides s.l.	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Moerasvergeet-mij-nietje (groep)	
Valeriana officinalis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Echte valeriaan	
Calamagrostis canescens	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	Hennegras	
Carex acutiformis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	Moeraszegge	
Carex elata	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Stijve zegge	
Alnus glutinosa	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zwarte els	
Ribes nigrum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zwarte bes	
Peucedanum palustre	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Melkeppe	
Phragmites australis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	Riet	
Lycopus europaeus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Wolfspoot	
Calliergon cordifolium	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Hartbladig puntmos	
Eutrafente soorten																																				
Galium aparine	kl	r	r	.	.	.	r	+	+	r	r	.	+	2	.	.	.	+	.	.	2	1	1	2	1	r	.	.	.	.	2	2	2	2	Kleefkruid	
Urtica dioica	kl	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	2	+	.	.	.	.	.	2	1	3	2	3	1	.	.	.	.	3	1	2	r	Grote brandnetel	
Glechoma hederacea	kl	2	2	1	.	.	+	2	.	.	2	.	1	.	2	.	2	.	.	.	.	1	.	+	+	.	.	.	.	2	.	.	.	2	Hondsdrif	
Geum urbanum	kl	.	.	+	.	.	.	.	.	.	r	+	+	2	.	.	.	.	.	.	+	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	r	.	.	Geel nagelkruid	
Lolium perenne	kl	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Engels raaigras	
Aegopodium podagraria	kl	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Zevenblad	
Sambucus nigra	kl	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	r	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	Gewone vlier	
Solanum dulcamara	kl	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	r	.	.	1	.	.	+	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bitterzoet	
Poa trivialis	kl	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Ruw beemdgras	
Stachys palustris	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Moerasandoorn	
Agrostis gigantea	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Hoog struisgras
Anthriscus sylvestris	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Fluitenkruid
Ranunculus repens	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Kruipende boterbloem	
Acer platanoides	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Noorse esdoorn
Rorippa amphibia	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gele waterkers
Phalaris arundinacea	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	Rietgras	
Impatiens parviflora	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	r	r	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Klein springzaad	
Eupatorium cannabinum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Koninginnenkruid
Salix caprea	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Boswilg
Symphytum officinale	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewone smeerwortel
Impatiens glandulifera	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Reuzenbalsemien
Rumex obtusifolius	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Ridderzuring
Poa palustris	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Moerasbeemdgras
Convolvulus sepium	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	Haagwinde

			1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7			
			2	27	69	28	66	67	13	3	17	26	6	23	19	24	65	68	61	16	60	20	14	18	11	22	64	63	15	25	21	10	4	12	9	
			GESC	WWSC	SBSC2	SBSC1	KKSC2	KKSC1	GEVSC2	GEVSC1	AVSC	WWVSC	ULAP	SNBAP	AVAP	BEAP	KKAP2	KKAP1	TRVAP	VOVAP	CBVAP	LMVAP2	VOEAP	AVVAP	MAEAP	SNBEAP	BEEAP	GEZU	VOZU	BEZU	SNBZU	BOEU	SCEU	GEEU	SCSC2	
Overige soorten																																				
Crataegus monogyna	kl	.	.	+	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	+	r	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	Eenstijlige meidoorn	
Dryopteris dilatata	kl	.	.	.	r	.	.	.	.	2	.	.	.	+	.	.	.	.	2	1	r	+	.	.	.	+	.	.	.	r	+	.	r	.	Brede stekelvaren	
Juncus effusus	kl	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	r	r	.	Pitrus	
Galeopsis tetrahit	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	r	r	.	.	+	Gewone hennepnetel	
Lysimachia nummularia	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	2	+	.	.	.	.	.	.	.	Penningkruid	
Rubus idaeus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Framboos	
Dryopteris carthusiana	kl	+	r	+	r	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	r	r	r	2	+	+	+	.	.	+	.	.	2	.	+	.	r	+	.	Smalle stekelvaren	
Cardamine pratensis	kl	r	+	1	r	r	+	.	+	+	.	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	r	1	+	+	+	.	.	.	.	.	r	+	.	Pinksterbloem
Quercus robur	kl	r	.	.	+	+	+	.	.	.	1	.	r	+	.	+	+	r	2	.	r	.	.	.	r	.	3	.	+	.	.	.	.	r	r	Zomereik
Atrichum undulatum	ml	.	.	1	2	+	1	.	2	2	.	2	1	2	.	.	2	2	+	.	.	2	.	.	.	.	.	.	1	.	2	.	.	2	.	Groot rimpelmos
Brachythecium rutabulum	ml	1	2	2	.	.	.	.	2	2	.	2	1	2	2	.	2	.	2	.	+	.	.	2	2	+	+	.	.	.	1	.	2	2	.	Gewoon dikkopmos
Kindbergia praelonga	ml	2	1	2	2	.	2	2	2	1	.	2	2	2	2	1	2	2	2	1	.	1	.	2	2	+	2	.	2	.	2	.	2	2	.	Fijn laddermos
Rubus spec.	kl	+	r	+	.	.	1	+	2	2	+	2	2	+	.	.	2	2	2	2	+	2	2	2	+	.	.	+	.	+	2	2	4	+	+	Braam (G)
Mnium hornum	ml	1	1	1	2	2	2	2	2	+	.	2	2	+	.	+	2	2	.	1	1	1	+	2	1	.	+	.	2	2	2	.	.	.	1	Gewoon sterrenmos
Agrostis capillaris	kl	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewoon struisgras
Plagiothecium nemorale	ml	.	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Groot platmos
Carex flacca	kl	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zeegroene zegge
Picea abies	kl	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	Fijnspar
Lysimachia vulgaris	kl	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grote wederik	
Plagiothecium laetum s.l.	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	Krom platmos
Plagiommium affine	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	Rond boogsterrenmos
Cornus sanguinea	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Rode kornoelje
Cardamine hirsuta	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kleine veldkers
Equisetum arvense	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Heermoes
Holcus mollis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gladde witbol
Juncus conglomeratus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Biezenknoppen
Crepis paludosa	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Moerasstreekzaad
Thuidium tamariscinum	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewoon thujamos
Alnus incana	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Witte els
Prunus serotina	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	Amerikaanse vogelkers
Agrostis stolonifera	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Fioringras
Quercus rubra	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	Amerikaanse eik
Holcus lanatus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gestreepte witbol
Silene flos-cuculi	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Echte koekoeksbloem
Anthoxanthum odoratum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewoon reukgras
Salix cinerea	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grauwe wilg
Phleum pratense s.l.	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Timoteegras (groep)
Dactylis glomerata	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Kropaar
Pseudoscleropodium purum	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Groot laddermos
Poa pratensis	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Veldbeemdgras
Cardamine flexuosa	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Bosveldkers
Lophocolea bidentata	ml	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	Gewoon kantmos
Epilobium obscurum	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	Donkergroene basterdwederik
Fallopia convolvulus	kl	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	Zwaluwtong

Bijlage B: Analysedata van de bodems van de referentielocaties; totale verweerbare fractie & plant beschikbaar fosfaat

Terrein			Vocht	kg DW/l	Orgstof	Olsen-P	Destructie (verwerbare fractie) mmol/l									
	Code	Datum	(%)		(%)	micrm/l	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
Smoddebos	SB SC1	13-6-2019	31	1	9	762	249	68	136	16	41	4	12	11	23	1
	SB SC1	7-11-2019	34,34	0,86346	11											
	SB SC1	7-5-2020	36,14	0,86519	14	1963										
Smoddebos	SB SC2	13-6-2019	36	1	10	786	185	68	99	14	31	1	10	14	20	1
	SB SC2	7-11-2019	38,31	0,63543	21											
	SB SC2	7-5-2020	36,15	0,81346	12	1691										
Snoeingsbeek	SNB AP	13-6-2019	29	1	7	784	154	34	127	16	34	1	6	8	20	1
	SNB AP	7-11-2019	33,3	0,87617	12											
	SNB AP	7-5-2020	34,92	1,04123	12	2157										
Snoeingsbeek	SNB AP2	13-6-2019	27	1	5	628	189	30	86	9	24	3	6	6	25	1
	SNB AP2	7-11-2019	39,9	0,77123	12											
	SNB EAP	7-5-2020	39,84	0,95815	10	1302										
Snoeingsbeek	SNB VAP	13-6-2019	46	0	40	969	34	13	22	4	7	0	4	12	7	0
	SNB VAP	13-6-2019	21	1	9	805	175	22	136	12	31	9	5	6	20	1
	SNB VAP	7-11-2019	29,64	0,83519	10											
	SNB VAP	7-5-2020	28,84	0,91519	15	956										
Lemselermaten	LM VAP	13-6-2019	25	1	8	767	129	66	557	6	21	6	33	9	20	1
	LM VAP	7-11-2019	29,12	0,87469	11											
	LM VAP 2	7-5-2020	32,01	1,0242	10	1584										
Achter de Voort	AV AP	13-6-2019	30	1	14	877	136	91	279	9	21	29	15	19	14	0
	AV AP	7-11-2019	32,78	0,65407	17											
	AV AP	7-5-2020	39,23	0,71988	16	1283										
Achter de Voort	AV VAP	13-6-2019	29	1	11	1511	129	46	93	9	17	1	11	13	17	0
	AV VAP	7-11-2019	36,98	0,52975	18											
	AV VAP	7-5-2020	30,01	1,16568	6	1576										
Achter de Voort	AV VSC	13-6-2019	57	0	51	1358	26	18	25	3	5	1	6	15	7	0
	AV VSC	13-6-2019	22	1	8	1676	97	6	56	6	10	0	5	8	19	0
	AV VSC	7-11-2019	27,62	1,01432	8											
	AV VSC	7-5-2020	36,02	0,66407	14	1298										
Willinks Weust	WW SC	17-5-2019	21	1	14	661	410	50	132	17	66	1	9	17	16	1
	WW SC	30-10-2019	26,64	0,66556	14											
	WW SC	7-5-2020	20,15	0,77	11	2315										
Willinks Weust	WW VSC	17-5-2019	22	1	17	569	525	58	160	19	91	2	9	21	16	1
	WW VSC	30-10-2019	28,22	0,56136	18											
	WW VSC	7-5-2020	29,09	0,71025	16	1811										
Willinks Weust	WW EAP	30-10-2019	39,88	0,46556	26	608	68,5	29,6	53,8	2,94	9,75	0,26	3,99	14,1	1,56	0,21
	WW EAP	7-5-2020	39,9	0,63123	21	1416										
Bekendelle	BE EAP	17-5-2019	33	1	11	852	259	60	181	14	37	8	17	12	20	2
	BE EAP	30-10-2019	36,4	0,56296	15											
	BE EAP	7-5-2020	40,46	0,8363	13	2316										
Bekendelle	BE AP	17-5-2019	29	1	13	531	108	125	75	5	24	5	9	20	12	1
	BE AP	30-10-2019	42,11	0,41617	25											
	BE AP	7-5-2020	50,43	0,56148	23	772										
Bekendelle	BE Zu	17-5-2019	18	1	9	793	201	6	140	4	10	1	5	10	16	0
	BE Zu	17-5-2019	61	0	80	963	9	10	5	2	2	1	3	10	5	0
	BE Zu	30-10-2019	38,43	0,39827	28											
	BE Zu	7-5-2020	34,31	0,51	22	1153										

Vervolg bijlage B

Terrein	Code	Datum	Vocht (%)	kg DW/l	Orgstof (%)	Olsen-P micrm/l	Destructie (verweerbare fractie) mmol/l									
							Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
Voorstonden	VO VAP1	16-5-2019	32	1	19	588	274	83	160	13	57	4	9	14	19	1
	VO VAP1	30-10-2019	32,36	0,51938	21											
	VO VAP1	7-5-2020	38,82	0,68272	20	1447										
Voorstonden	VO VAP2	16-5-2019	65	0	57	924	9	16	10	2	4	1	4	11	4	0
	VO VAP2	16-5-2019	25	1	10	2097	73	7	242	4	8	1	16	7	17	0
	VO VAP2	30-10-2019	51,23	0,33444	36											
	VO VAP2	7-5-2020	40,43	0,53988	25	896										
Voorstonden	VO Zu	16-5-2019	54	0	32	676	29	13	19	2	6	2	4	13	6	0
	VO Zu	16-5-2019	18	1	5	673	205	4	159	9	32	1	2	4	24	0
	VO Zu	30-10-2019	40,27	0,42753	25											
	VO Zu	7-5-2020	27,24	0,62704	15	1705										
Geelders	GE SC	25-6-2019	27	1	9	800	182	49	79	5	30	2	8	11	14	0
	GE SC	8-11-2019	27,78	0,99753	9											
	GE SC	14-5-2020	41,39	0,3442	37											
Geelders	GE VSC1	25-6-2019	37	1	22	1262	49	23	41	4	8	0	6	13	10	0
	GE VSC1	8-11-2019	33,07	0,68593	17											
	GE VSC1	14-5-2020	40,29	0,37309	30											
Geelders	Ge VSC2	25-6-2019	27	1	11	1031	145	44	102	4	15	1	9	17	14	0
	Ge VSC2	8-11-2019	32,05	0,92012	11											
	Ge VSC2	14-5-2020	29,88	1,05864	8											
Geelders	GE ZU	25-6-2019	70	0	88	857	7	8	4	1	2	0	3	10	3	0
	GE ZU	25-6-2019	26	1	13	1484	41	5	33	3	4	0	4	6	11	0
	GE ZU	8-11-2019	35,7	0,50802	21											
	GE ZU	14-5-2020	23,83	0,90827	9											
Geelders	GE EU	25-6-2019	25	1	13	1229	72	22	90	4	11	1	7	10	13	0
	GE EU	8-11-2019	29,13	0,66691	13											
	GE EU	14-5-2020	30,39	0,76679	12											
Scheeken	SC EU1	25-6-2019	21	1	7	656	74	51	278	5	16	6	15	6	14	0
	SC EU1	31-10-2019	20,04	0,83272	6											
	SC EU1	14-5-2020	24,92	1,23889	6											
Scheeken	SC EU2	8-11-2019	24,11	0,92099	7	808	22	9,59	42,9	0,94	3,64	1,23	2,8	1,89	0,99	0,1
	SC EU2	14-5-2020	21,02	0,91654	8											
Boskant	BO EU	25-6-2019	26	1	9	722	169	98	355	7	40	4	18	10	19	1
	BO EU	31-10-2019	21,53	0,79741	8	398	32	15,4	48,4	1,76	6,14	0,94	2,23	1,97	1,17	0,12
	BO EU	14-5-2020	28,08	1,24358	7											
Ulvenhouts bos	UL AP	25-6-2019	47	1	28	705	97	58	115	4	14	0	8	16	10	0
	UL AP	8-11-2019	61,7	0,48543	28	340	36,2	57,6	118	1,53	4,97	0,93	5,05	8,36	1,45	0,19
	UL AP	7-5-2020	52,51	0,57086	29	1195										
Dommeldal thv Malpie	Ma EAP	31-10-2019	54,14	0,33222	29	632	97,5	17,9	187	4,26	6,65	2,54	14,7	11,5	1,02	3,46
	Ma EAP	6-5-2020	56,87	0,40741	30											
Tongelreep	To VAP	31-10-2019	27,36	0,66679	12	883	16,3	2,24	15,6	1,04	1,45	0,34	1,67	2,55	1,61	0,13
	To VAP	6-5-2020	29,56	0,73222	12											
Collse bos	CB VAP	31-10-2019	35,16	0,49173	20	557	35,7	10,3	20,6	1,32	3,26	0,13	2,29	6,64	1,23	0,16
	CB VAP	6-5-2020	42,93	0,68568	20											

Bijlage C: Analysedata van de bodems van de referentielocaties; Zout (NaCl)-extraheerbare fractie

Terrein	Code	Datum	pH	BV-z	Zoutextract, waarden in micromol/liter verse bodem											
					NO3-	NH4+	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
Smoddebos	SB SC1	13-6-2019	5,37	100	371	87	7	17054	2	3288	4169	9	1,2	200	172	6
	SB SC1	7-11-2019	4,89	99	191	110	26	13619	5	2494	3604	32	2,3	200	86	9
	SB SC1	7-5-2020	4,52	99	148	116	51	12212	7	1411	3412	51	2,0	134	97	10
Smoddebos	SB SC2	13-6-2019	5,21	100	219	102	9	18168	3	941	3366	11	0,8	220	126	6
	SB SC2	7-11-2019	3,54	91	67	70	461	7656	29	1120	1934	13	1,6	129	55	18
	SB SC2	7-5-2020	4,24	98	110	105	103	13245	9	716	2664	24	0,8	152	87	13
Snoeingsbeek	SNB AP	13-6-2019	4,78	99	195	97	44	16987	4	835	3258	24	0,8	324	229	14
	SNB AP	7-11-2019	4,58	98	186	229	47	14605	6	1537	3118	83	0,5	191	181	11
	SNB AP	7-5-2020	4,23	97	242	179	147	14568	6	1387	2962	173	1,2	156	205	12
Snoeingsbeek	SNB AP2	13-6-2019	5,00	99	112	147	18	11757	3	1427	2071	20	0,7	282	150	26
	SNB AP2	7-11-2019	5,75	100	324	19	3	14958	1	1304	2073	1	2,2	175	203	2
	SNB EAP	7-5-2020	5,86	100	86	49	3	18589	1	808	2641	12	1,5	801	293	1
Snoeingsbeek	SNB VAP	13-6-2019	3,22	90	13	220	110	3922	17	729	1549	82	10,3	95	57	7
	SNB VAP	13-6-2019	2,42	51	74	160	1992	7431	35	819	2344	162	1,7	168	176	18
	SNB VAP	7-11-2019	3,11	67	3	58	1625	4627	31	661	2291	98	2,0	117	76	14
Lemselermaten	SNB VAP	7-5-2020	3,24	68	14	264	1693	5145	72	795	2141	157	2,6	115	111	18
	LM VAP	13-6-2019	5,15	99	399	224	14	20167	15	484	3299	33	4,0	360	255	2
	LM VAP	7-11-2019	4,95	99	251	69	21	17827	12	393	2579	25	5,0	166	193	3
Achter de Voort	LM VAP 2	7-5-2020	5,13	99	269	226	12	16922	9	334	2890	27	2,3	339	167	3
	AV AP	13-6-2019	5,46	99	396	187	16	17694	12	1400	2552	8	5,1	473	114	1
	AV AP	7-11-2019	5,57	100	234	118	8	15177	5	1635	2309	4	3,1	185	111	1
Achter de Voort	AV AP	7-5-2020	5,73	98	193	386	13	12277	7	980	1627	14	1,8	356	95	1
	AV VAP	13-6-2019	5,09	99	420	191	19	16603	8	868	1824	25	3,9	388	120	4
	AV VAP	7-11-2019	3,15	80	182	91	354	3850	39	687	1062	173	12,6	94	36	10
Achter de Voort	AV VAP	7-5-2020	5,12	99	158	113	39	13993	3	596	1327	22	1,6	772	130	3
	AV VSC	13-6-2019	3,20	86	296	241	82	4021	22	750	1094	258	38,0	93	64	7
	AV VSC	13-6-2019	3,22	54	111	111	1082	2263	71	914	588	65	10,9	186	93	7
Willinks Weust	AV VSC	7-11-2019	4,91	99	297	111	30	14811	7	1080	1633	16	2,9	187	92	5
	AV VSC	7-5-2020	3,26	71	105	221	489	2849	49	490	708	150	5,5	114	70	9
	WW SC	17-5-2019	4,23	98	371	170	166	15576	14	1915	4616	31	1,7	189	133	24
Willinks Weust	WW SC	30-10-2019	4,56	98	204	70	124	11067	8	1590	3560	26	1,1	202	91	16
	WW SC	7-5-2020	3,92	92	260	110	523	9606	24	836	2729	37	1,2	137	85	20
	WW VSC	17-5-2019	4,86	99	111	181	31	15360	5	651	6324	28	1,5	137	108	17
Willinks Weust	WW VSC	30-10-2019	4,65	99	170	102	36	9860	4	813	4239	21	1,5	125	77	14
	WW VSC	7-5-2020	4,09	95	69	152	271	8438	12	395	3261	55	1,8	134	61	30
	WW EAP	30-10-2019	4,23	97	92	73	122	9637	17	297	1324	28	1,0	294	57	17
Bekendelle	WW EAP	7-5-2020	4,02	96	225	100	185	12126	40	215	1623	45	1,5	653	95	30
	BE EAP	17-5-2019	5,22	99	73	121	10	13778	2	1492	2798	18	1,3	770	208	16
	BE EAP	30-10-2019	5,12	99	125	96	41	9260	2	857	1820	17	1,1	249	134	16
Bekendelle	BE EAP	7-5-2020	5,15	99	69	118	9	14660	2	1071	2538	25	1,4	702	241	15
	BE AP	17-5-2019	6,62	99	247	373	7	19146	6	550	4227	27	2,3	612	256	0
	BE AP	30-10-2019	6,24	99	359	140	12	9865	2	277	1870	4	1,1	269	147	0
Bekendelle	BE AP	7-5-2020	6,51	99	94	124	9	12197	2	324	2430	8	1,7	311	162	0
	BE Zu	17-5-2019	3,24	22	178	407	2860	913	65	652	290	77	3,3	223	163	14
	BE Zu	17-5-2019	2,97	75	94	344	83	1412	8	496	611	150	20,7	50	50	12
Bekendelle	BE Zu	30-10-2019	3,04	46	21	160	842	1190	14	221	397	110	3,2	70	63	14
	BE Zu	7-5-2020	3,17	40	90	227	1402	1438	17	247	383	150	2,6	100	72	19

Vervolg bijlage C

Terrein	Code	Datum	pH	BV-z	Zoutextract, waarden in micromol/liter verse bodem											
					NO3-	NH4+	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
Voorstonden	VO VAP1	16-5-2019	4,27	98	49	65	88	14727	18	229	2333	57	1,7	368	124	17
	VO VAP1	30-10-2019	5,7	100	288	38	2	11252	3	306	2381	3	1,6	248	154	0
	VO VAP1	7-5-2020	5,26	100	98	12	7	16747	2	190	2449	18	0,3	669	187	2
Voorstonden	VO VAP2	16-5-2019	3,11	89	133	153	17	2530	5	454	871	76	47,2	48	34	5
	VO VAP2	16-5-2019	3,18	61	194	47	934	2828	28	595	705	63	13,5	158	130	9
	VO VAP2	30-10-2019	3,02	82	147	48	114	2662	5	153	708	78	24,9	51	34	5
Voorstonden	VO VAP2	7-5-2020	2,97	81	263	215	191	4546	14	462	1235	156	72,9	98	81	11
	VO Zu	16-5-2019	3,03	74	100	103	172	1904	10	254	726	199	4,6	60	52	8
	VO Zu	16-5-2019	3,37	16	74	110	2763	383	56	555	314	22	2,1	191	114	5
	VO Zu	30-10-2019	2,95	66	17	66	310	1877	7	154	820	220	1,7	62	41	10
	VO Zu	7-5-2020	3,11	56	86	270	785	1911	29	316	764	191	5,9	105	74	13
Geelders	GE SC	25-6-2019	4,99	98	166	296	18	13715	11	582	2835	65	4,0	210	106	3
	GE SC	8-11-2019	4,74	99	31	124	34	13921	6	403	3968	60	4,1	274	161	9
	GE SC	14-5-2020	3,38	85	469	842	111	3827	10	604	1036	135	12,2	117	58	8
Geelders	GE VSC1	25-6-2019	3,56	95	419	136	69	7288	12	1471	2143	59	30,8	141	86	51
	GE VSC1	8-11-2019	3,66	95	216	114	105	7936	11	1230	2384	56	22,8	307	145	61
	GE VSC1	14-5-2020	3,04	84	474	514	98	4245	7	444	1137	119	18,5	102	63	30
Geelders	Ge VSC2	25-6-2019	3,80	96	157	127	160	10800	20	409	1760	38	5,3	198	97	40
	Ge VSC2	8-11-2019	4,76	99	158	102	47	15860	6	355	2459	27	0,8	378	129	10
	Ge VSC2	14-5-2020	4,06	93	394	85	348	9685	23	460	1856	72	1,5	201	141	57
Geelders	GE ZU	25-6-2019	2,90	85	61	110	12	1435	1	354	535	42	34,7	36	27	5
	GE ZU	25-6-2019	2,93	66	213	109	618	3282	36	1048	1045	70	39,4	143	90	15
	GE ZU	8-11-2019	3	55	218	128	1173	2098	28	880	715	61	12,3	128	57	18
Geelders	GE ZU	14-5-2020	2,73	34	266	89	1283	1485	25	637	464	45	16,1	126	75	10
	GE EU	25-6-2019	3,37	93	237	120	101	8790	16	538	1905	58	7,1	167	124	37
	GE EU	8-11-2019	4,07	97	119	83	83	9036	8	317	2061	69	4,3	358	113	32
Scheeken	GE EU	14-5-2020	4,23	97	269	165	50	8330	16	1366	2498	52	8,2	172	171	23
	SC EU1	25-6-2019	5,31	99	269	157	25	14391	4	742	2894	10	3,2	181	129	1
	SC EU1	31-10-2019	5,38	100	144	85	14	13987	3	271	2740	8	3,2	159	140	1
Scheeken	SC EU1	14-5-2020	4,81	99	385	459	4	18348	2	862	4478	19	1,6	261	233	1
	SC EU2	8-11-2019	4,7	99	52	60	28	13219	11	440	3061	43	3,2	414	311	9
	SC EU2	14-5-2020	3,44	90	256	330	139	6785	17	343	1778	61	8,5	170	130	30
Boskant	BO EU	25-6-2019	5,96	100	330	89	17	19979	3	247	4589	1	1,4	168	299	1
	BO EU	31-10-2019	5,44	100	198	80	13	13331	4	217	3072	4	2,4	253	201	1
	BO EU	14-5-2020	5,20	100	217	133	18	19647	2	226	4481	12	1,8	169	332	1
Ulvenhouts bos	UL AP	25-6-2019	4,83	99	46	128	26	10578	46	217	2798	18	0,8	123	184	5
	UL AP	8-11-2019	5,49	100	19	44	4	9883	3	96	1193	12	1,4	123	179	1
	UL AP	7-5-2020	5,13	100	94	64	6	10931	2	103	1234	9	0,6	172	233	1
Dommeldal thv Malpie	Ma EAP	31-10-2019	4,9	96	112	43	14	3832	1	567	785	15	0,2	348	139	162
	Ma EAP	6-5-2020	4,55	95	186	63	18	5039	1	496	1039	18	0,4	247	143	220
Tongelreep	To VAP	31-10-2019	3,45	77	100	253	380	3084	26	781	704	153	3,8	208	133	69
	To VAP	6-5-2020	3,10	68	289	315	570	3459	51	657	919	266	4,5	148	103	97
Collse bos	CB VAP	31-10-2019	3,62	91	254	300	132	5155	37	279	1396	51	2,2	203	114	40
	CB VAP	6-5-2020	2,90	65	261	257	713	3584	77	354	1062	75	2,8	217	206	41

Landschapsecologische systeemanalyses van vochtige bossen

Bijlage document bij OBN rapportage "De nutriëntenkringloop tijdens herstel van basenrijke, vochtige bossen"

11-04-2022

M.L. Franssen & A.J.M. Jansen

Met medewerking van: R.F. van den Burg, I. Diepeveen, R. Versluijs & B.J.H.M. Possen.

In opdracht van: OBN, Provincie Gelderland, Provincie Noord-Brabant, Provincie Overijssel

COLOFON

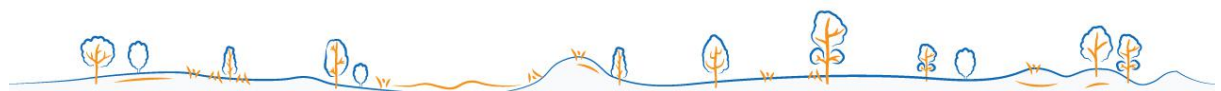
Titel: Landschapsecologische systeemanalyses van vochtige bossen

Auteurs: M.L. Franssen & A.J.M. Jansen

Foto voorkant: M. L. Franssen

Stichting Bargerveen | Nijmegen | November 2020

www.stichtingbargerveen.nl | www.linkedin.com/company/stichting-bargerveen



Inhoud

1	Voorwoord	4
2	Systeemanalyses	5
2.1	Bekendelle	5
2.1.1	Algemeen	5
2.1.2	Reliëf	5
2.1.3	Geologie en geomorfologie	6
2.1.4	Hydrologie	8
2.1.5	Bodem	10
2.1.6	Vegetatie en flora	10
2.2	Willinks Weust	12
2.2.1	Algemeen	12
2.2.2	Reliëf	12
2.2.3	Geologie en geomorfologie	13
2.2.4	Hydrologie	16
2.2.5	Bodem	20
2.2.6	Vegetatie en flora	21
2.3	Smoddebos	23
2.3.1	Algemeen	23
2.3.2	Reliëf	23
2.3.3	Geologie & geomorfologie	25
2.3.4	Hydrologie	27
2.3.5	Bodem	28
2.3.6	Vegetatie en flora	29
2.4	Snoeyinksbeek	31
2.4.1	Algemeen	31
2.4.2	Reliëf	31
2.4.3	Geologie en geomorfologie	33
2.4.4	Hydrologie	34
2.4.5	Bodem	36
2.4.6	Vegetatie en flora	37
2.5	Achter de Voort	39
2.5.1	Algemeen	39
2.5.2	Reliëf	39

2.5.3	Geologie en geomorfologie	41
2.5.4	Hydrologie	43
2.5.5	Bodem	46
2.5.6	Vegetatie en flora	47
2.6	De Geelders	49
2.6.1	Algemeen	49
2.6.2	Reliëf	49
2.6.3	Geologie en geomorfologie	51
2.6.4	Hydrologie	52
2.6.5	Bodem	55
2.6.6	Vegetatie en flora	57
2.7	De Scheeken en Boskant.....	60
2.7.1	Algemeen	60
2.7.2	Reliëf	60
2.7.3	Geologie en geomorfologie	61
2.7.4	Hydrologie	63
2.7.5	Bodem	65
2.7.6	Vegetatie en flora	66
2.8	Urkhovense zeggen.....	68
2.8.1	Algemeen	68
2.8.2	Reliëf	68
2.8.3	Geologie en geomorfologie	69
2.8.4	Hydrologie	71
2.8.5	Bodem	74
2.8.6	Vegetatie en flora	75
2.9	De Malpie	77
2.9.1	Algemeen	77
2.9.2	Reliëf	77
2.9.3	Geologie en geomorfologie	78
2.9.4	Hydrologie	80
2.9.5	Bodem	82
2.9.6	Vegetatie en flora	84
2.10	Tongelreep.....	85
2.10.1	Algemeen	85
2.10.2	Reliëf	85

2.10.3	Geologie en geomorfologie	86
2.10.4	Hydrologie	88
2.10.5	Bodem	91
2.10.6	Vegetatie en flora	91
2.11	Voorstonden	93
2.11.1	Algemeen	93
2.11.2	Reliëf	93
2.11.3	Geologie en geomorfologie	95
2.11.4	Hydrologie	97
2.11.5	Bodem	100
2.11.6	Vegetatie en flora	101
2.12	Lemselermaten	103
2.12.1	Algemeen	103
2.12.2	Reliëf	103
2.12.3	Geologie & geomorfologie	104
2.12.4	Hydrologie	106
2.12.5	Bodem	109
2.12.6	Vegetatie en flora	109
2.13	Ulvenhoutse bos	111
2.13.1	Algemeen	111
2.13.2	Reliëf	111
2.13.3	Geologie en geomorfologie	112
2.13.4	Hydrologie	114
2.13.5	Bodem	117
2.13.6	Vegetatie en flora	119
2.14	Kohkamp	120
2.14.1	Algemeen	120
2.14.2	Reliëf	120
2.14.3	Geologie en geomorfologie	121
2.14.4	Hydrologie	121
2.14.5	Bodem	122
2.14.6	Vegetatie en flora	122
3	Referenties	124

1 Voorwoord

Dit bijlagedocument bevat alle landschapsecologische achtergrondinformatie waarop Hoofdstuk 3 "Ecologisch functioneren op landschapsschaal" uit de OBN rapportage "De nutriëntenkringloop tijdens herstel van basenrijke, vochtige bossen" is gebaseerd. De gebruikte afkortingen in dit document zijn toegelicht in Tabel 1 en de betekenis van de verschillende grondwatertrappen staan in Tabel 2. In het hoofdrapport staat een beknopte beschrijving van de gebruikte methode.

Tabel 1: Gebruikte afkortingen en begrippen.

Afkorting	Betekenis
GLG	Gemiddeld laagste grondwaterstand
GHG	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
GVG	Gemiddelde voorjaars grondwaterstand
Mv	Maaiveld
NAP	Normaal Amsterdams Peil

Tabel 2: Grondwatertrappen

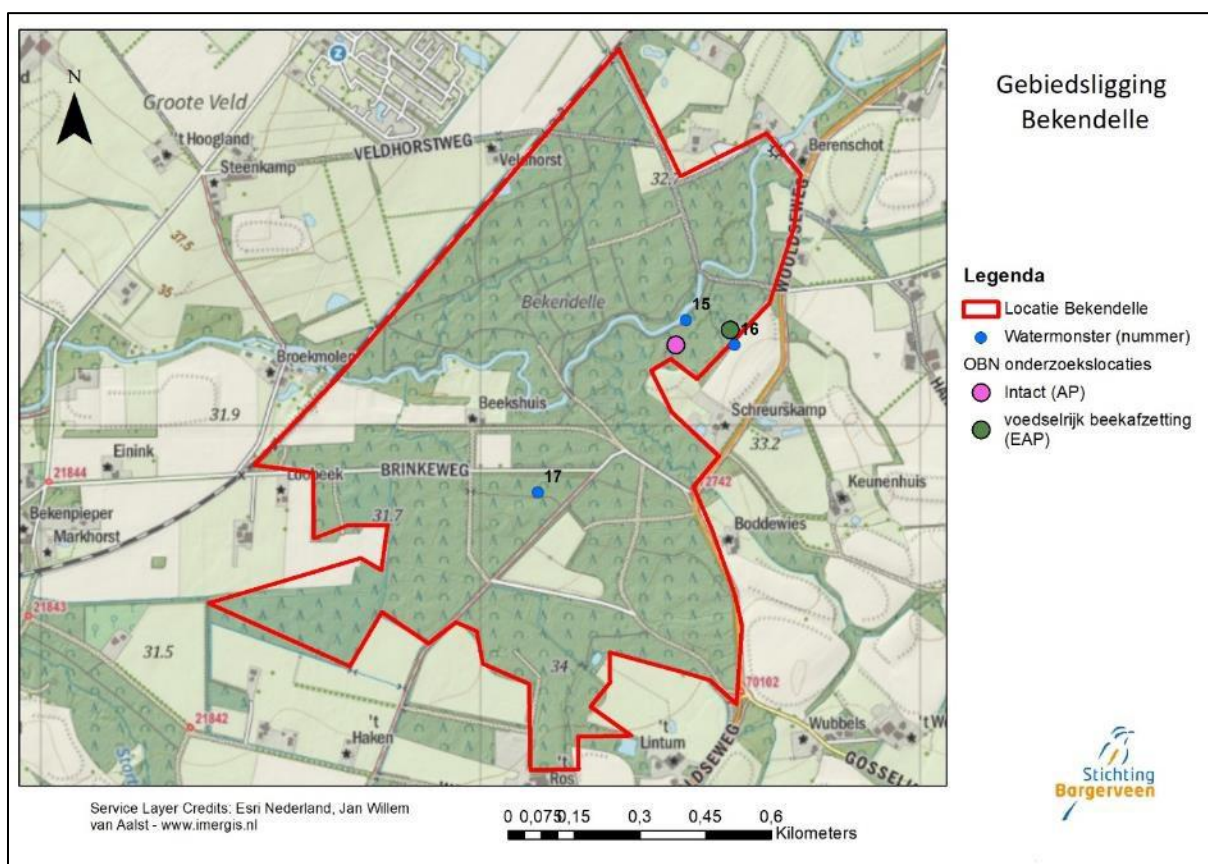
Grondwatertrap (Gt)	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in cm-mv	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in cm-mv
Ia	< 25	< 50
Ic	> 25	< 50
IIa	< 25	50 - 80
IIb	25 - 40	50 - 80
IIc	> 40	50 - 80
IIIa	< 25	80 - 120
IIIb	25 - 40	80 - 120
IVu	40 - 80	80 - 120
IVc	> 80	80 - 120
Va	< 25	> 120
Vao	< 25	120 - 180
Vad	< 25	> 180
Vb	25 - 40	> 120
Vbo	25 - 40	120 - 180
Vbd	25 - 40	> 180
VI	40 - 80	> 120
Vlo	40 - 80	120 - 180
Vld	40 - 80	> 180
VII	80 - 140	> 120
VIIo	80 - 140	120 - 180
VIIId	80 - 140	> 180
VIII	> 140	> 120
VIIIo	> 140	120 - 180
VIIId	> 140	> 180

2 Systeemanalyses

2.1 Bekendelle

2.1.1 Algemeen

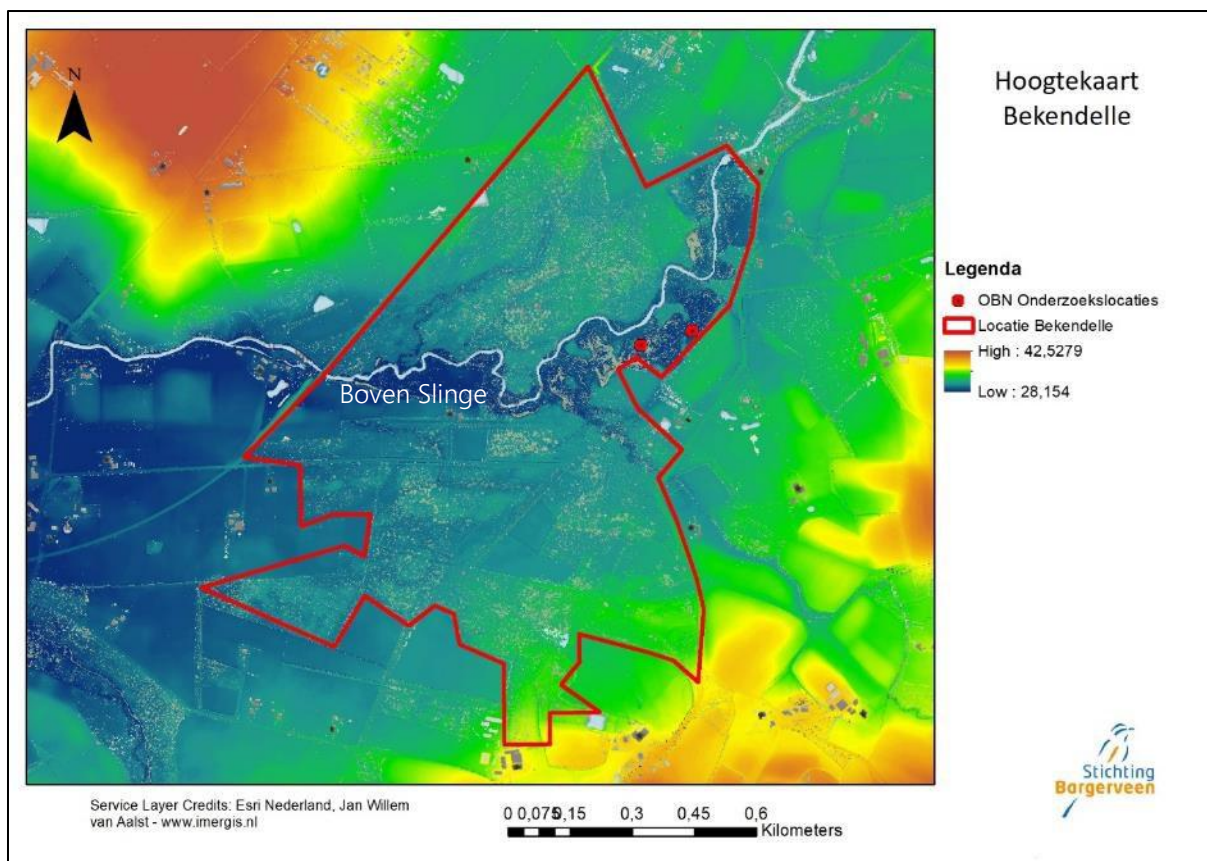
Bekendelle is een Natura 2000-gebied en bevindt zich ten zuiden van Winterswijk. Het gebied is circa 99 hectare en omvat een bosgebied langs beide zijden van de hier vrij meanderende Boven Slinge. Aan het begin van de negentiende eeuw is het gebied gedeeltelijk spontaan bebost geraakt en deels aangeplant. Natuurmonumenten heeft vijf hectare van het Natura 2000-gebied in bezit, wat is aangewezen als bosreservaat (WENR,2021), en de rest is eigendom van verschillende particulieren. In het gebied zijn twee onderzoekslocaties aanwezig: een met intact "*Alno-Padion*" en een met "*Alno-Padion* met voedselrijke beekafzettingen" (Figuur 1).



Figuur 1 Gebiedsligging Bekendelle met OBN onderzoekslocatie, waar ook vlakbij grondwatermonster genomen zijn (15, 16, 17).

2.1.2 Reliëf

Bekendelle bevindt zich in een laagte op de rand van het Oost-Nederlands plateau. De hoogte van het maaiveld loopt af met de stromingsrichting van de Boven Slinge, van noordoost naar zuidwest. De laagstgelegen delen van het gebied, bevinden zich rond de beek, zoals de zuidelijke oever van de Boven Slinge en liggen rond de 29-31 m +NAP. In het zuiden van het gebied loopt de maaiveldhoogte op tot 32m +NAP en in het noorden tot circa 33 m +NAP. De onderzoekslocaties liggen in het lage gedeelte, relatief dichtbij de Boven Slinge (Figuur 2) (AHN3, 2021; Provincie Gelderland, 2017).

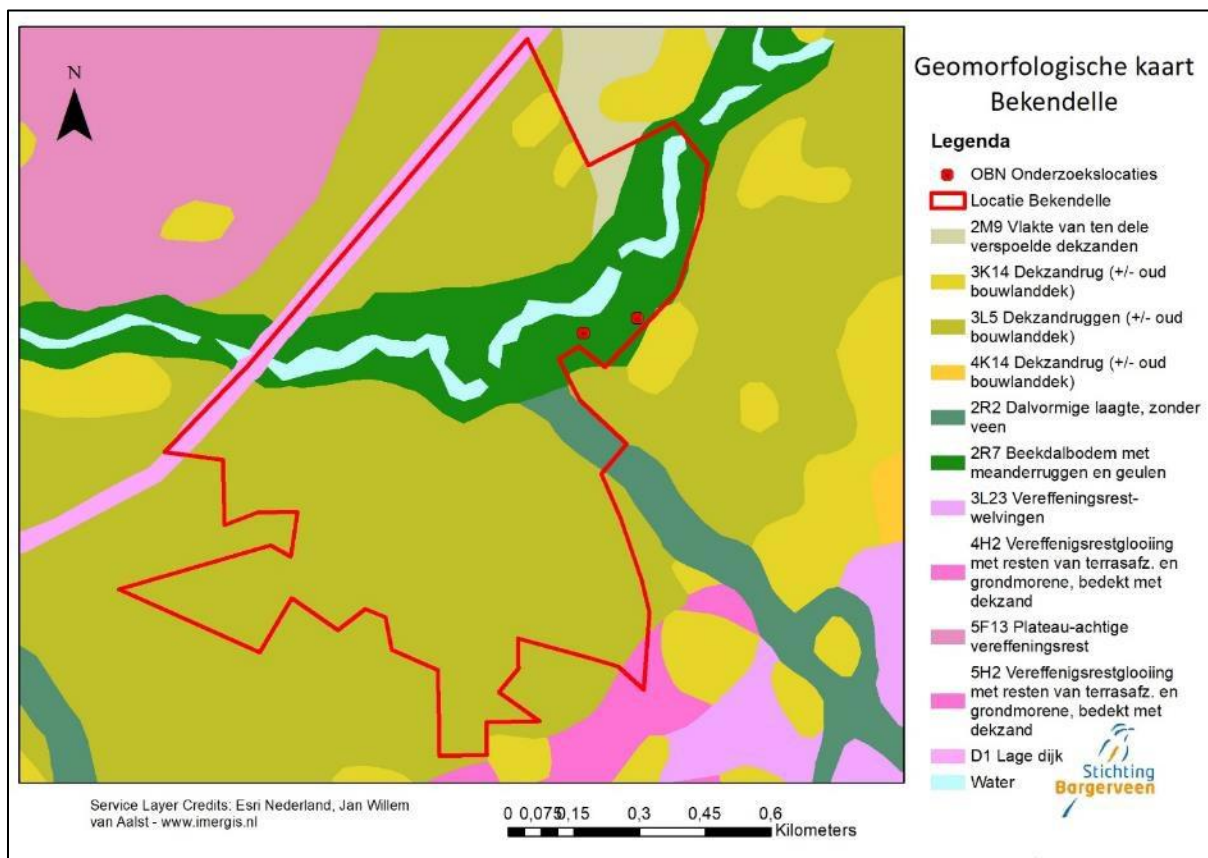


Figuur 2 Hoogtekaart van Bekendelle (AHN3, 2021).

2.1.3 Geologie en geomorfologie

Bekendelle bevindt zich in een zijtak van een grote smeltwatergeul (Figuur 3). Deze zijtak heeft grofweg dezelfde loop als de huidige loop van de Boven Slinge. In het gebied komen een aantal geulsystemen ondergronds samen. Deze geulen zijn uitgesleten in tertiaire kleipakketten (Rupel Formatie). Binnen Bekendelle ligt de bovenkant van deze laag circa 10-20 m onder het maaiveld in de erosiegeul en aan de noord- en zuidzijde van de geul bevindt zich deze laag tot minder dan vijf meter onder maaiveld (Provincie Gelderland, 2017) (Figuur 4). Deze laag heeft een zeer slechte doorlatendheid en is de afbakening van het freatisch watervoerend pakket. De erosiegeulen zijn opgevuld met fluvioperiglaciale afzettingen, vooral bestaande uit grind en grove zanden (Formatie van Drenthe). Hier bovenop zijn pakketten dekzand afgezet van enkele meters dik. Op de ruggen ligt op het tertiair een dunne laag grof zand, met hierop een dunne laag keileem en een dunne laag dekzand (Provincie Gelderland, 2017).

Geomorfologisch bestaat het beekdal van de Boven Slinge uit de eenheid "Beekdalbodem met meanderruggen en geulen" en hieromheen zijn dekzandruggen aanwezig (Figuur 5) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 5 Geomorfologische kaart van Bekendelle (Basisregister Ondergrond, 2021).

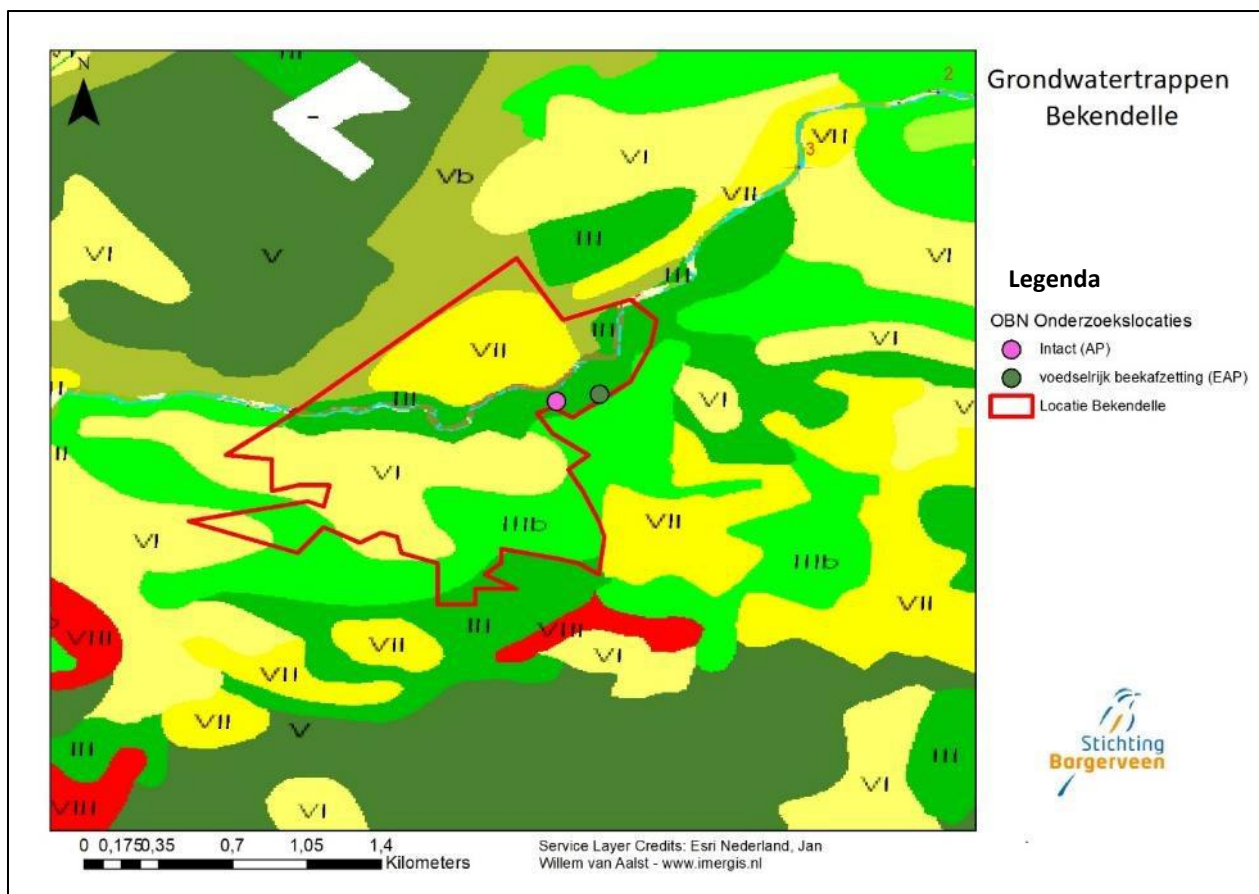
2.1.4 Hydrologie

2.1.4.1 Hydrologisch systeem

Bekendelle ligt in het beekdal van de Boven Slinge. Door de ondiepe ligging van de slecht doorlatende Tertiaire kleien en keileem zijn de watervoerende pakketten dun. Hierdoor kunnen snel natte tot vochtige omstandigheden ontstaan en is de invloed van lokale watersystemen dominant. Het freatische watervoerend pakket wordt gevoed door een mix van regionaal en lokaal grondwater, infiltratie- en oppervlaktewater. Het regionale grondwater is kalk- en sulfaatrijk en komt uit het tracé van de Boven Slinge en de zijgeulen van de Limbeek en Stortelsbeek. Vanuit het achterland van Bekendelle wordt infiltratiewater afgevoerd en bij hoge afvoer is er sprake van inundatie van de zuidkant van de Boven Slinge (Provincie Gelderland, 2017).

2.1.4.2 Grondwatertrappen

In het gedeelte ten noorden van de Boven Slinge zijn grondwatertrappen VI tot VII aanwezig. Ten zuiden ligt de GHG een stuk hoger en zijn grondwatertrappen III en V te vinden (Figuur 6). Dit verschil is te verklaren doordat de doorlatendheid van de bodem aan de noordzijde veel groter is, waardoor de Boven Slinge hier een sterkere drainerende werking heeft. De onderzoekslocaties liggen in grondwatertrap III (Waterschap Rijn en IJssel, 2010; Provincie Gelderland, 2017).



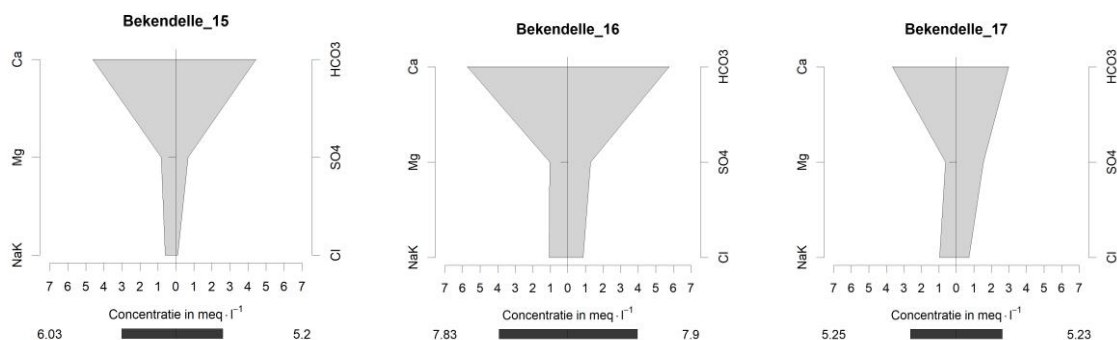
Figuur 6 Grondwatertrappenkaart Bekendelle, Stibokakaart 1980 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.1.4.1 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

In Bekendelle zijn geen peilbuisgegevens beschikbaar in de nabijheid van de onderzoekslocaties.

2.1.4.2 Waterkwaliteit

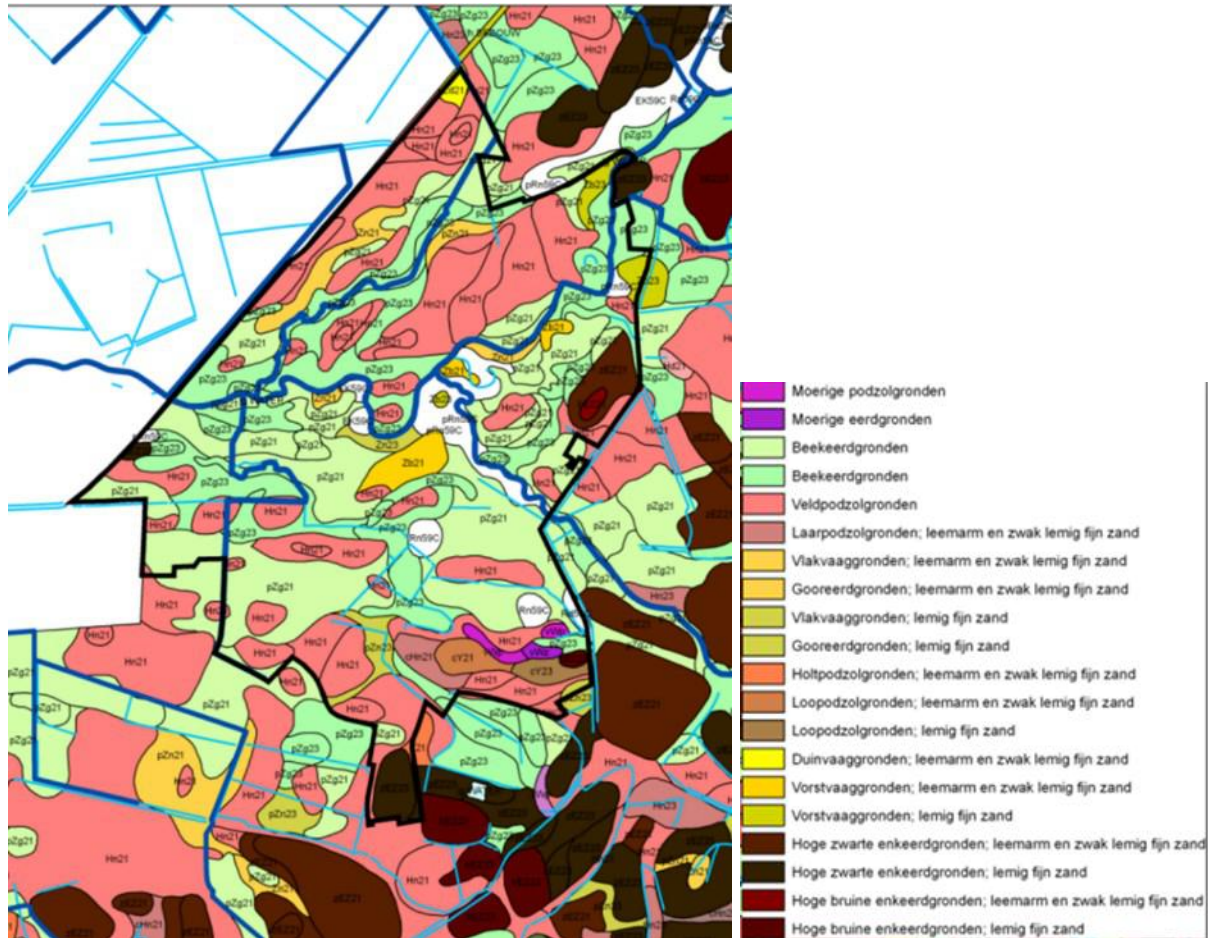
De kwaliteit van het grondwater is in Bekendelle op drie locaties gemeten en op alle locaties duiden de Stiffdiagrammen op basenrijk grondwater (Figuur 7).



Figuur 7 Stiffdiagrammen Bekendelle.

2.1.5 Bodem

Volgens de 1:10.000 bodemkaart bestaat de bodem in de hoger gelegen delen voornamelijk uit zwak lemige, matig fijne veldpodzolgronden (Figuur 8). De laaggelegen delen bestaan uit voedselrijke beekafzettingen en te karakteriseren als beekoordgronden en vlakvaaggronden. De onderzoekslocaties bevinden zich op beekoordgrond (Provincie Gelderland, 2017).



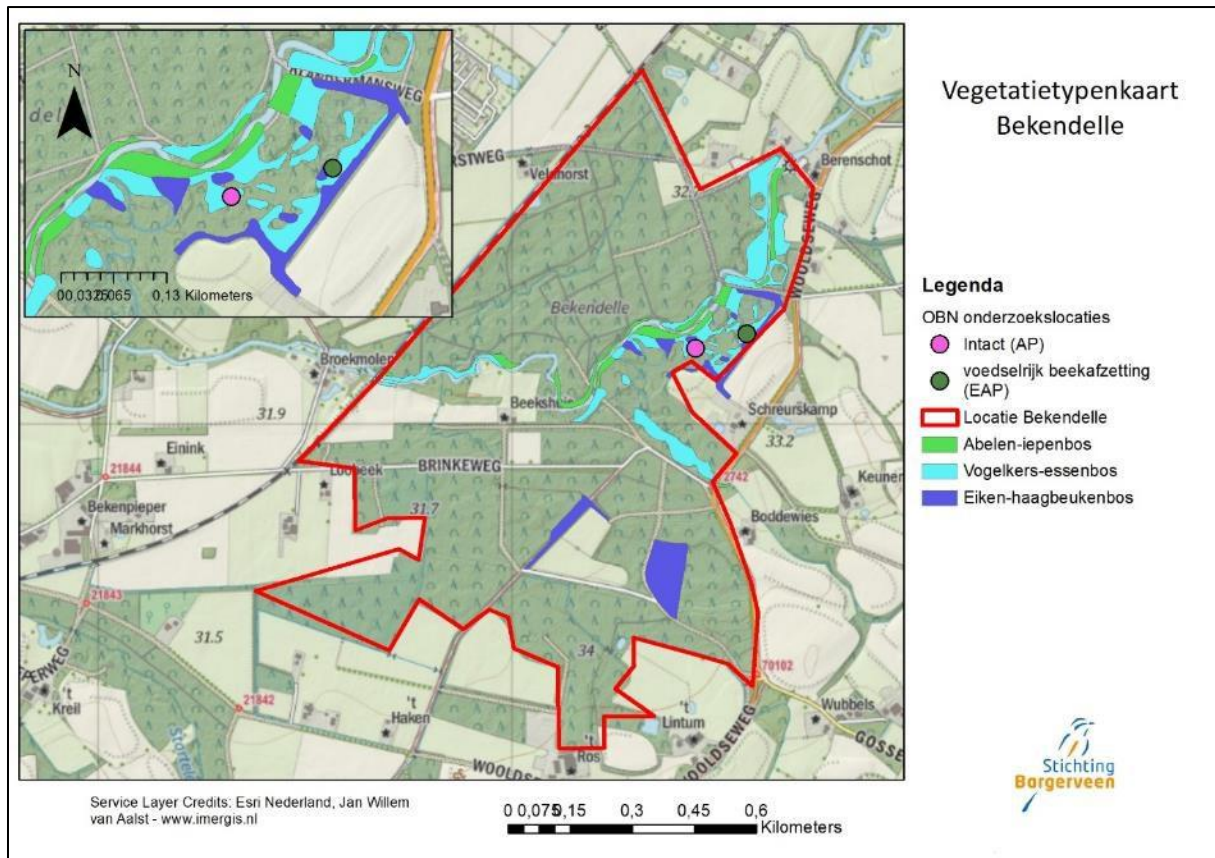
Figuur 8. 1:10.000 bodemkaart van Bekendelle met hoofdwatervgangen (donkerblauw) (Provincie Gelderland, 2017).

2.1.6 Vegetatie en flora

In het laagst gelegen gebied langs de Boven Slinge liggen beekbegeleidende bossen (18 ha) die onderlopen met beekwater bij hoge waterstanden. Deze bossen zijn van goede kwaliteit en bestaan uit een kleinschalige afwisseling van nat Elzenzegge-Elzenbroekbos naar vochtig en relatief droog Vogelkers-Essenbos en Abelen-Iepenbos (Figuur 9). Ook zijn er overgangen naar Eiken-Haagbeukenbos aanwezig (3 ha). Buiten het bereik van de Boven Slinge is het gebied begroeid met Beuken-Eikenbossen en naaldbos (Provincie Gelderland, 2017).

Typische soorten die voorkomen in de beekbegeleidende bossen zijn: Muskuskruid (*Adoxa moschatellina*), Bittere veldkers (*Cardamine amara*), Kegelmos (*Conocephalum conicum*), Tweestijlige meidoorn (*Crataegus laevigata*), Schaafstro (*Equisetum hyemale*), Bosgeelster (*Gagea lutea*), Gele dovenetel (*Lamium galeobdolon subsp. galeobdolon*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*), Bloedzuring (*Rumex sanguineus*), Boswederik (*Lysimachia nemorum*) en Groot springzaad (*Impatiens noli-tangere*). In het Eiken-Haagbeukenbos zijn waargenomen: Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Bleke zegge (*Carex pallescens*), Tweestijlige meidoorn (*Crataegus laevigata*), Wilde

kardinaalsmuts (*Euonymus europaeus*), Lievevrouwebedstro (*Galium odoratum*), Muurhavikskruid (*Hieracium murorum*), Gele dovenetel (*Lamium galeobdolon*), Boswederik (*Lysimachia nemorum*), Bosgiestgras (*Millium effusum*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*), Taxus (*Taxus baccata*), Bosereprijs (*Veronica montana*) en Donkersporig bosviooltje, (*Viola reichenbachiana*) (Te Linde & van den Berg, 2009).

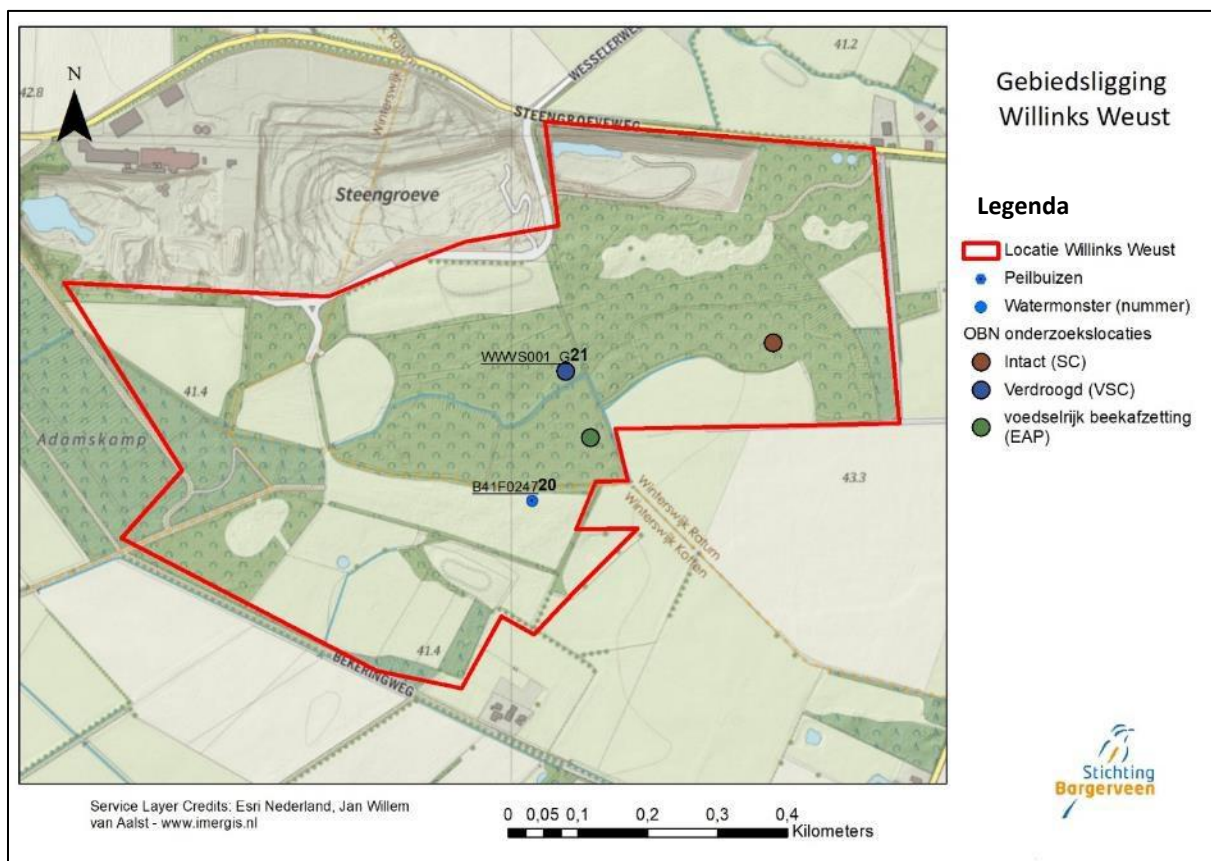


Figuur 9 Vegetatietypenkaart Bekendelle.

2.2 Willinks Weust

2.2.1 Algemeen

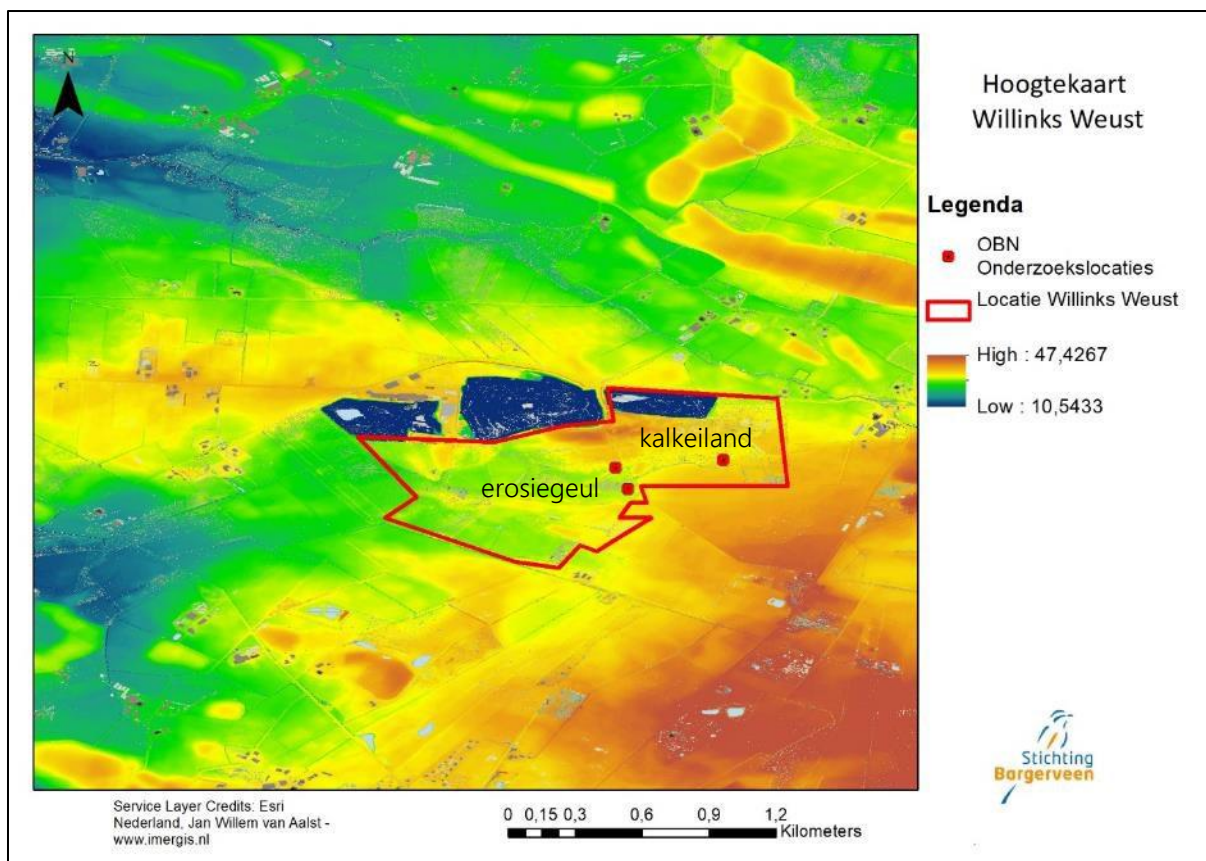
Willinks Weust is een Natura 2000-gebied van circa 50 hectare ten oosten van Winterswijk (Figuur 10). Het gebied ligt op een verweringslaag van een kalkrug en keileem, waardoor er een afwisselend patroon van vocht- en kalkgradiënten aanwezig is. Ook loopt er een beek door het gebied: de Vossenveldsbeek. Het gebied is eigendom van Staatsbosbeheer, particulieren en Bureau Beheer Landbouwgronden (Provincie Gelderland, 2016). Een groot gedeelte van het gebied bestaat uit bos en in het gebied komen drie onderzoekslocaties voor: "intact Eiken-Haagbeukenbos", "verdroogd Eiken-Haagbeukenbos" en "A/no-Padion met voedselrijke beekafzetting".



Figuur 10 Gebiedsligging Willinks Weust, met OBN onderzoekslocaties, waar vlakbij ook grondwatermonsters genomen zijn (20, 21).

2.2.2 Reliëf

Willinks Weust ligt op het Oost-Nederlands plateau. Het gebied ligt aan de rand van het plateau en richting het westen daalt het maaiveld (Figuur 11). De erosiegeul die door Willinks Weust loopt is te herkennen op de hoogtekaart. Het hogere gedeelte ten noorden van de erosiegeul wordt ook wel het kalkeiland genoemd. De drie laaggelegen delen (circa 10 m +NAP) op de kaart zijn de uitgegraven kalksteengroeven. Binnen het gebied liggen de hoogste gronden (circa 44,5 m+NAP) in het noordoosten en de laagste gronden in het zuidwesten (circa 40,5 m+NAP) (Provincie Gelderland, 2016).



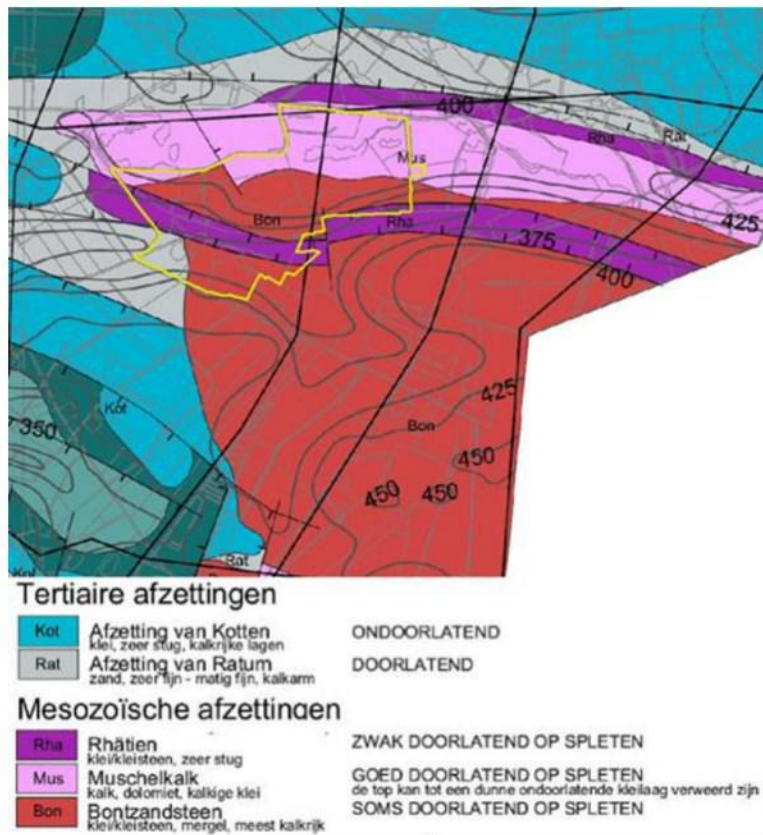
Figuur 11 Hoogtekaart in m +NAP van Willinks Weust (AHN3, 2021).

2.2.3 Geologie en geomorfologie

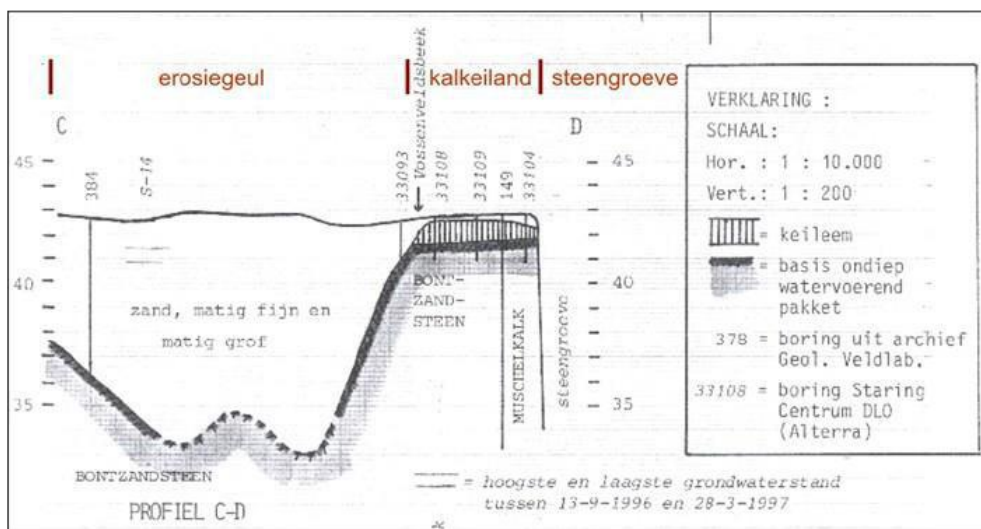
In het plateau liggen oude en diepe formaties, die hier door tektoniek omhoog zijn geperst en aan de oppervlakte komen. In Willink Weust komen daardoor Bontzandsteen, Muschelkalk en Rhätien dicht onder maaiveld voor. Bontzandsteen bevat veel ijzer en bestaat uit kalkrijke rode siltsteen en kalkrijke rode kleisteen. Muschelkalk is rijk aan kalk en ijzer in de vorm van pyriet en bestaat uit lichtgrijze kalksteen en mergel. De afzettingen van Rhätien bestaan uit roze-grijze kleisteen. Vooral in het noordelijke gedeelte van het gebied komen de gesteentes aan het oppervlak (het kalkeiland). De afzettingen worden bedekt door een dunne deklaag van keileem en dekzand. De kalksteengroeven liggen in de Muschelkalk. Waar spleten in de kalklaag zitten, is deze kalklaag goed doorlatend. Aan weerszijden van de Muschelkalk liggen Bontzandsteen en Rhätien. Aan de rand van het gebied en net buiten het gebied liggen nog de afzettingen van Ratum (doorlatend) en Kotten (ondoorlatend) (Figuur 12) (Provincie Gelderland, 2016).

De ondoorlatende bontzandsteen- en muschelkalkondergrond worden gezien als geohydrologische basis van het opdiep freatisch watervoerende pakket. De erosiegeul in Willink Weust is uitgesleten in het ondoorlatende Bontzandsteen en later opgevuld met een laag matig fijn tot matig grof fluvioperiglaciaal zand van maximaal negen meter diep. De zanden vormen een dun freatisch watervoerend pakket. De zandlaag in de erosiegeul wordt snel minder diep richting het kalkeiland (Figuur 13). Deze gronden zijn vanaf 3-4 m onder maaiveld zeer rijk aan kalk en plaatselijk is er veel pyriet aanwezig (Van Delft et al., 2010). Ten noorden van de erosiegeul komt de kalkrijke ondergrond vlak onder of tot het maaiveld voor, waardoor het freatisch watervoerende pakket dus erg dun is. Waar de het pakket dekzand het dunst is, ligt over het algemeen de stagnerende laag het hoogst (Van Delft et al., 2010) (Figuur 14). Onder de Weust en het Eiken-Haagbeukenbos ten zuiden daarvan ontbreekt de zandlaag of is hooguit enkele decimeters dik.

Volgens de geomorfologische bestaat bijna het hele onderzoeksgebied uit de eenheid "Vereffeningcrestwelingen" (Figuur 15) (Basisregister Ondergrond, 2021).



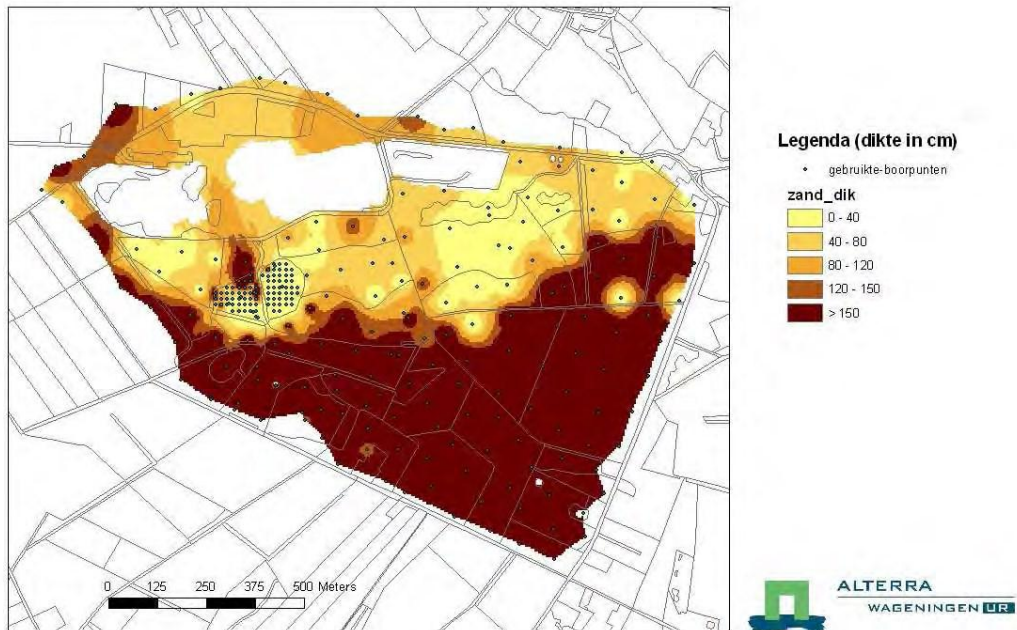
Figuur 12 Kaart van de eerst aangetroffen afzetting onder het Kwartair (Van den Bosch en Brouwer 2010). In geel is de begrenzing van het Natura 2000-gebied aangegeven. De contourlijnen geven de begindiepten aan in dm +NAP.



Figuur 13 Schematische weergave geologische opbouw Willinks Weust. Doorsnede is van het zuiden (links) de erosiegeul naar het noorden (rechts) de steengroeve (Provincie Gelderland, 2016).

Willink's Weust

Dikte dekzandpakket (incl. fluvioperiglaciaal zand)



Figuur 14 Dikte van het zandpakket boven de slecht doorlatende laag in Willinks Weust (van Delft et al., 2018).



Figuur 15 Geomorfologische kaart van Willinks Weust (Basisregister Ondergrond, 2021).

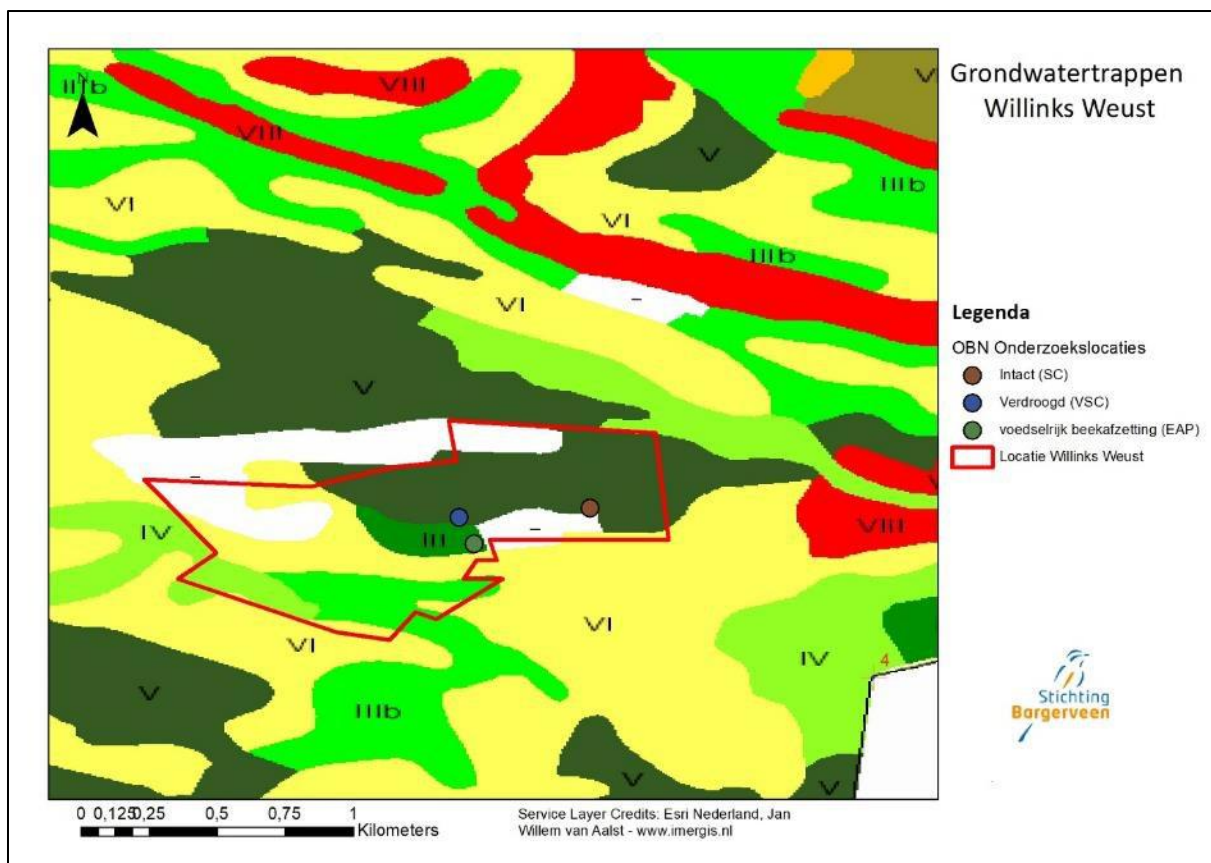
2.2.4 Hydrologie

2.2.4.1 Hydrologisch systeem

Het hydrologische systeem van Willinks Weust is zeer lokaal en wordt sterk beïnvloed door de stagnerende ondergrond. Op het kalkeiland komen schijngrondwaterstanden voor door stagnatie van regenwater op de keileem en de onderliggende afzettingen. In hoeverre water stagneert, verschilt per plaats, door lokale variatie in de dikte van de keileem en eventuele scheuren in het onderliggende gesteente. Vooral het Muschelkalk kan goed doorlatend zijn bij scheuren, maar door de aanwezigheid van een verweringslaag vindt er toch stagnatie plaats (Bosch, 2010). De scheuren in het Bontzandsteen zijn minder goed doorlatend. Verder komen er in het keileem zandnesten voor, waardoor het water hier kan wegzakken (Bosch, 2007; Provincie Gelderland, 2016).

2.2.4.2 Grondwatertrappen

Nabij de bovenloop van de Vossenveldsbeek liggen natte gronden met grondwatertrappen II en III. Ook zijn er natte gronden die worden ontwaterd, al blijven deze deels op peil door kwel (grondwatertrap III en IV). In het noordelijke gedeelte komt grondwatertrap V veel voor (Figuur 16).

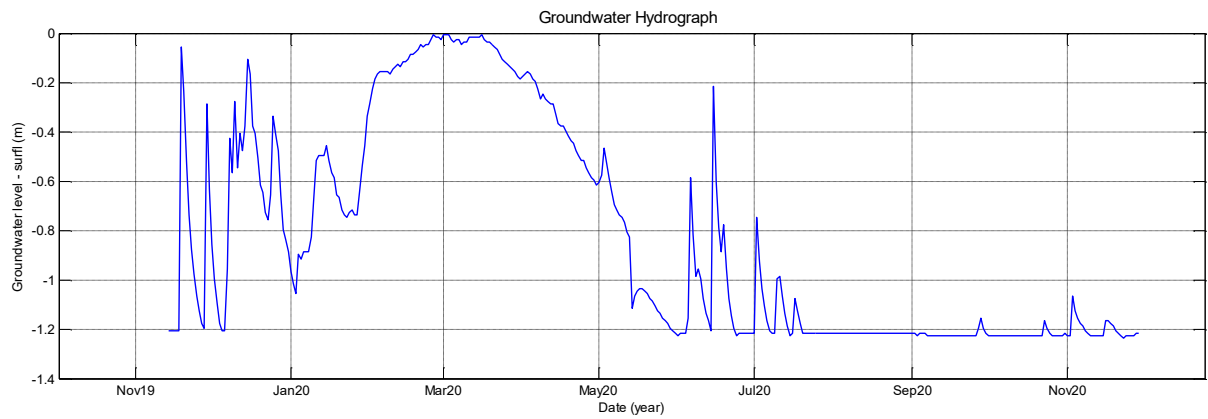


Figuur 16 Grondwatertrappen van Willinks Weust en haar omgeving, Stibokakaart 1980 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland).

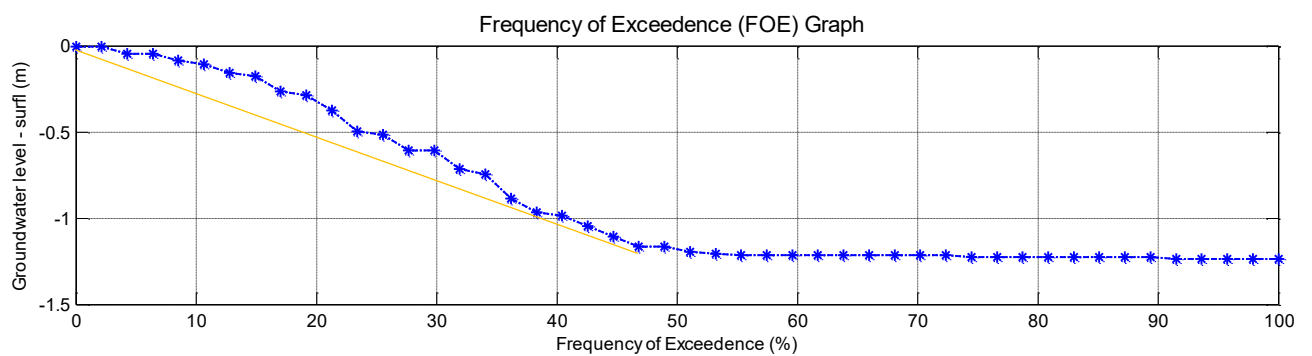
2.2.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

Peilbuis WWVS001_G is geplaatst bij de OBN onderzoekslocatie op 41,96 m t.o.v. NAP, met verdroogd Eiken-Haagbeukenbos en geeft grondwatertrap V, GHG 0,07 en GVG 0,18 m -mv (periode november 2019-november 2020). Op 1,20 m -mv valt de peilbuis droog op een kleilaag die functioneert als schijnspeigel (Figuur 17). In de duurlijn is te zien dat de buis een groot deel van het jaar droogvalt. Daarvoor is de duurlijn bol van vorm (in het eerste deel van de grafiek, waar de buis niet droogvalt), wat betekent dat in dit gedeelte van het jaar de netto aanvoer groter is dan de netto afvoer van grondwater, wat hier duidt op stagnatie (Figuur 18).

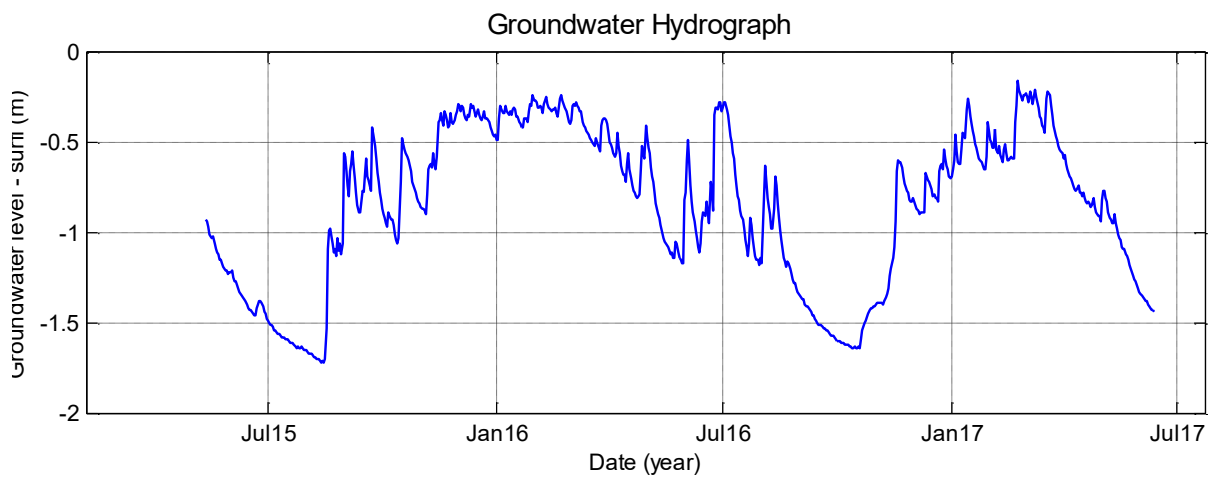
Peilbuis B41F0247, net buiten de onderzoekslocatie, ligt op 42,11 m t.o.v. NAP en heeft een grondwatertrap V, GHG 0,30, GVG 0,51 en GLG 1,58 m -mv (periode 2015-2017) (Figuur 19). Op deze locatie is de duurlijn bol en zal waarschijnlijk stagnatie optreden (Figuur 20).



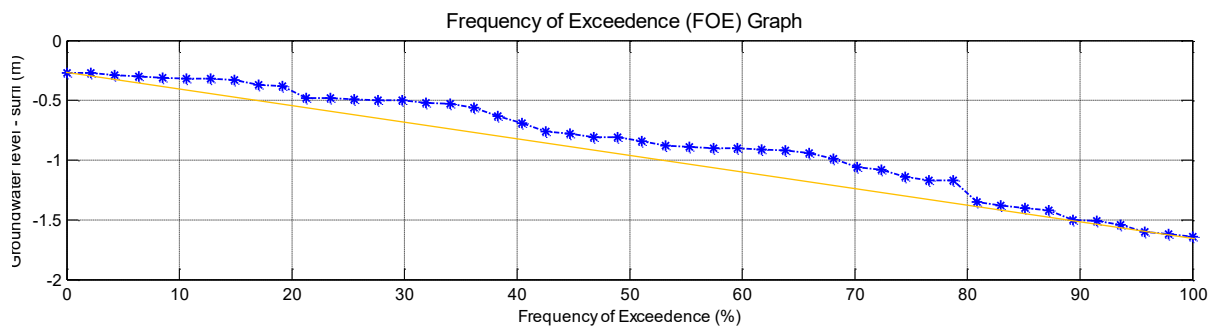
Figuur 17 Tijdstijghoogtelijn peilbuis WWVS001_G.



Figuur 18 Duurlijn peilbuis WWVS001_G van het jaar november 2019-november 2020.



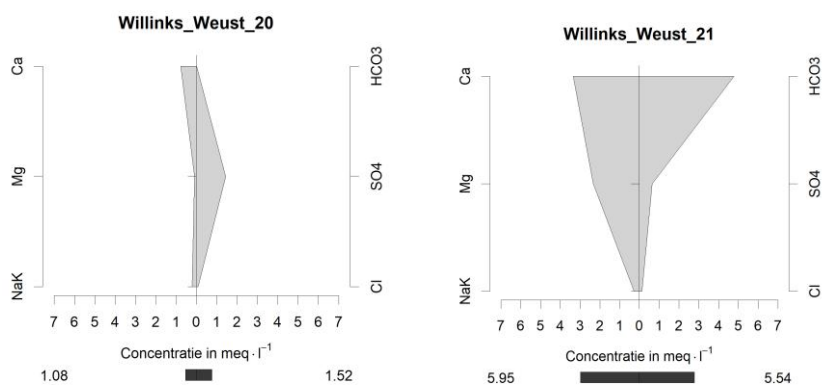
Figuur 19 Tijdstijghoogtelijn peilbuis B41F0247.



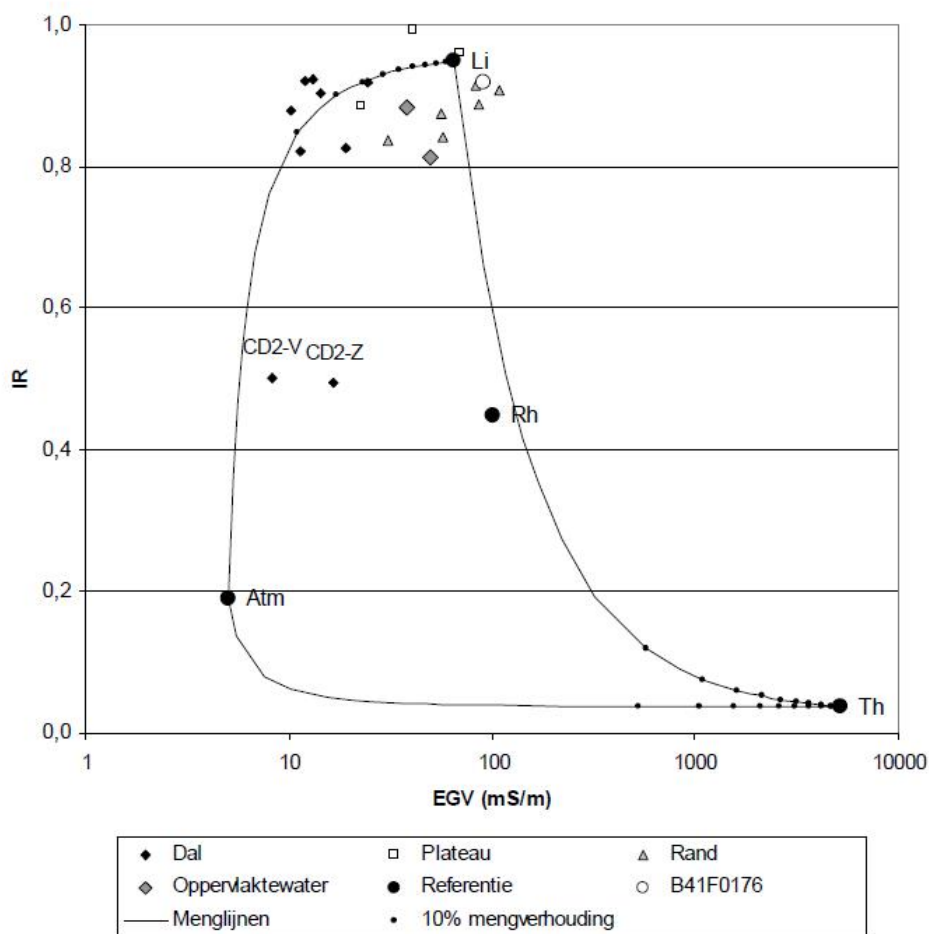
Figuur 20 Duurlijn peilbuis B41F0247 van het jaar 2016.

2.2.4.4 Waterkwaliteit

De waterkwaliteit van het grondwater is op twee locaties gemeten. Op locatie 20 heeft het Stiffdiagram het aambeeld van licht aangerijkt regenwater en op locatie 21 is het water basenrijk (Figuur 21). De waterkwaliteit op veel plaatsen gemeten door Van Delft et al. (2010) en hier lijken alle monsters sterk op lithoclien (d.w.z. calciumrijk en chloridearm) water (Figuur 22). Volgens van Delft et al. (2010) is er waarschijnlijk sprake van pyrietoxidatie als gevolg van nitraatuitspoeling in de ondergrond.



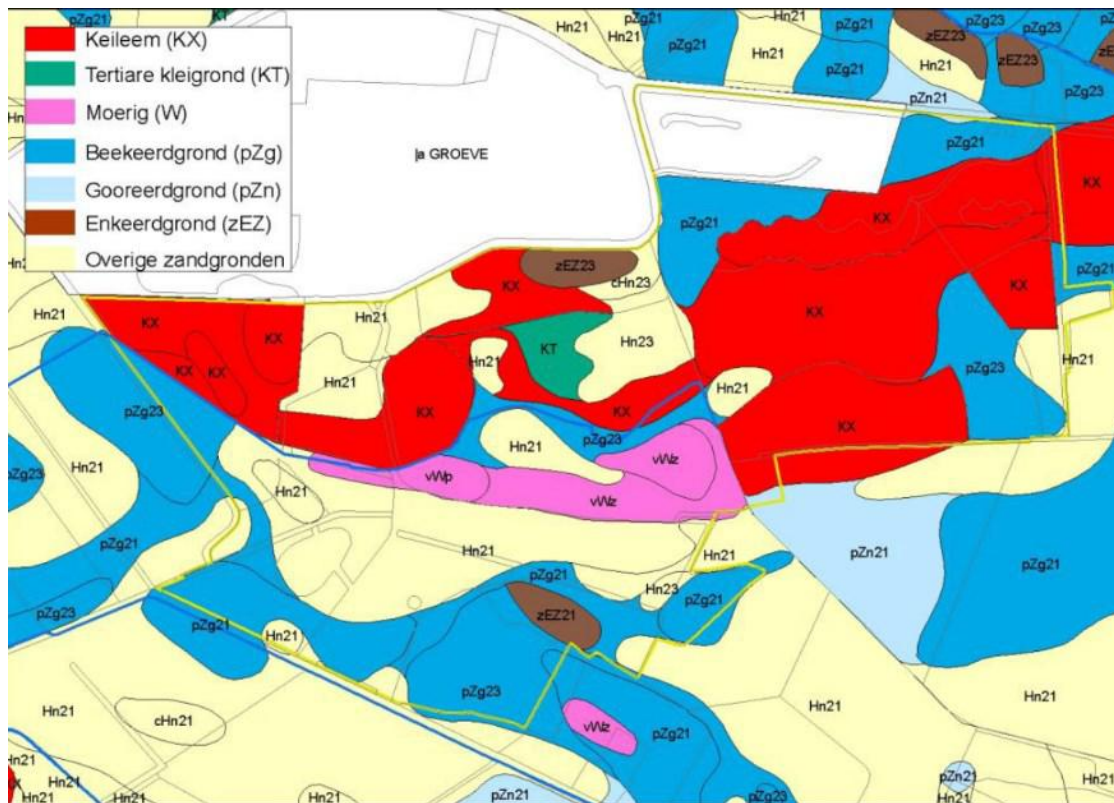
Figuur 21 Stiffdiagrammen in Willink Weust.



Figuur 22 IR-EGV diagram van grondwaterwatermonsters in Willinks Weust (Van Delft et al., 2010).

2.2.5 Bodem

De 1:10.000 bodemkaart staat in Figuur 23. Op het kalkeiland dagzoomt plaatselijk het Bontzandsteen (KT) en Keileemgronden (KX) komen over grote oppervlakten voor. De keileem is overwegend afgedekt met een dun dekzandpakket, waarin zich verschillende bodemtypen hebben ontwikkeld. In het erosiedal zijn Beekeerdgronden (Zg) en Moerige gronden (W) aanwezig. De Eiken-Haagbeukenbossen staan in de Willinks Weust op Keileemgronden en de Vogelkers-Essenbossen op Beekeerdgronden en Moerige eerdgronden.

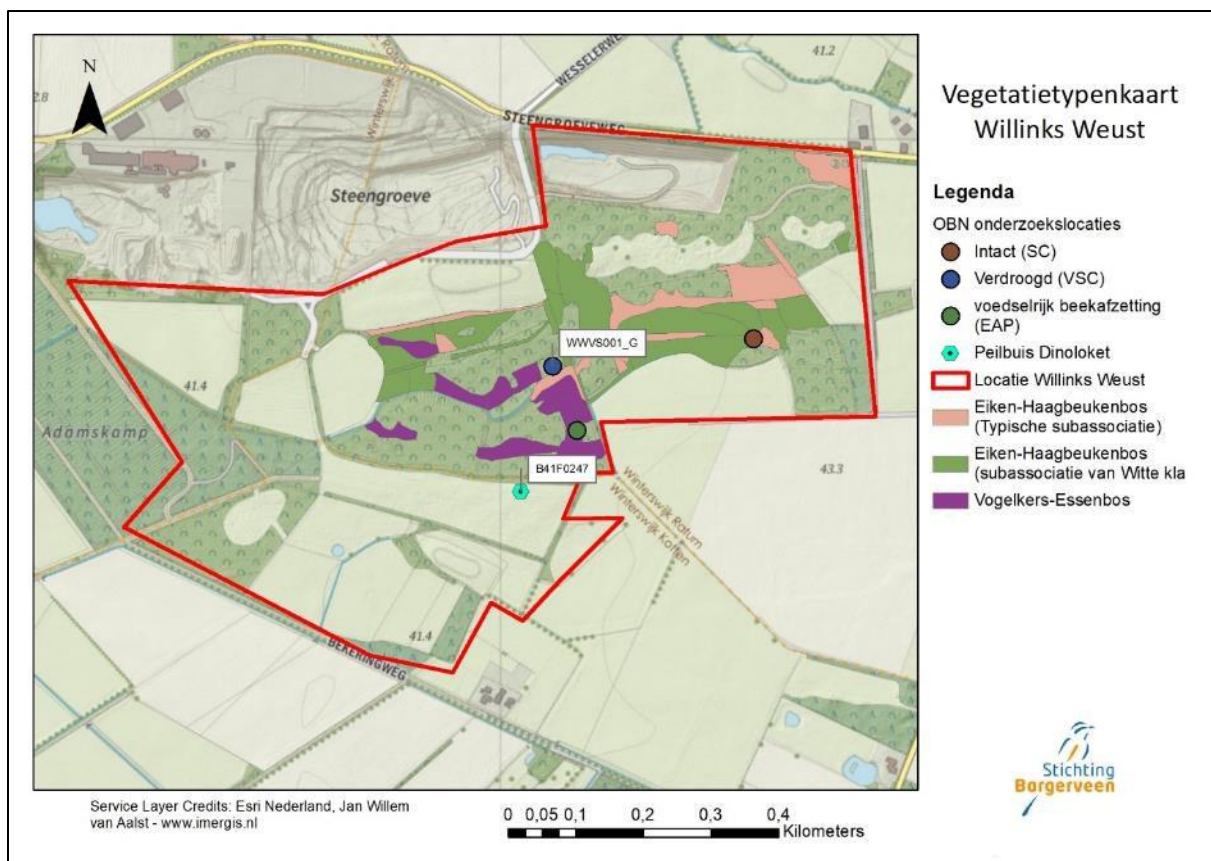


Figuur 23 1:10.000 bodemkaart van Willink Weust door Kleijer (1998). Kaart is bewerkt door Provincie Gelderland (2016). Grens van het Natura 2000-gebied is weergegeven in het geel en de hoofdwaterlopen in het blauw.

2.2.6 Vegetatie en flora

De bossen in Willinks Weust zijn deels gerabatteerd en in een relatief goede staat. Ten oosten van de Middenwal ligt grotendeels goed ontwikkeld Eiken-Haagbeukenbos (Figuur 24), met Haagbeuk (*Carpinus betulus*), Heelkruid (*Sanicula europaea*), Boszegge (*Carex sylvatica*), Grote keverorchis (*Neottia ovata*), Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*), Boskortsteel (*Brachypodium sylvaticum*) en Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*). Ook zijn hier wat meer zuurminnende soorten te vinden, zoals Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*) en Dalkruid (*Maianthemum bifolium*). Lokaal zijn er overgangen naar het nattere Vogelkers-Essenbos, die hier gekenmerkt zijn door als IJle zegge (*Carex remota*), Kleine valerian (*Valeriana dioica*) en soms Moeraszegge (*Carex acutiformis*) (Provincie Gelderland, 2016).

Ten westen van de Middenwal zijn de Eiken-Haagbeukenbossen minder goed ontwikkeld en worden ze vaker afgewisseld met armere loofbostypen en naaldbos. Aan de zuidzijde van het gebied nabij de kwelzone ligt Vogelkers-Essenbos en Elzenbroekbos (Provincie Gelderland, 2016).

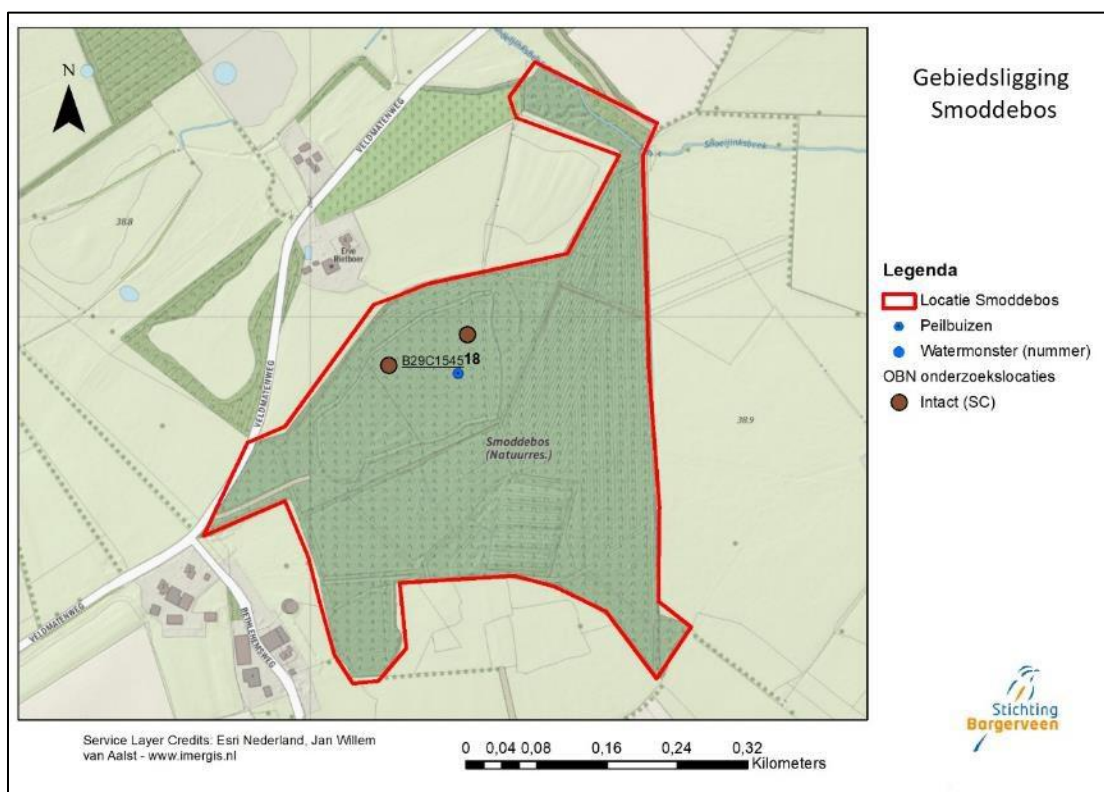


Figuur 24 Vegetatietypenkaart Willinks Weust met hierop Eiken-Haagbeukenbos en Vogelkers-Essenbos.

2.3 Smoddebos

2.3.1 Algemeen

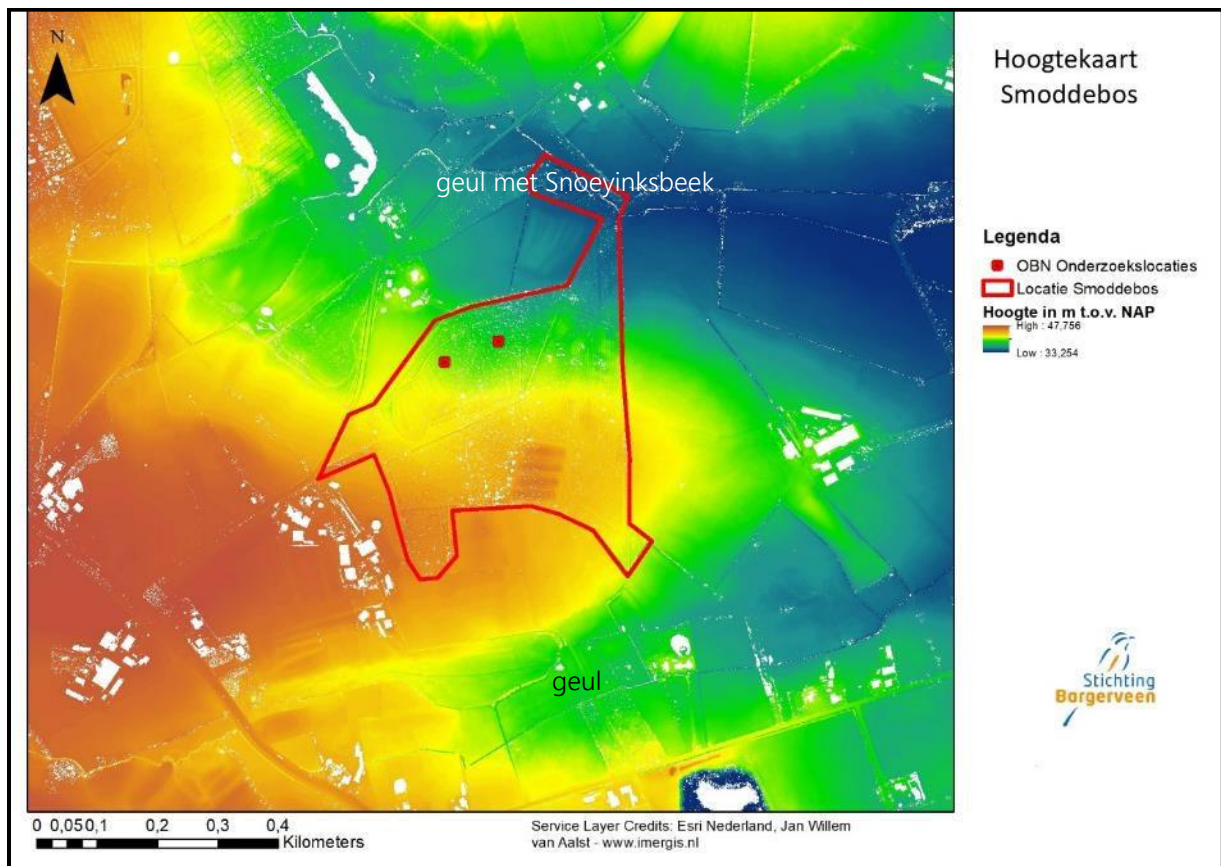
Het Smoddebos (Figuur 25) is een deelgebied van het Natura 2000-gebied Landgoederen Oldenzaal. Daarnaast vormt het sinds 1997 een bosreservaat, samen met het Duivelshof (WENR, 2021), een nabij gelegen bos. Het Smoddebos bevindt zich op leemgrond en heeft een soortenrijke ondergroei die gebonden is aan vochtige, gebufferde omstandigheden. Het Smoddebos in totaal circa 15 hectare en het bosreservaat 5,4 hectare. Het bosreservaat is in bezit van Landschap Overijssel, de rest is van particulieren. In het bos komen twee OBN-onderzoekslocaties voor met "intact Eiken-Haagbeukenbos".



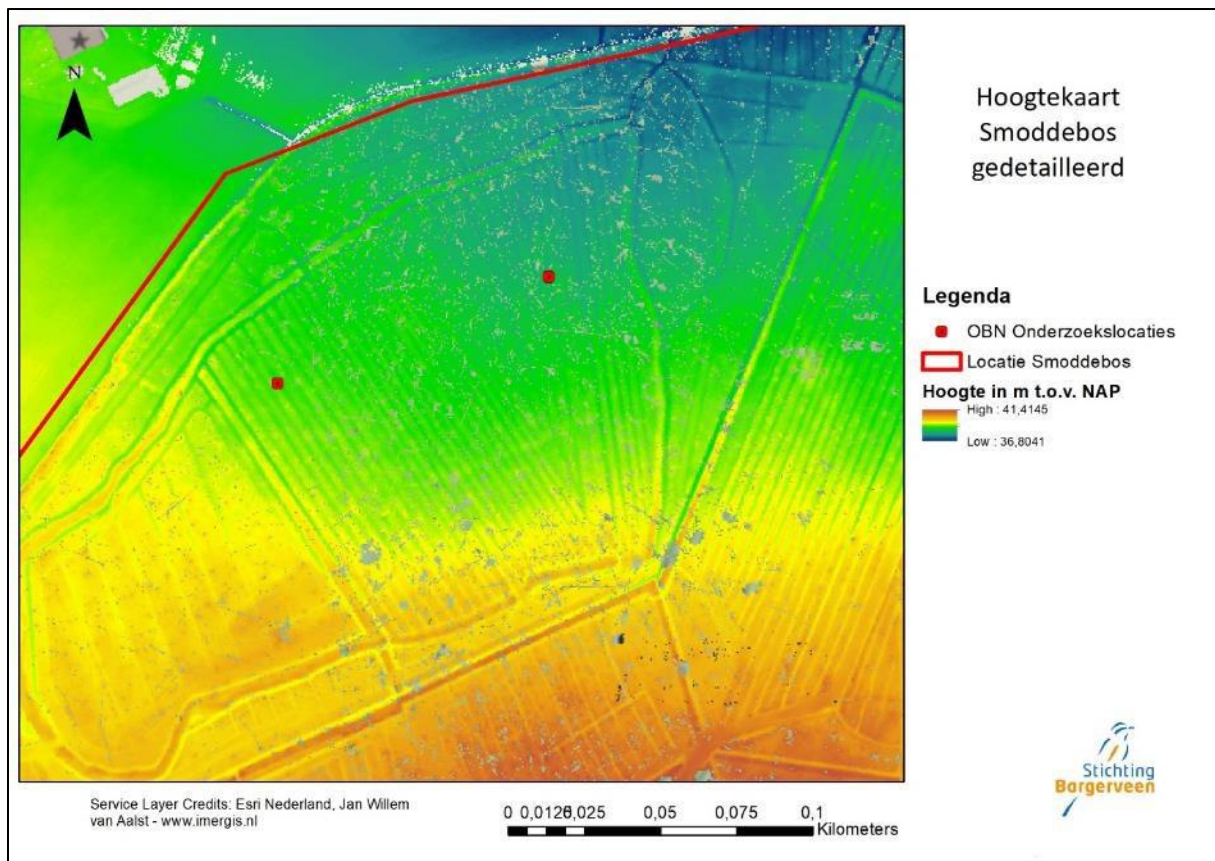
Figuur 25 Gebiedsligging Smoddebos met OBN onderzoekslocaties, waar vlakbij ook een grondwatermonster genomen is (18).

2.3.2 Reliëf

Het Smoddebos ligt op de oostflank van de Oldenzaalse stuwwal. Het onderzoeksgebied bevindt zich tussen 33m-43m +NAP en bevindt zich op een rug tussen twee dalen (oude smeltwatergeulen) van de stuwwal en het noordelijke deel helt af in de richting van de Snoeyinksbeek (Figuur 26). Op de gedetailleerde kaart zijn duidelijk rabatten te zien (Figuur 27).



Figuur 26 Hoogtekaart Smoddebos (AHN3, 2021).

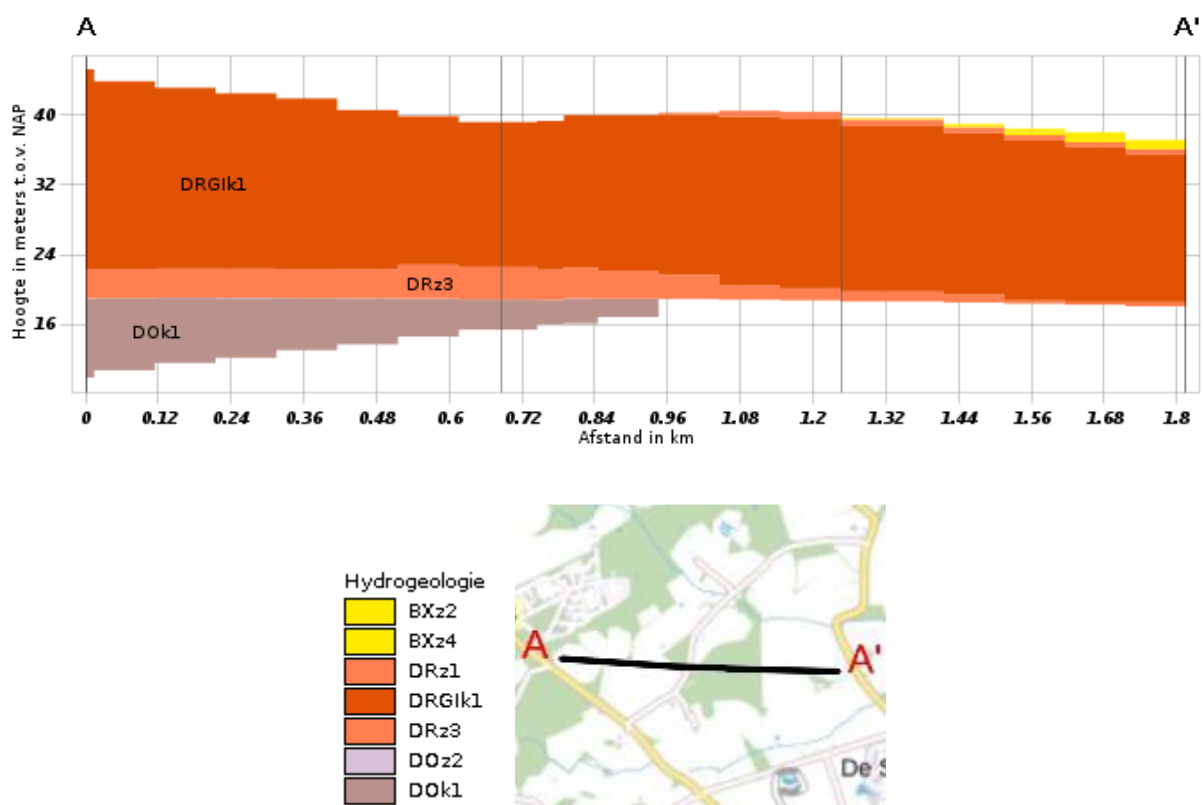


Figuur 27 Gedetailleerde hoogtekaart van het Smoddebos (AHN, 2021).

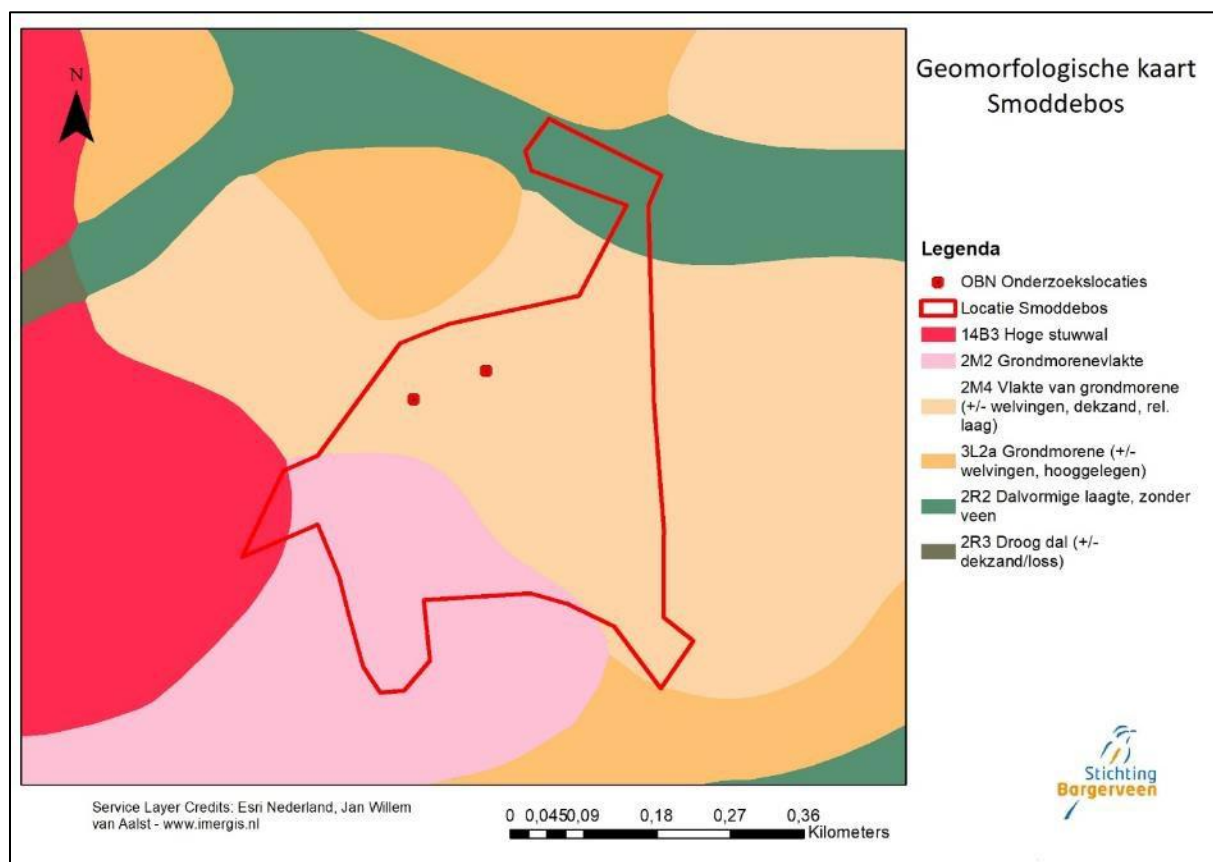
2.3.3 Geologie & geomorfologie

De ondergrond van het onderzoeksgebied bestaat uit een grondmorene met keileem (Laagpakket van Gieten, Formatie van Drenthe, DRGl1) (Figuur 28). Deze laag is slechtdoorlatend en circa 20 m dik. Deze slechtdoorlatende laag bevindt zich dichtbij het oppervlakte, waardoor het freatisch watervoerend pakket zeer dun is. Onder de grondmorene is een dunne zandlaag aanwezig (Formatie van Drenthe, DRz) en daaronder ligt tertiair klei (Formatie van Dongen, DOk1). Wat er onder deze laag grondmorene aanwezig is, is niet bekend in het REGIS II.

Volgens de geomorfologische kaart hoort de zuidwestkant van het bos bij de hoge stuwwal. Een groot deel van het gebied wordt aangeduid als "Grondmorenevlakte", al dan niet met dekzand. Het noordelijke gedeelte van de Snoeyinksbeek is geclassificeerd als dalvormige laagte (Figuur 29) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 28 Hydrogeologische doorsnede Smoddebos met REGIS II (Dinoloket, 2021).



Figuur 29 Geomorfologische kaart Smoddebos (Basisregister Ondergrond, 2021).

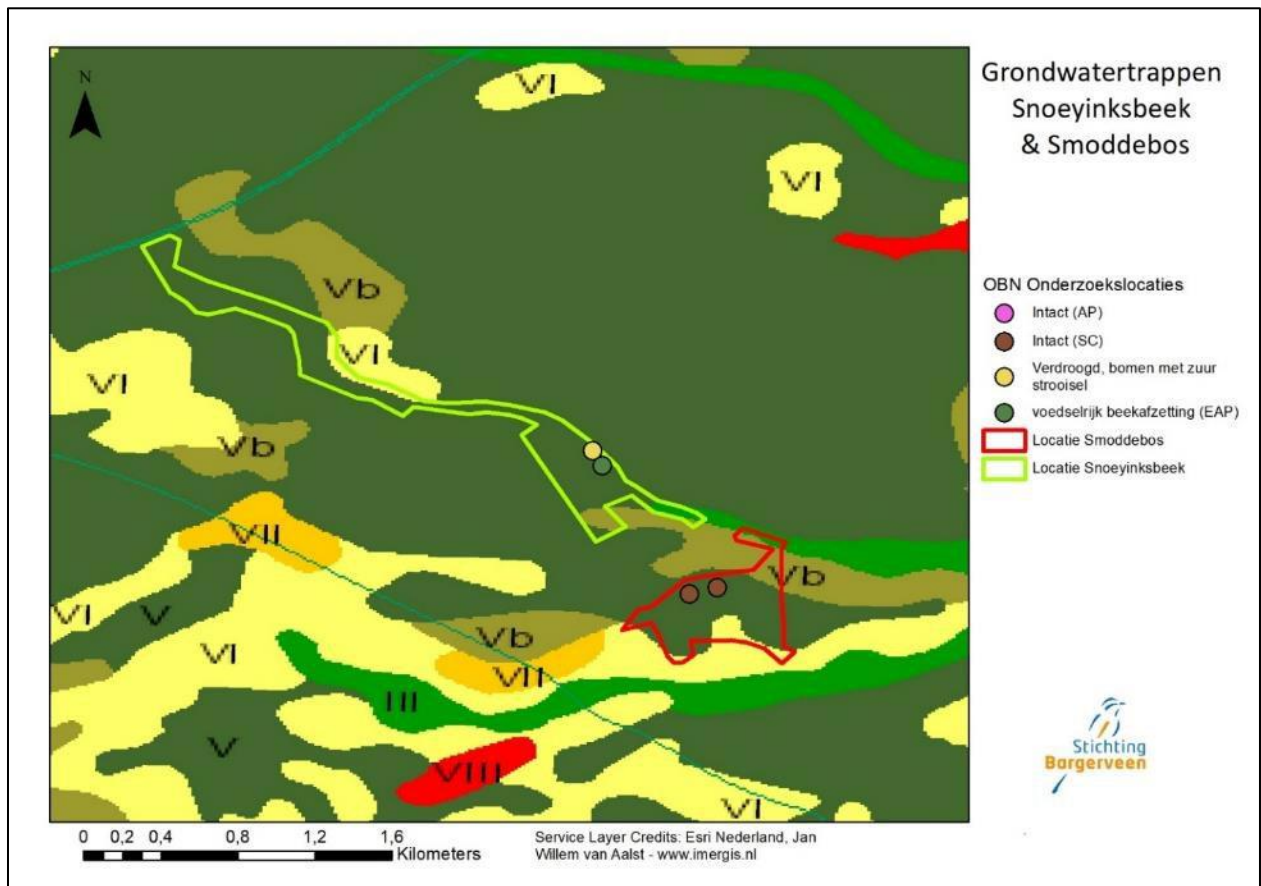
2.3.4 Hydrologie

2.3.4.1 Hydrologisch systeem

Het hydrologisch systeem van het Smoddebos is zeer lokaal en wordt gedomineerd door stagnerend regenwater op de slecht doorlatende keileem.

2.3.4.2 Grondwatertrappen

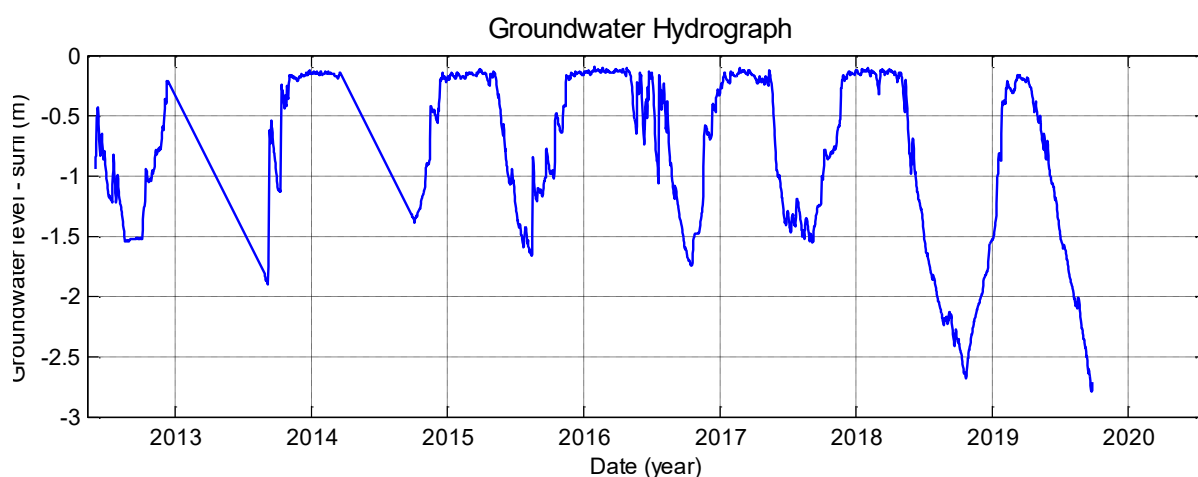
De aanwezige grondwatertrappen in het gebied zijn grondwatertrappen III, V, Vb en VI (Figuur 30). Deze grondwatertrappen duiden op sterk wisselende waterstanden, wat kenmerkend is voor keileemgronden.



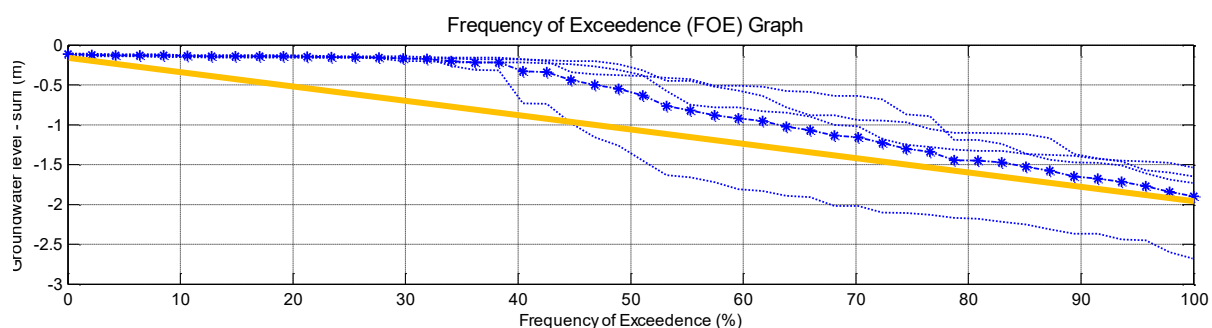
Figuur 30 Grondwatertrappenkaart van het Smoddebos en de Snoeyinksbeek, Stibokakaart 1989 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.3.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

In het Smoddebos ligt één geschikte peilbuis, B29C1545 en deze ligt op 38,93 m t.o.v. NAP in het Eiken-Haagbeukenbos dichtbij de OBN onderzoekslocaties (Figuur 72). De peilbuis bevat een diep en ondiep filter in de keileem en deze hebben een gelijke stijghoogte, alleen valt het ondiepe filter droog. Het diepe filter duidt op grondwatertrap V en de waterstanden geven een GLG van 1,75, GHG van 0,13 en een GVG van 0,14 m -mv (2012-2020) (Figuur 31). De tijdstijghoogtelijn laat een sterke fluctuatie binnen een jaar zien, met natte winters en drogere zomers, wat kenmerkend is voor een stagnatiebos met Eiken-Haagbeukenbos. De bijbehorende duurlijn heeft een bolle vorm, wat betekent dat de netto aanvoer groter is dan de netto afvoer van grondwater en wat hier duidt op stagnatie van het grondwater op de keileem (Figuur 32).



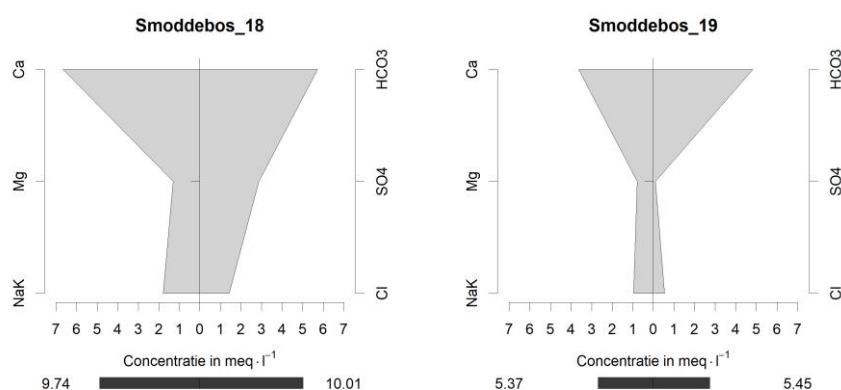
Figuur 31 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuis B29C1545.



Figuur 32 Duurlijn van het diepe filter van peilbuis B29C1545 (2013-2019) met gele hulplijn.

2.3.4.4 Waterkwaliteit

In het Smoddebos zijn op twee locaties grondwatermonsters genomen uit de aanwezige peilbuizen. De Stiffdiagrammen hebben een breed aanbeeld en duiden op basenrijk grondwater (Figuur 33).

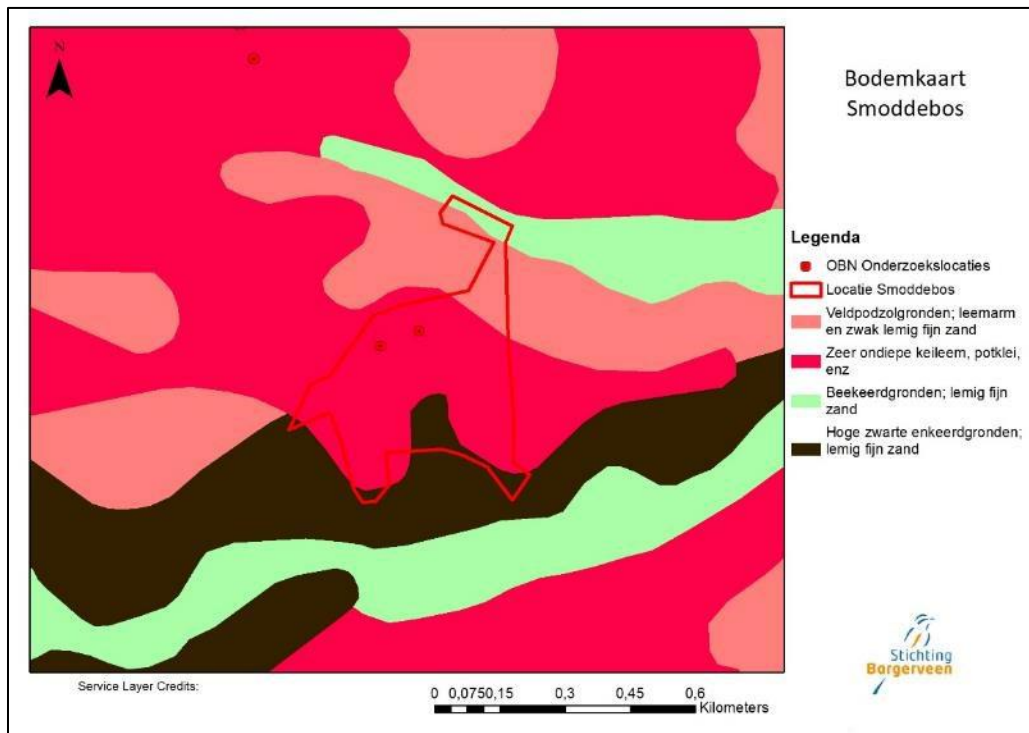


Figuur 33 Stiffdiagrammen Smoddebos.

2.3.5 Bodem

In het Smoddebos zijn volgens de 1:50.000 bodemkaart keileembodems dominant aanwezig (Figuur 34). De keileemgronden bevatten veel roest en zijn op de meeste plekken afgedekt met een minerale eerdlaag

van 15-30 cm. In het westelijke deel van het bosreservaat is de eerdlaag 30-50 cm dik (Smeenge et al., 2017). Ook komen er beekkeerdgronden, enkeerdgronden en podzolgronden voor binnen het gebied.

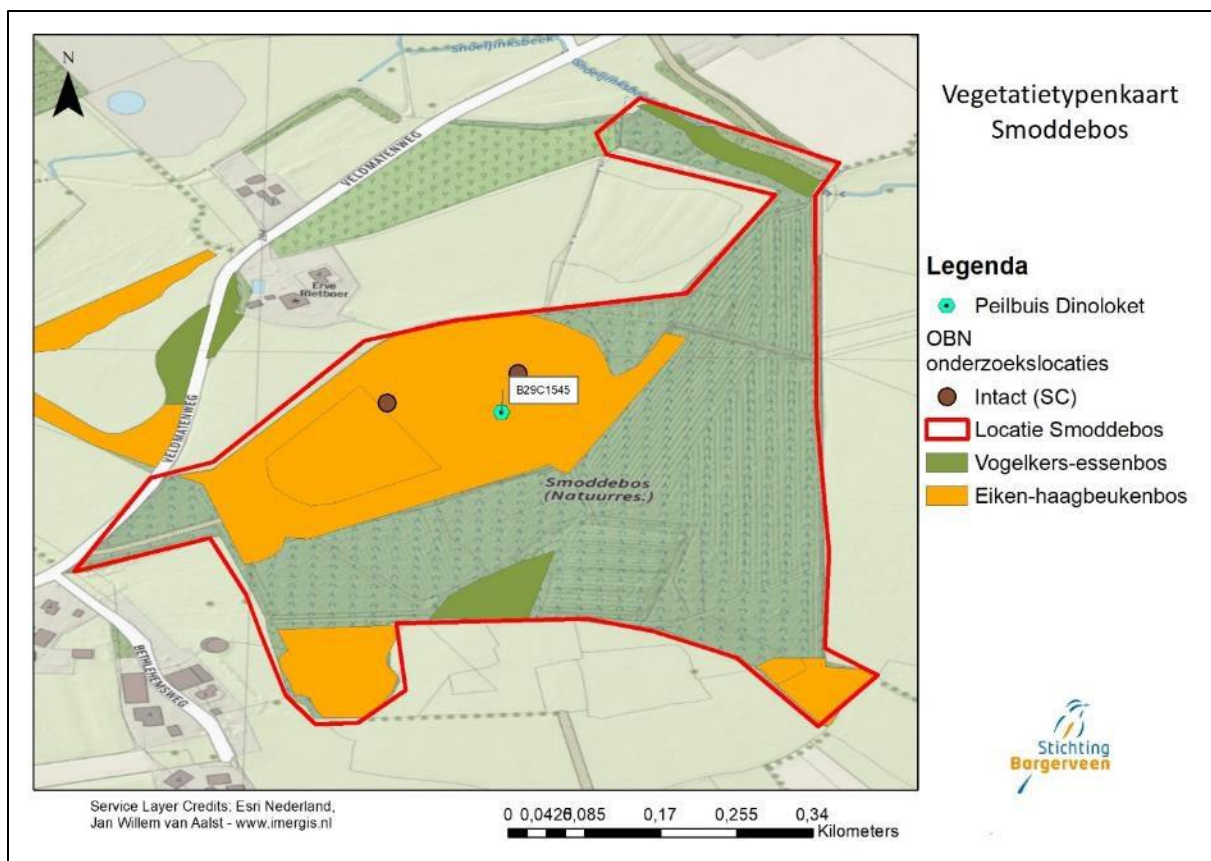


Figuur 34 1:50.000 bodemkaart Smoddebos (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.3.6 Vegetatie en flora

In het Smoddebos komen Eiken-Haagbeukenbossen (*Stellario-Carpinetum*) en Vogelkers-Essenbossen (*Pruno-Fraxinetum*) voor. De Eiken-Haagbeukenbossen bevinden zich op het keileem, voornamelijk in het bosreservaat van Natuurmonumenten. Het Vogelkers-Essenbossen komt slechts zeer lokaal voor het zuiden en in het meest noordelijke gedeelte van het gebied op de beekkeerdgronden aan de Snoeyinksbeek. In de gehele boskern is een rabattensysteem met greppels aanwezig.

Het Eiken-Haagbeukenbos is van goede kwaliteit (Provincie Overijssel, 2017) en er zijn verschillende typische soorten aanwezig. Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Gele dovennetel (*Lamium galeobdolon*), Grote muur (*Stellaria holostea*), Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*), Schaafstro (*Equisetum hyemale*) en Braam (*Rubus* spp.) komen voor in relatief hoge bedekking (>10%). Typische soorten die voorkomen in lage bedekking zijn Slanke sleutelbloem (*Primula elation*), IJle zegge (*Carex remota*), Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*) en Ruwe smele (*Deschampsia cespitosa*). De laatste jaren is de bedekking van Slanke sleutelbloem afgenomen, terwijl de bedekking in Bosanemoon, Witte klaverzuring, Gele dovennetel en Grote muur toenam (Smeenge et al., 2017). Verder zijn sinds 1958 Grote keverorchis (*Neottia ovata*), Karwijselie (*Selinum carvifolia*), Bospaardenstaart (*Equisetum sylvaticum*), Muursla (*Lactuca muralis*) en Muurhavikskruid (*Hieracium murorum*) verdwenen (Provincie Overijssel, 2017).

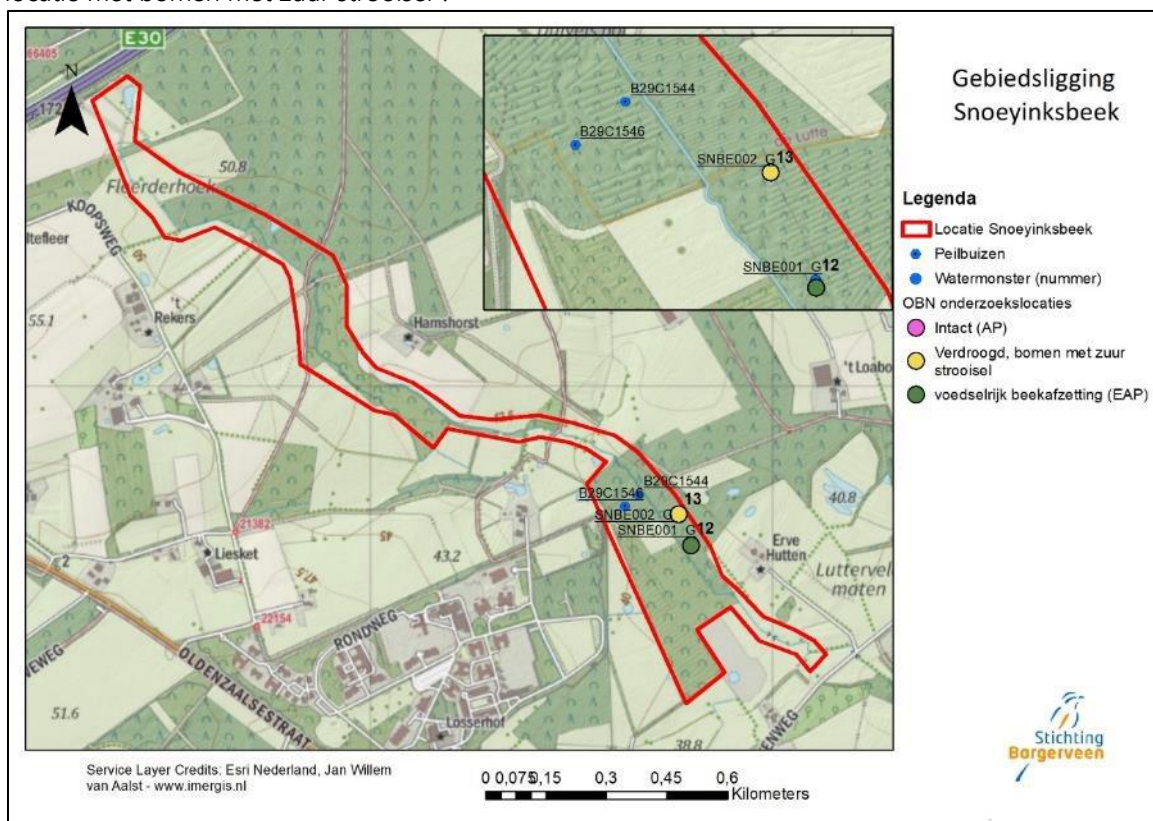


Figuur 35 Vegetatietypenkaart Smoddebos.

2.4 Snoeyinksbeek

2.4.1 Algemeen

Het natuurgebied Snoeyinksbeek is net als het Smoddebos een deelgebied van Natura 2000-gebied Landgoederen Oldenzaal. Het gebied ligt binnen de gemeente Losser en omvat de beekbegeleidende bossen langs de Snoeyinksbeek, tussen natuurgebied Smoddebos en de autoweg E30 (Figuur 36). In het gebied liggen twee onderzoekslocaties: "Alno-Padion met voedselrijke beekafzetting" en een "verdroogde locatie met bomen met zuur strooisel".

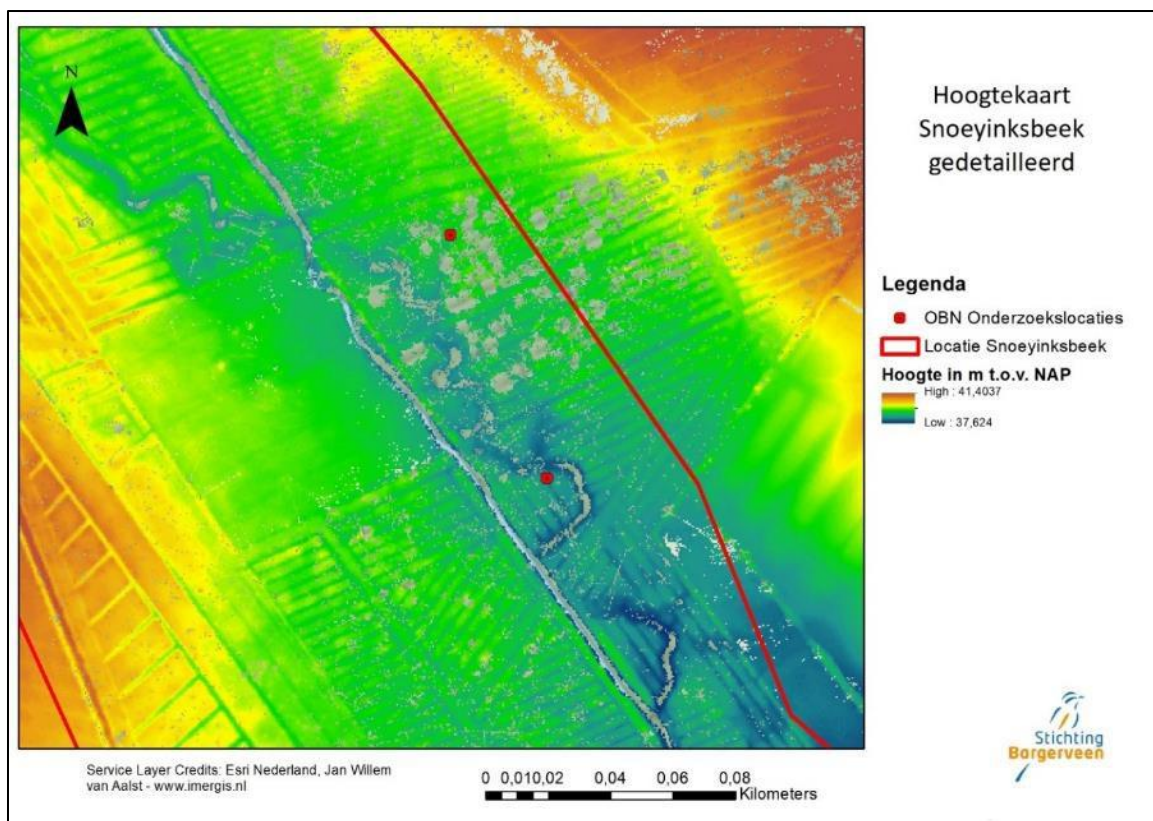


Figuur 36 Gebiedsligging Snoeyinksbeek met OBN onderzoekslocaties, waar ook grondwatermonsters genomen zijn (12 en 13).

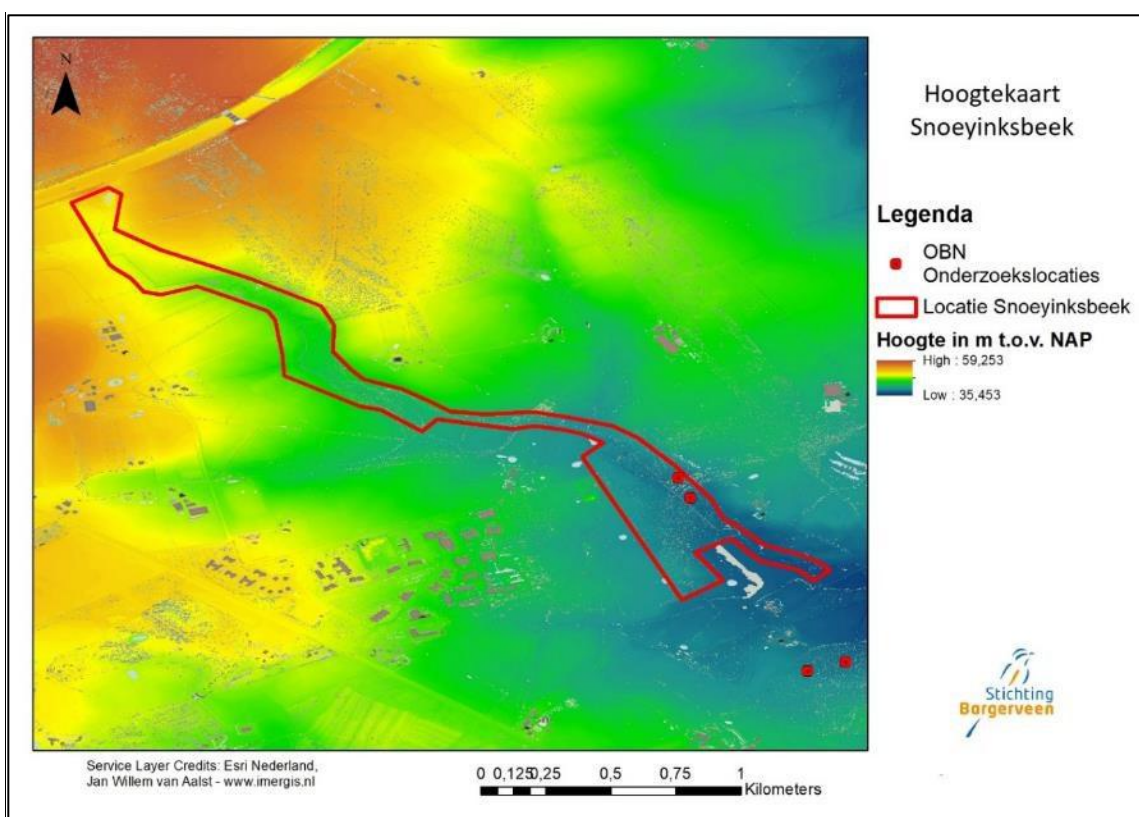
2.4.2 Reliëf

Het gebied ligt in het beekdal van de Snoeyinksbeek aan de zuidoostelijke flank van de stuwwal van Oldenzaal. Binnen het gebied loopt het maaiveld af met de stromingsrichting van de Snoeyinksbeek, in zuidoostelijke richting. Het hoogste punt ligt op circa 55 m + NAP en het laagste punt op circa 35 m + NAP (Figuur 37). Ook zijn hier op de gedetailleerde hoogtekaart rabatten te zien (Figuur 38).

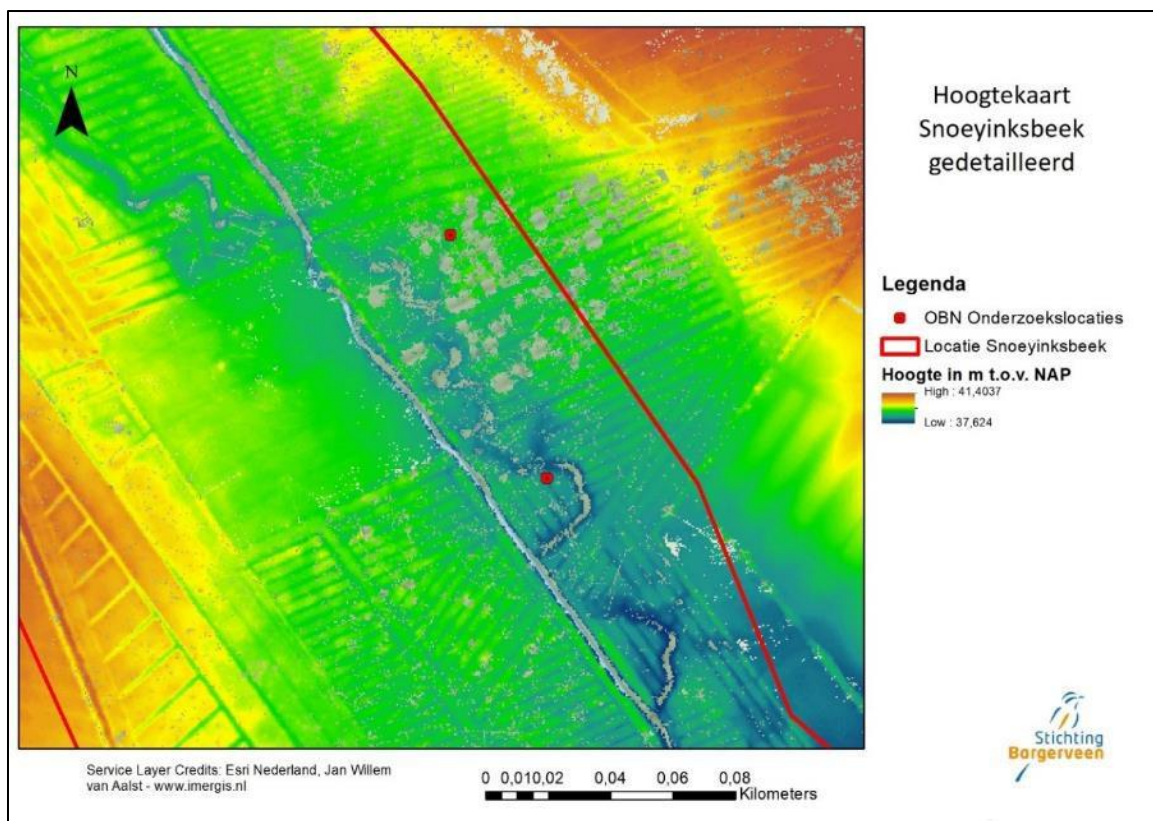
Figuur 37 Hoogtekaart van de Snoeyinksbeek (AHN, 2021).



Figuur 38 Gedetailleerde hoogtekaart Snoeyinksbeek (AHN3, 2021).



Figuur 37 Hoogtekaart van de Snoeyinksbeek (AHN, 2021).

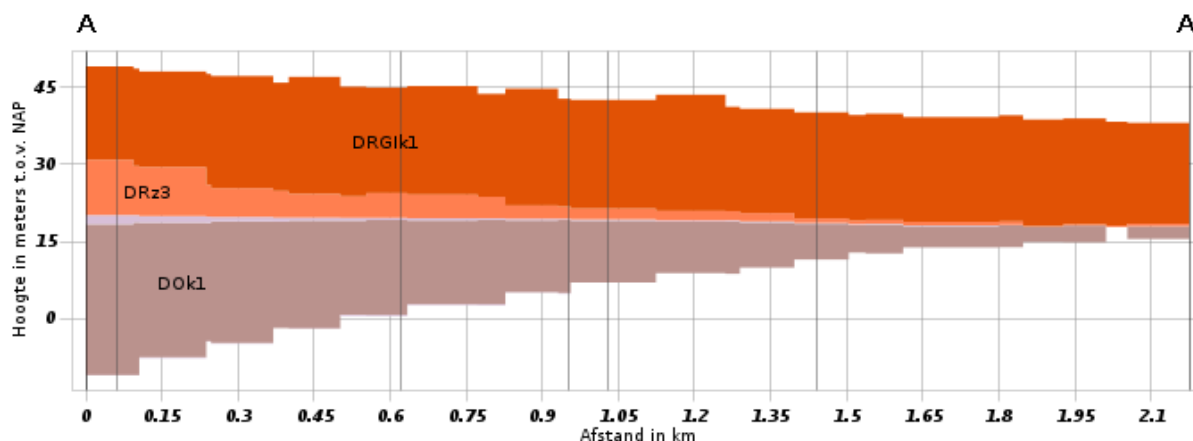


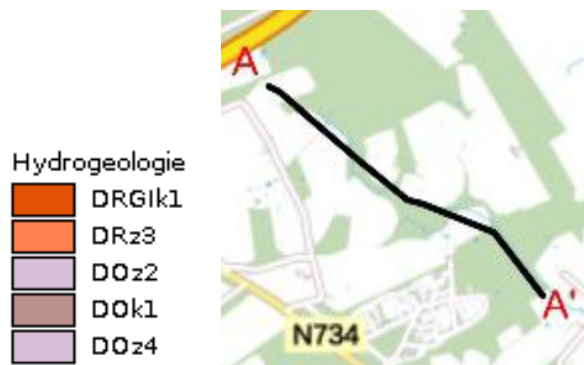
Figuur 38 Gedetailleerde hoogtekaart Snoeyinksbek (AHN3, 2021).

2.4.3 Geologie en geomorfologie

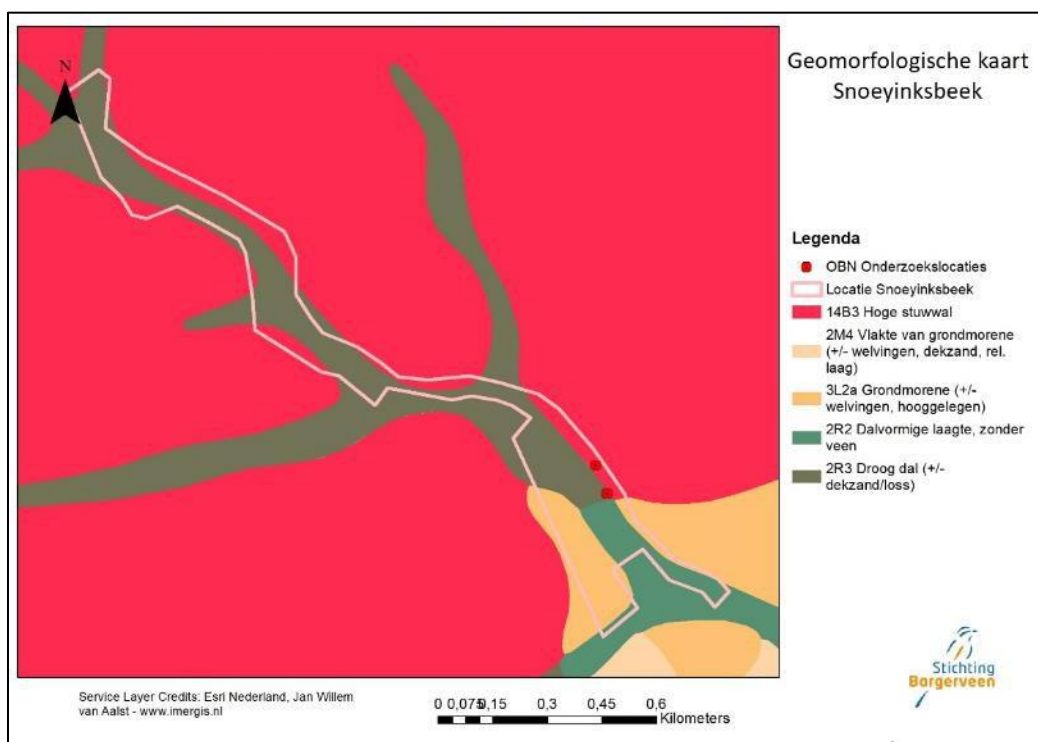
Het freatisch watervoerend pakket is zeer dun. De bovenste slechtdoorlatende laag op de flank van de stuwwal van Oldenzaal bestaat uit een grondmorene met keileem (Laagpakket van Gieten, Formatie van Drenthe, DRG1k2). Deze weerstandbiedende laag is circa 20 m dik. Onder deze laag ligt een laag zand van circa 2-3 m (Formatie van Drenthe, DRz3), het eerste watervoerend pakket. Daaronder ligt nog een kleiige laag (Formatie van Dongen, DOK1) (Figuur 39). Over diepere lagen is er geen informatie beschikbaar in REGIS II.

De stuwwal van Oldenzaal bestaat uit waarschijnlijk gestuwde tertiaire klei-, leem- en zandlagen. Het onderzoeksgebied ligt in een erosiedal ("Dalvormige laagte zonder veen"), ingesleten in een grondmorene (Figuur 40) (Basisregister Ondergrond, 2021).





Figuur 39 Hydrogeologische doorsnede van de Snoeyinksbeek met REGISII (Dinoloket, 2021).



Figuur 40 Geomorfologische kaart van Snoeyinksbeek (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.4.4 Hydrologie

2.4.4.1 Hydrologisch systeem

De Snoeyinksbeek ligt in het stroomgebied van de Dinkel en ontspringt op de stuwwal. De beek stroomt in zuidoostelijke richting.

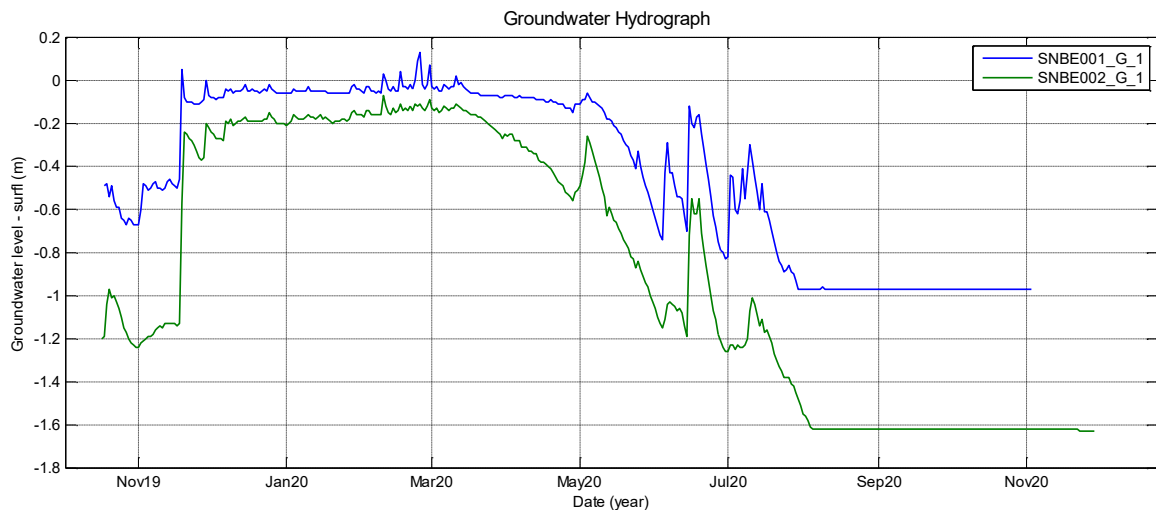
2.4.4.2 Grondwatertrappen

In de benedenloop van de Snoeyinksbeek is er sprake van grondwatertrap III. In groot gedeelte van de beek is er sprake van grondwatertrap V, veroorzaakt door het keileem dat zeer oppervlakkig aanwezig is. Buiten het dal van de Snoeyinksbeek is er sprake grondwatertrap V, VI en VII (zie Figuur 30 bij het Smoddebos).

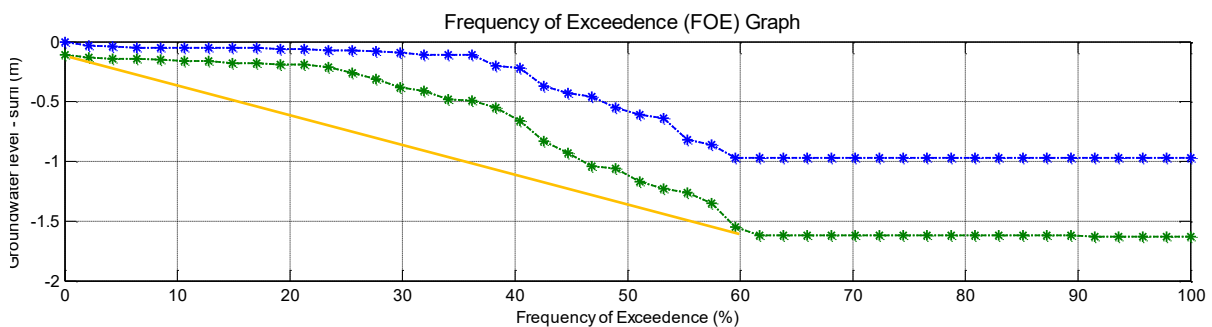
2.4.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

Er is een peilbuis geplaatst op twee OBN-onderzoeklocaties met metingen van november 2019-november 2020. Bij de onderzoekslocatie "Alno-Padion met voedselrijke beekafzetting" is peilbuis SNBE001_G aanwezig op 38,11 m t.o.v. NAP en deze geeft een GHG van 0,05, een GVG 0,07 m -mv. In de zomer valt

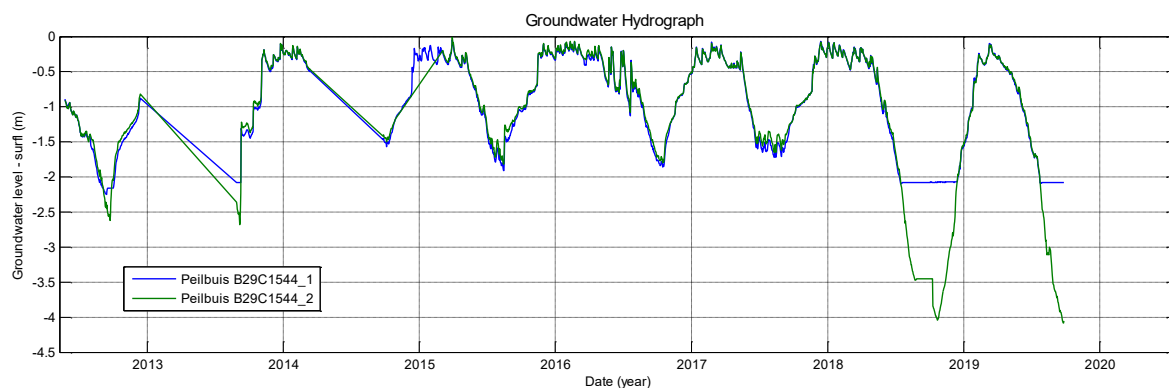
deze buis droog op de keileem, op 0,8 m -mv. Bij de onderzoekslocatie “verdroogd *Alno-Padion* met zuur strooisel” staat peilbuis SNBE002_G_2 op 38,84 m t.o.v. NAP en deze geeft een GHG van 0,05 en GVG van 0,05 m -mv. Ook deze buis valt in de zomer droog op de keileem op 1,5 m -mv. In de duurlijnen van deze peilbuizen is ook duidelijk te zien dat deze een aanzienlijk deel van het jaar droogvallen op de schijnspegel (Figuur 42). In de periode hiervoor hebben de duurlijnen een bolle vorm. Een andere peilbuis, verder verwijderd van de onderzoekslocaties, maar met een langere meetreeks (2013-2020), is peilbuis B29C1544. Deze peilbuis ligt in het Vogelkers-Essenbos (Figuur 47) en heeft een GHG van 0,05, GLG van 1,31 en GVG van 0,06 m -mv (Figuur 43). De bijbehorende grondwatertrap is V en de duurlijn heeft een bolle vorm (Figuur 44).



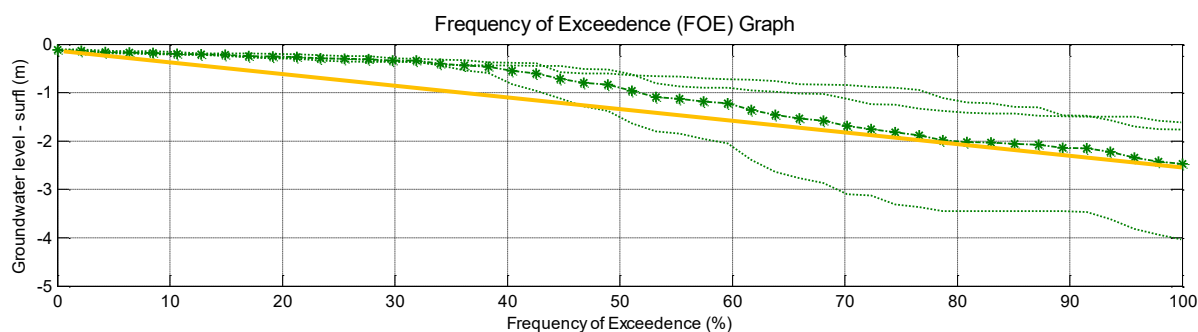
Figuur 41 Duurlijnen van peilbuizen SNBE001_G_1 en SNBE002_G_1.



Figuur 42 Duurlijnen van peilbuizen SNBE001_G_1 (blauw) en SNBE002_G_1 (groen).



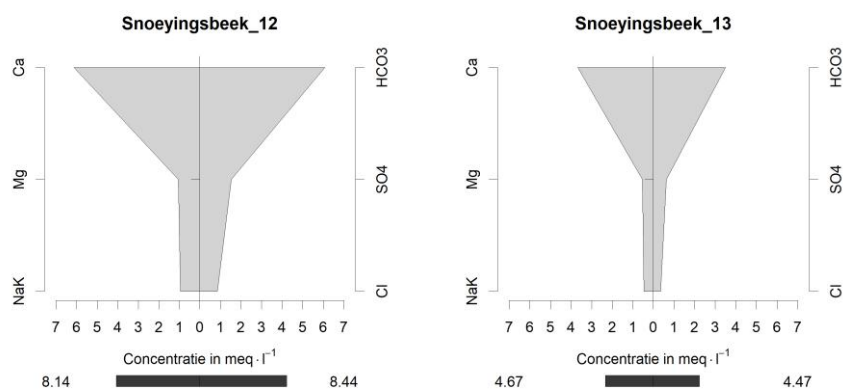
Figuur 43 Tijdstijghoogtelijn peilbuis B29C1544 met diep (groen) en ondiep (blauw) filter.



Figuur 44 Duurlijn van diepe filter van peilbuis B29C1544 met gele hulplijn.

2.4.4.4 Waterkwaliteit

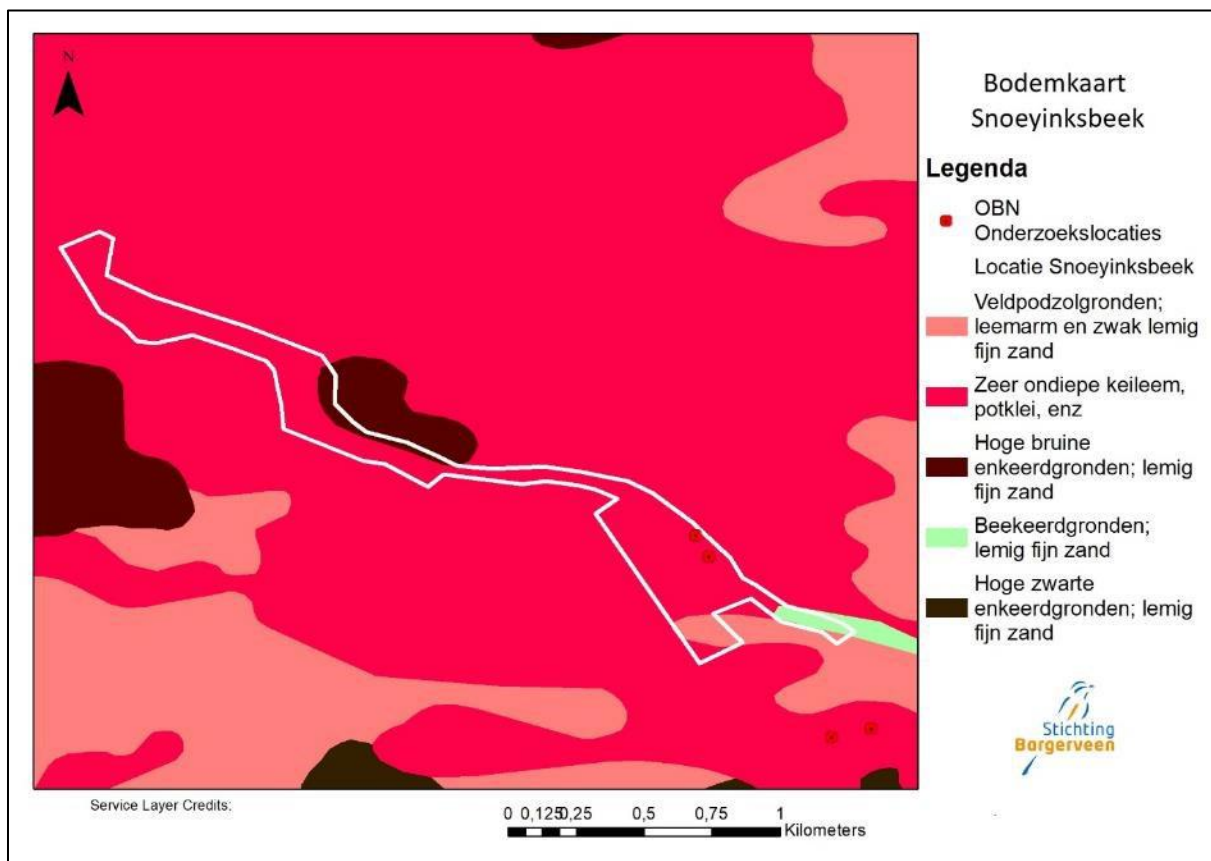
In het onderzoeksgebied is op twee locaties grondwatermonsters genomen. De Stiffdiagrammen hebben een breed aanbeeld en duiden op basenrijk grondwater (Figuur 45).



Figuur 45 Stiffdiagrammen Snoeyingsbeek.

2.4.5 Bodem

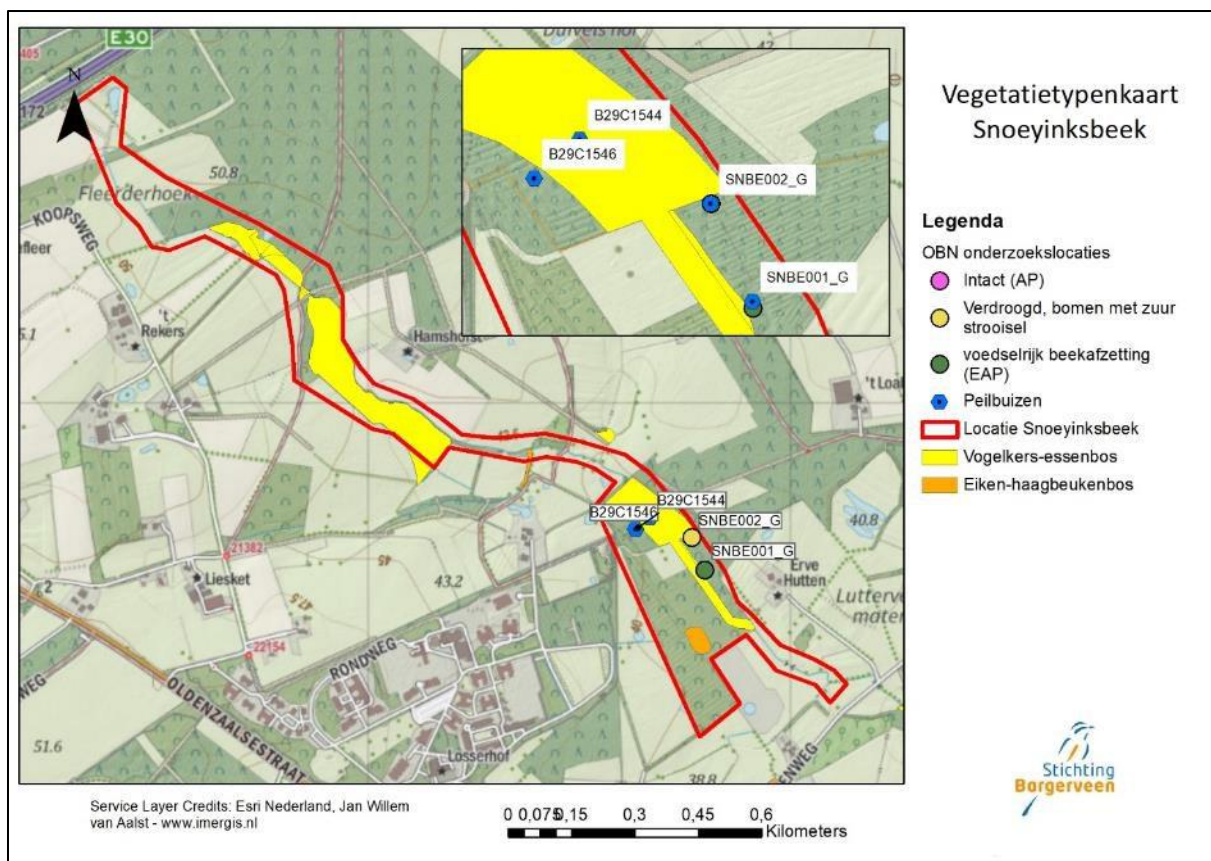
Volgens de 1:50.000 bodemkaart liggen er binnen het gebied voornamelijk ondiepe keileem, een kenmerkend bodemtype voor op de flank van de stuwwal. Benedenstrooms van de Snoeyingsbeek liggen beekerdgronden, bestaande uit lemig, fijn zand (Figuur 46).



Figuur 46 1:50.000 bodemkaart van Snoeyinksbeek (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.4.6 Vegetatie en flora

In het onderzoeksgebied komen in een smalle zone langs de Snoeyinksbeek Vogelkers-Essenbossen voor van goede kwaliteit (Figuur 47). Typische soorten die hier voorkomen zijn Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Eenstijlige meidoorn (*Crataegus monogyna*), Wilde kardinaalsmuts (*Euonymus europaeus*), Gelderse roos (*Viburnum opulus*), Reuzenzwenkgras (*Festuca gigantea*) en Groot heksenkruid (*Circaea lutetiana*) (Provincie Overijssel).

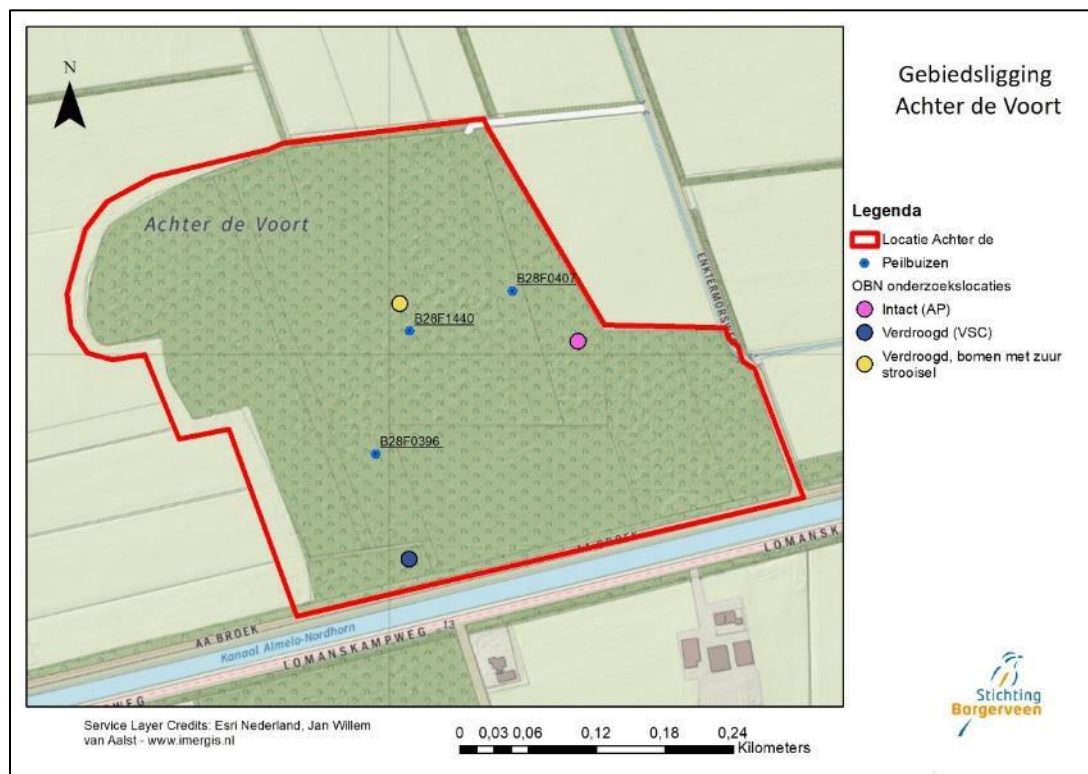


Figuur 47 Vegetatietypenkaart Snoeyinksbeek.

2.5 Achter de Voort

2.5.1 Algemeen

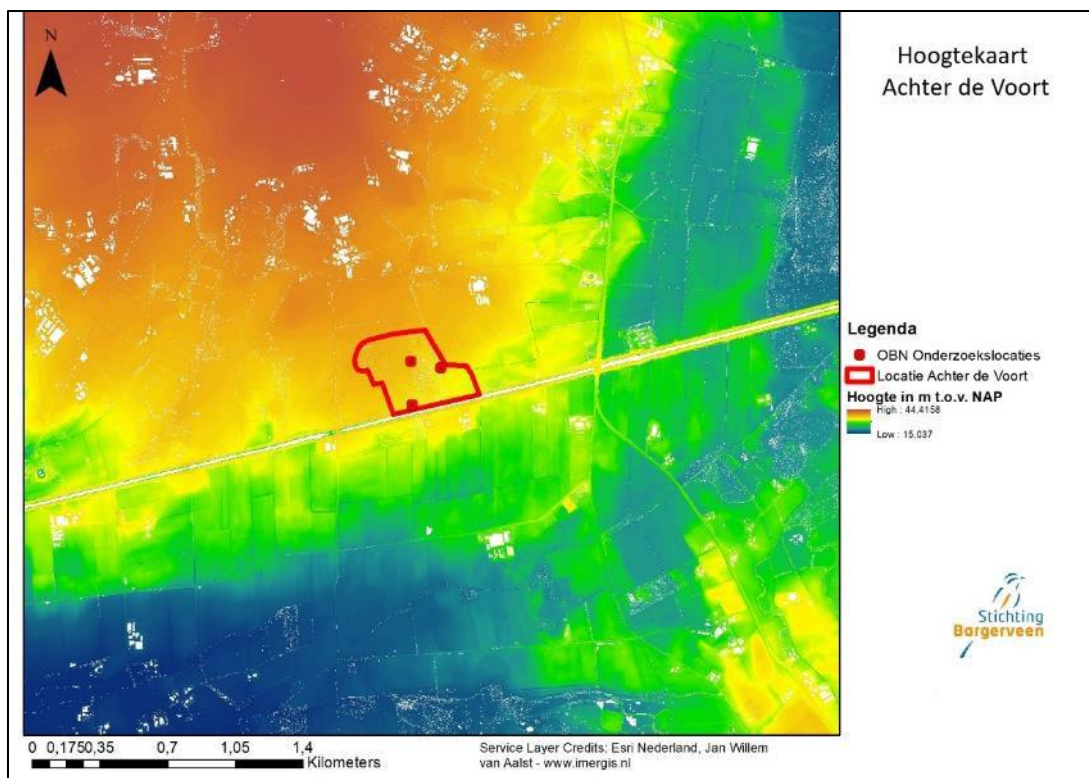
Achter de Voort is een natuurgebied in Noordoost-Twente ten noorden van het kanaal Almelo-Nordhorn in de gemeente Dinkelland (Figuur 48). Het gebied omvat 16 hectare en is in bezit van Staatsbosbeheer. Het gebied is sinds 1999 een bosreservaat (WENR, 2021) en onderdeel van het Natura 2000-gebied Achter de Voort, Agelerbroek en Voltherbroek. In het gebied zijn drie onderzoekslocaties aanwezig: "intact *Alno-Padion*", "verdroogd Eiken-Haagbeukenbos" en "verdroogd vochtig bos met bomen met zuur strooisel".



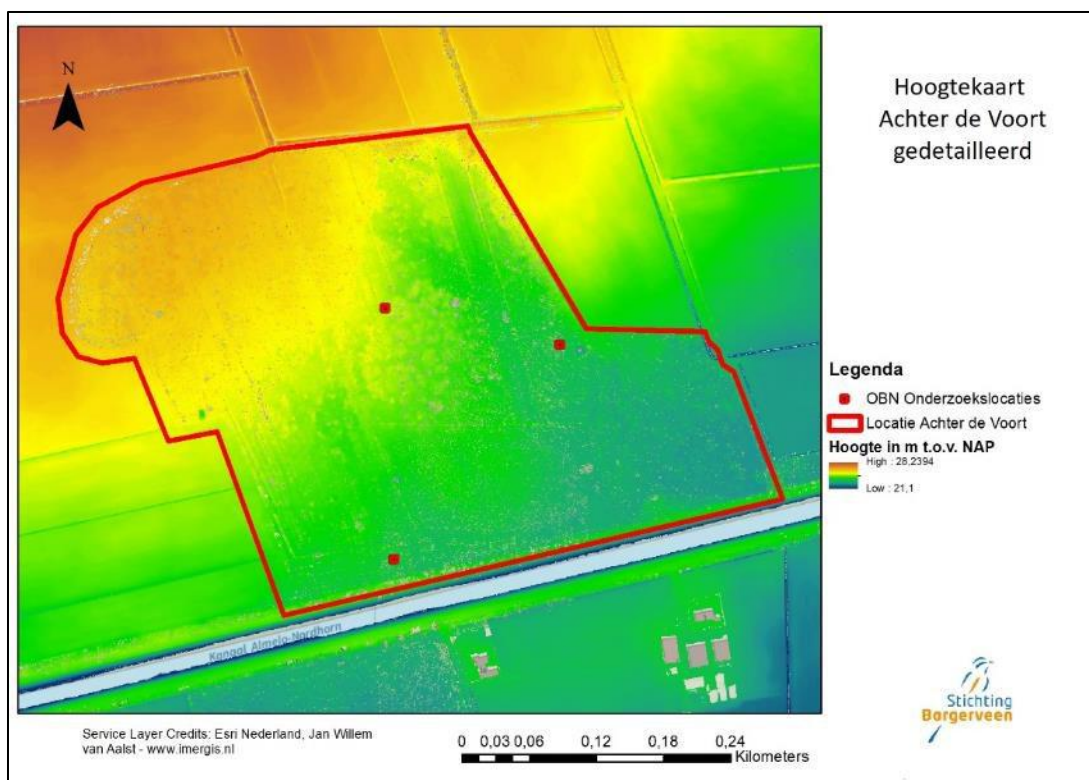
Figuur 48 Gebiedsligging van Achter de Voort met OBN onderzoekslocaties.

2.5.2 Reliëf

Achter de Voort bevindt zich op de zuidflank van de stuwwal van Ootmarsum. Binnen gebied ligt het maaiveld tussen 22-27 m +NAP en het maaiveld loopt af in zuidoostelijke richting (Figuur 49). Op de gedetailleerde hoogtekaart is te zien dat er geen rabatten aanwezig zijn in het onderzoeksgebied (Figuur 50).



Figuur 49 Hoogtekaart Achter de Voort (AHN3, 2021).

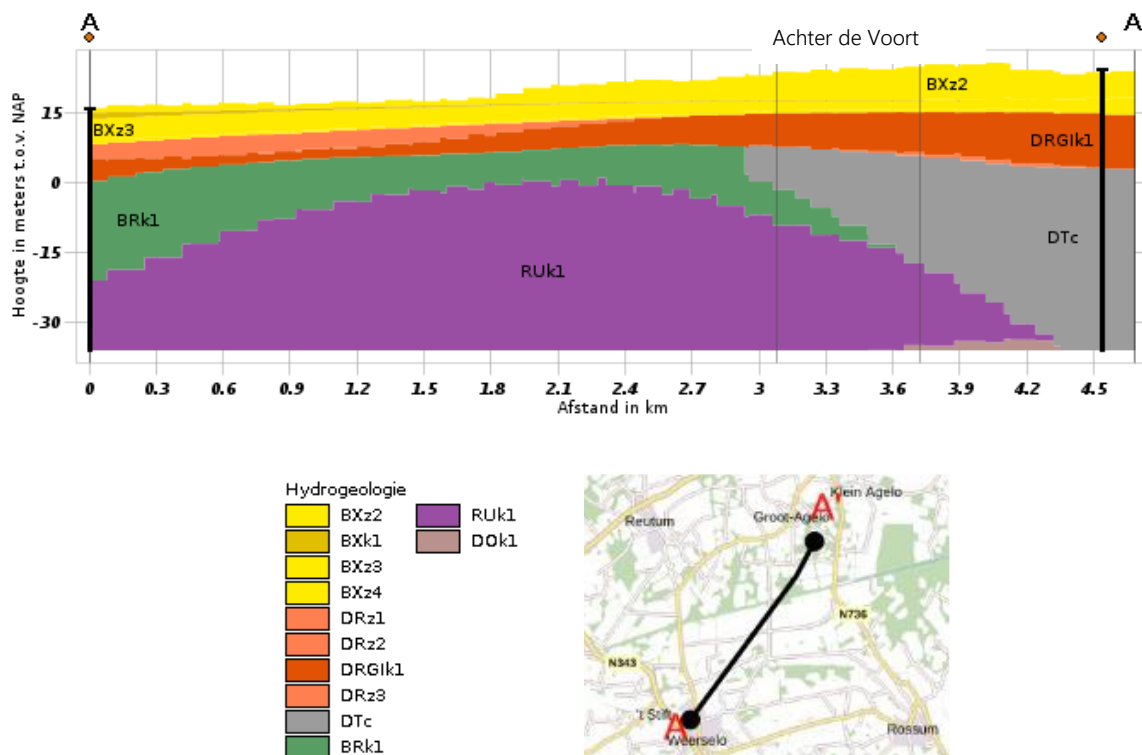


Figuur 50 Gedetailleerde hoogtekaart Achter de Voort (AHN3, 2021).

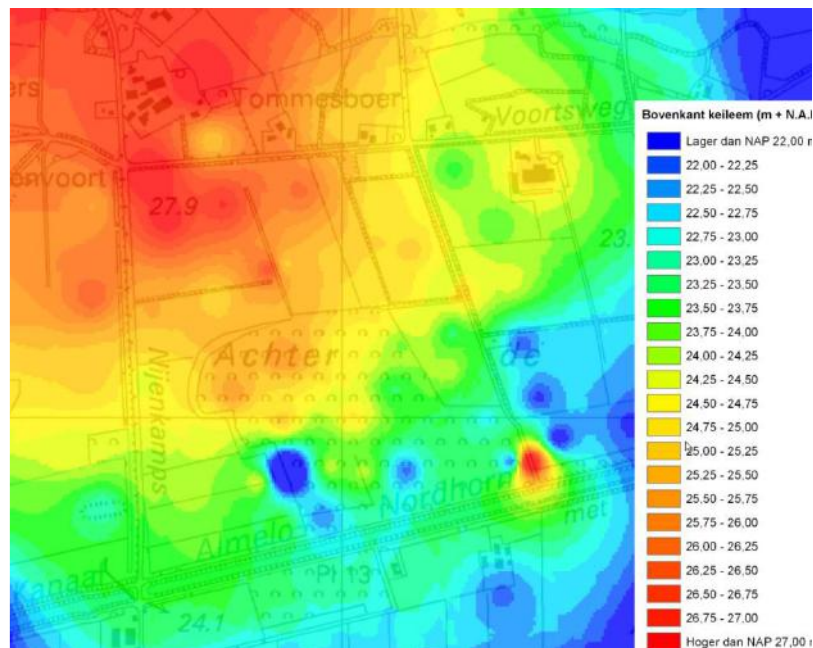
2.5.3 Geologie en geomorfologie

De bovenste laag van de ondergrond bestaat uit dekzand (Formatie van Boxtel, BX). Hieronder komt dicht aan de oppervlakte keileem voor (Formatie van Drenthe, Laagpakket van Gieten, DRGik1) (Figuur 51). Deze laag is slecht doorlatend, met als gevolg een zeer dun freatisch watervoerend pakket van maximaal enkele meters. Plaatselijk dagzoomt de keileem in Achter de Voort (Figuur 52). Onder de keileem ligt een pakket van circa 40 m gestuwd materiaal (DTc), bestaande uit mariene en fluviatiele zanden en kleien. Op regionale schaal vormen de mariene tertiaire kleien van de Formatie van Dongen en de Formatie van Rupel de geohydrologische basis van het grondwatersysteem. Deze formaties kunnen rijk zijn aan o.a. kalk, pyriet, glauconiet en septariën (kalkconcreties) en bevinden zich circa 85-40 onder NAP (Provincie Overijssel, 2017).

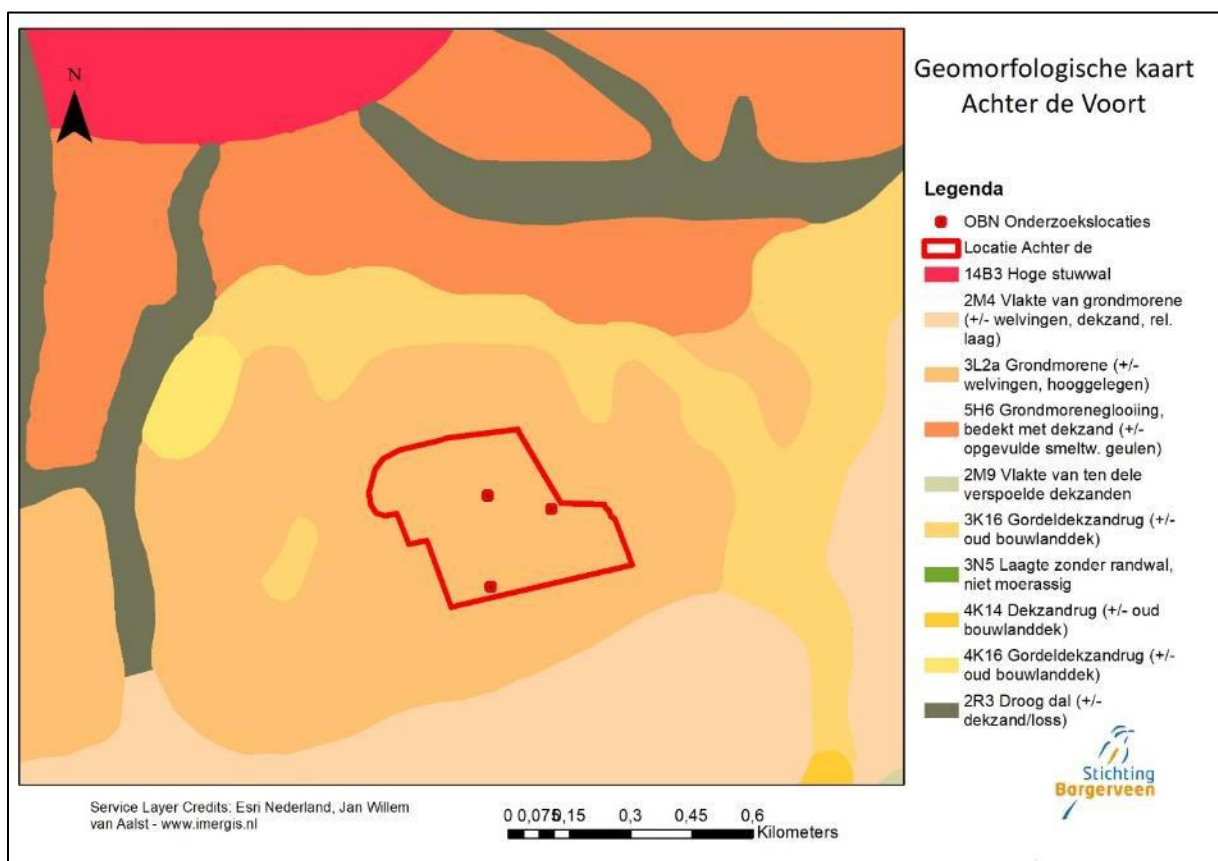
Het gebied ligt gedeeltelijk op de flank van de stuwwal van Ootmarsum en voor een deel in een uitgesleten subglaciaal dal tussen deze stuwwal en de stuwwal van Oldenzaal. Ter plaatse van Achter de Voort heeft zich een grondmore gevormd (Figuur 53).



Figuur 51 Hydrogeologische doorsnede van Achter de Voort met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 52 Hoogteligging van de bovenkant van het keileem in en rond Achter de Voort (Provincie Overijssel, 2017).



Figuur 53 Geomorfologische kaart van Achter de Voort (Basisregister Ondergrond, 2021).

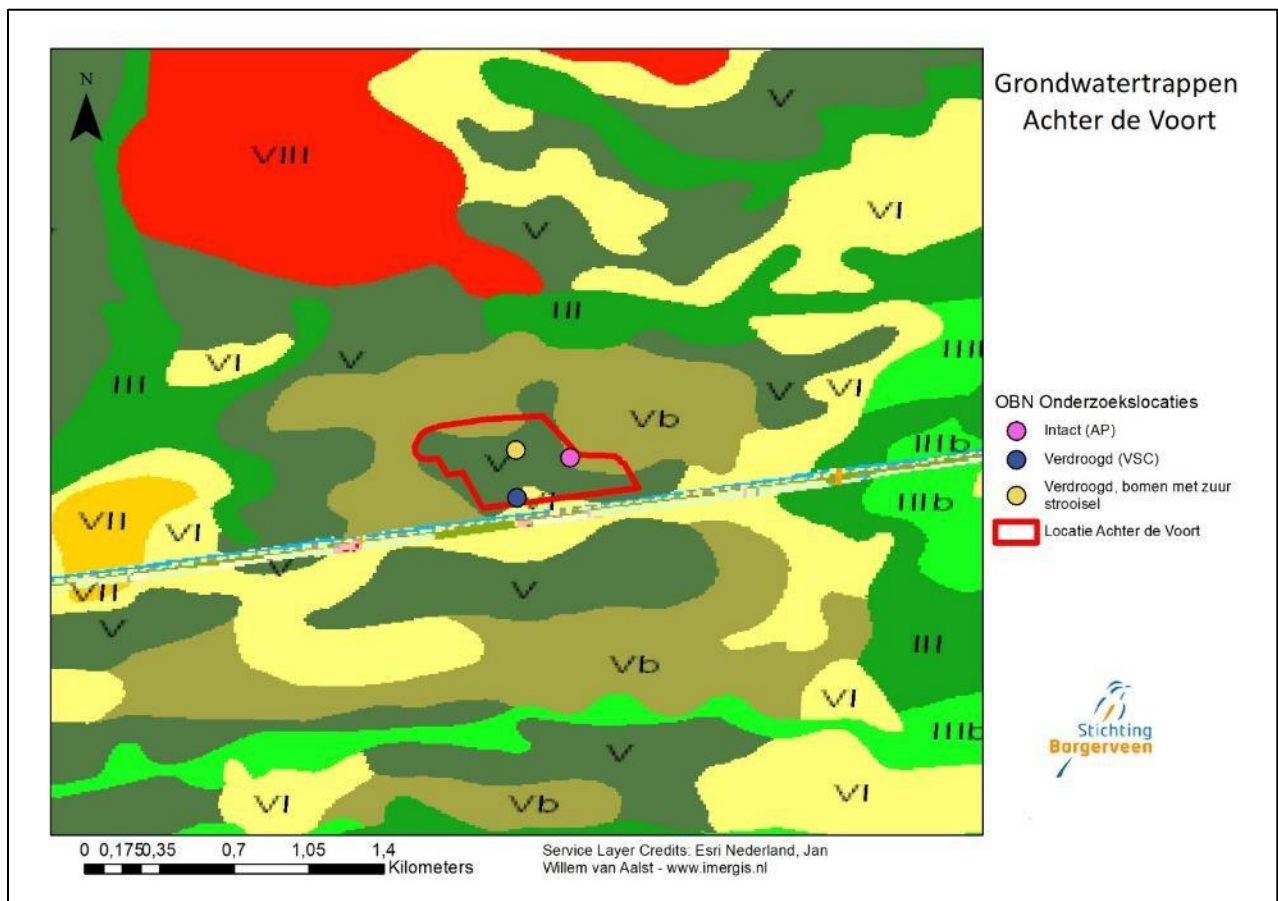
2.5.4 Hydrologie

2.5.4.1 Hydrologisch systeem

Het inzijsgebied van het grondwatersysteem bevindt zich op de stuwwal van Ootmarsum en loopt globaal van noordwest naar zuidoost. In het gebied speelt het lokale grondwatersysteem een grote rol. De laagten in het gebied staan onder invloed van lokaal, basenrijk grondwater door de aanwezigheid van ondiep, kalkrijk materiaal. Ook vindt er in de overgang van de laagte naar de dekzandkopjes capillaire opstijging van basenrijk grondwater plaats. In het gebied ontbreken diep drainerende sloten en greppels, waardoor er in de winter en voorjaar hoge grondwaterstanden optreden tot aan het maaiveld tot net daarboven. Buiten het gebied zijn wel diepe sloten aanwezig, die er voor zorgen dat de grondwaterstanden in het voorjaar lager zijn dan in de oorspronkelijke situatie en de toestroom van lokaal basenrijk grondwater verminderen (Provincie Overijssel, 2017).

2.5.4.2 Grondwatertrappen

In het gebied komt voornamelijk grondwatertrap V voor en zijn daarnaast grondwatertrap VI en Vb aanwezig (Figuur 54).



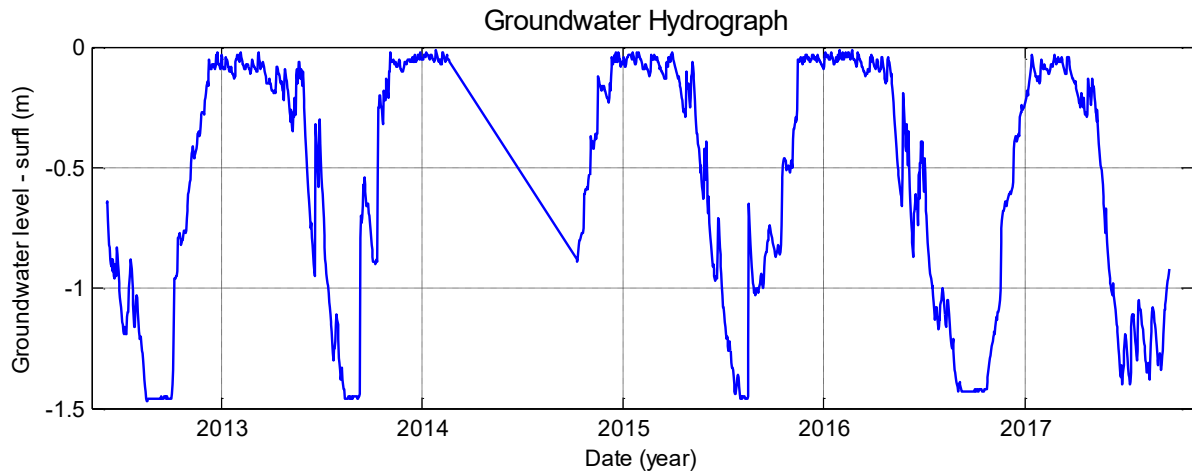
Figuur 54 Grondwatertrappen Achter de Voort, Stibokakaart 1989 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.5.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

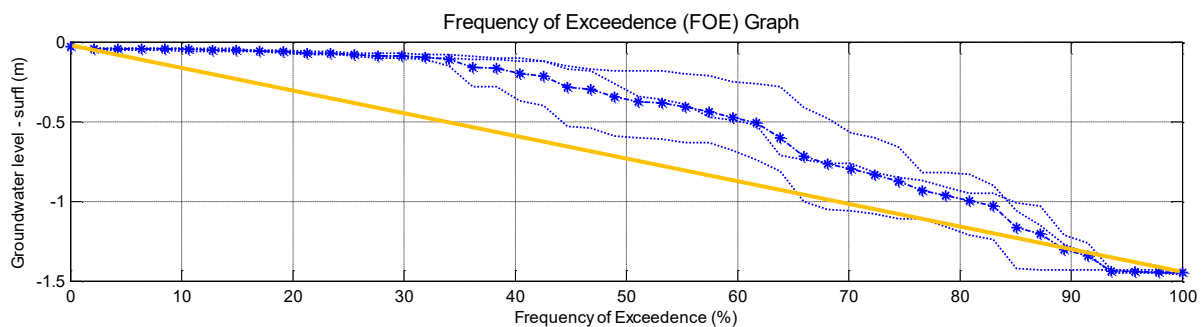
In het onderzoeksgebied Achter de Voort zijn een paar peilbuizen beschikbaar vlakbij de onderzoekslocaties. Peilbuis B28F1440 ligt op 24,77 m t.o.v. NAP in het Eiken-Haagbeukenbos (Figuur 63)

en duidt op een grondwatertrap V. De waterstandstanden geven een GLG van 1,67, GHG van 0,04 en GVG van 0,09 m -mv (2012-2020, diepe filter).

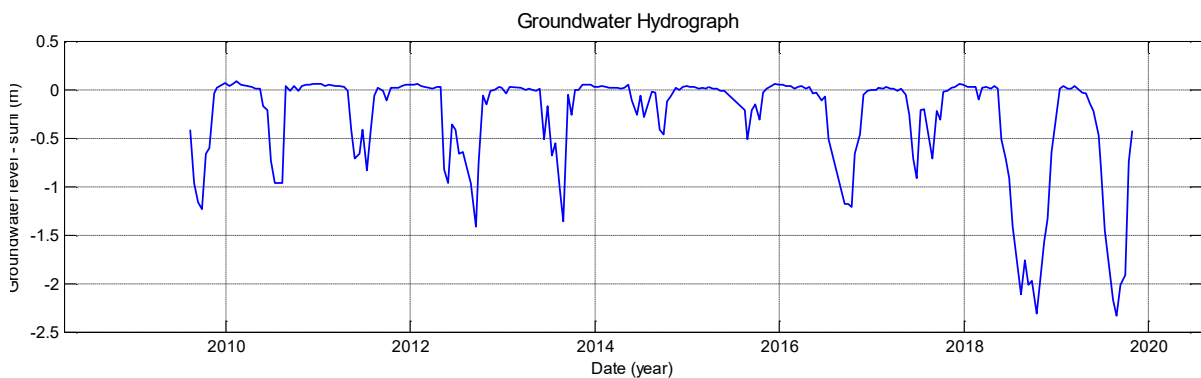
Peilbuis B28F0407 bevindt zich in het Vogelkers-Essenbos en duidt op een Gt III. De waterstanden geven een GLG van 0,98 -mv, GHG van 0,05 en een GVG van 0,02 m +mv (2012-2020). Op deze locatie staat de waterstand circa 40% van het jaar in maaiveld, de duurlijn heeft dan ook een bolle vorm (Figuur 57, Figuur 58). Peilbuis B28F0396 geeft een vergelijkbaar beeld met een GLG van 1,07 m -mv, GHG van 0,05 en een GVG van 0,04 m +mv (2010-2015) en grondwatertrap III (Figuur 59, Figuur 60).



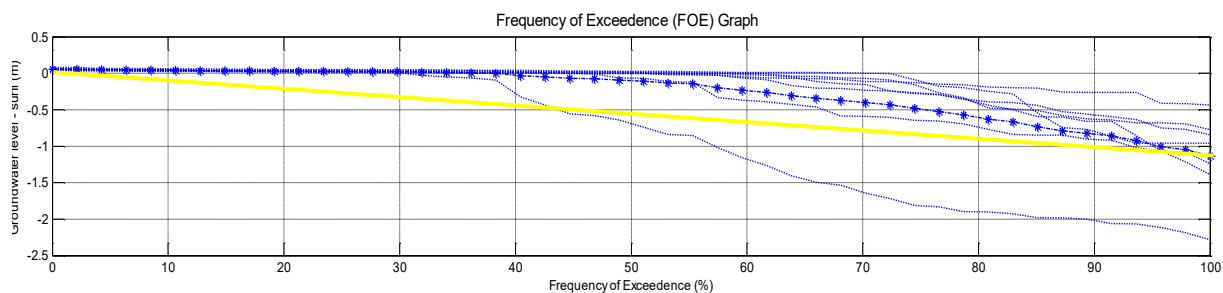
Figuur 55 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B28F1440 diepe filter.



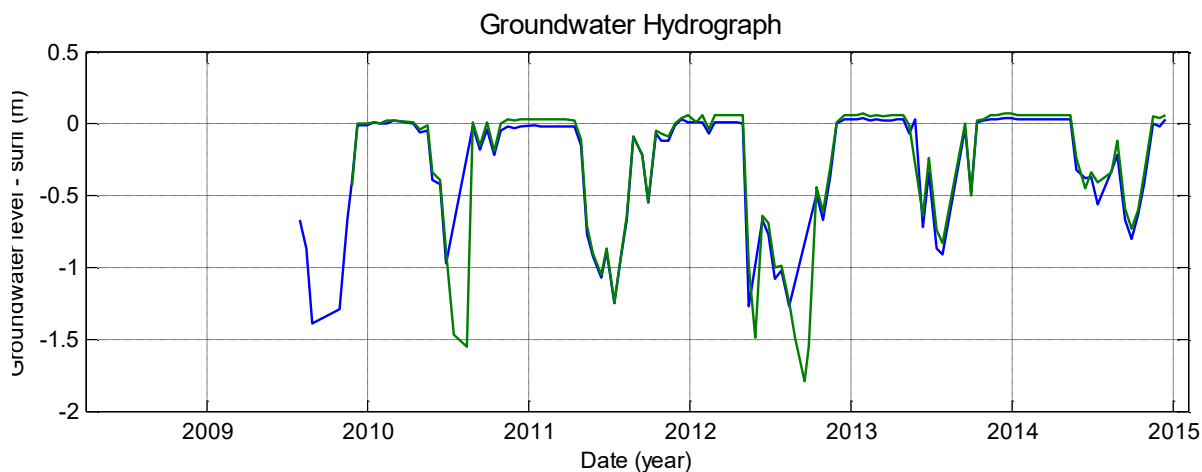
Figuur 56 Duurlijn peilbuis B28F1440 diepe filter.



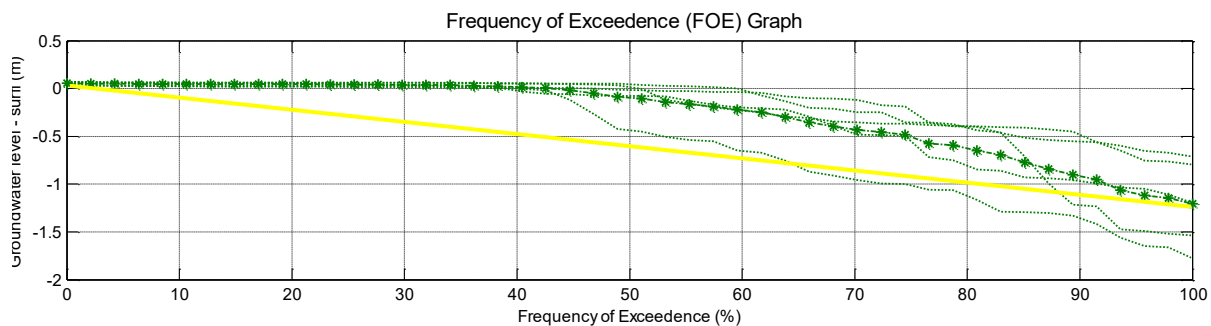
Figuur 57 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B28F0407.



Figuur 58 Duurlijn van peilbuis B28F0407 (2010-2020) met gele hulplijn.



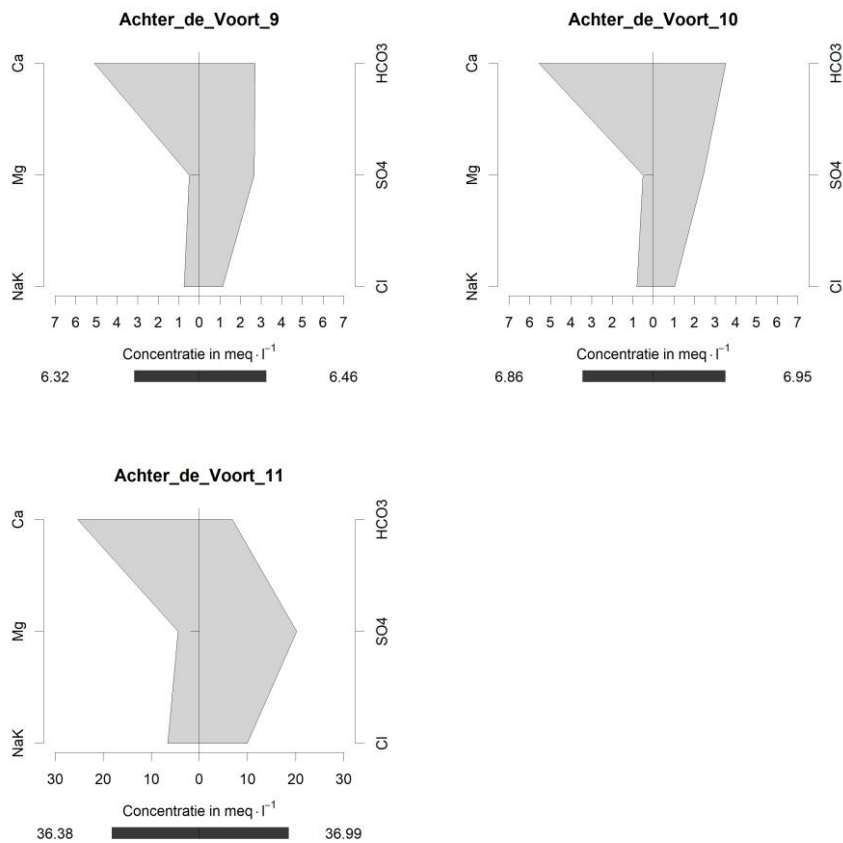
Figuur 59 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B28F0396. Blauw ondiep filter, groen diep filter.



Figuur 60 Duurlijn van peilbuis B28F0396 diepe filter (2010-2015), met gele hulplijn.

2.5.4.4 Waterkwaliteit

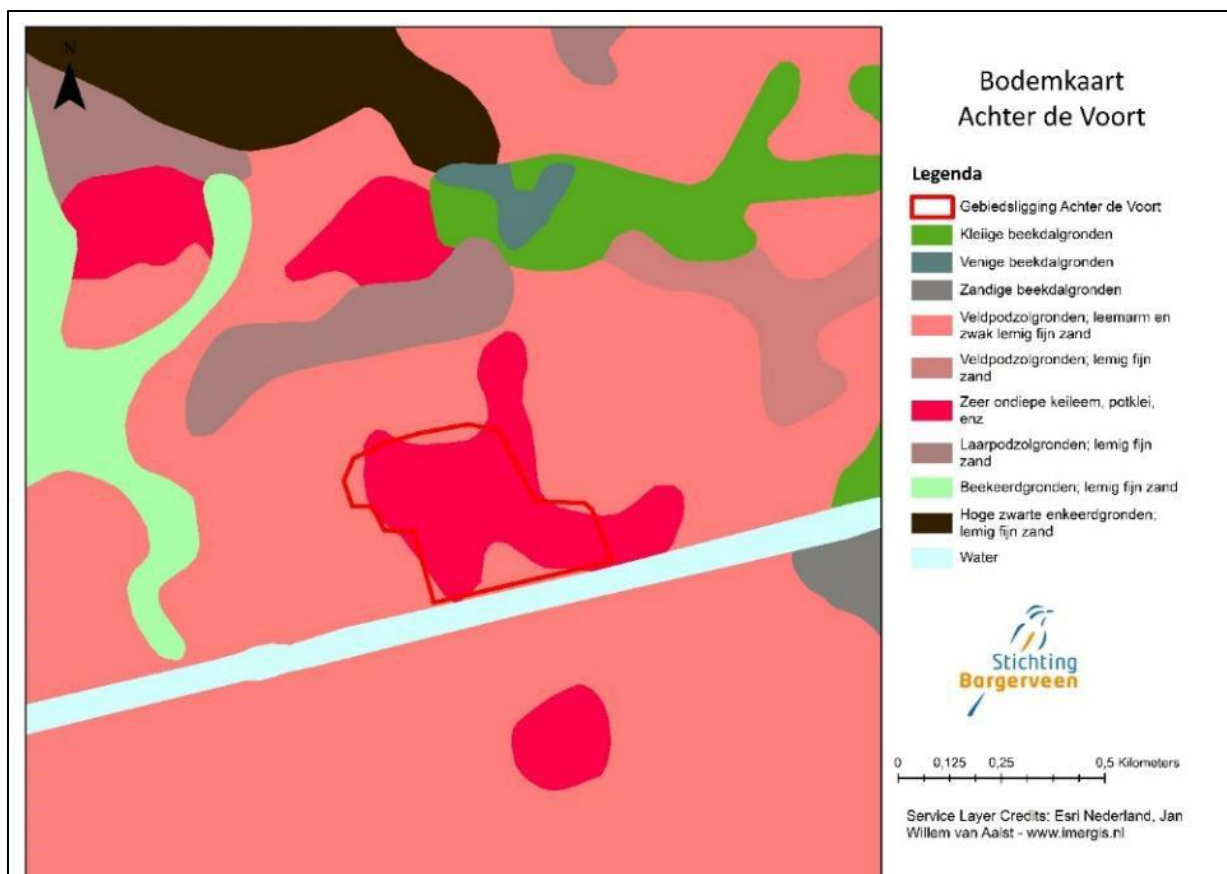
In het gebied zijn op drie locaties grondwatermonsters genomen in de aanwezige peilbuizen. De Stiffdiagrammen duiden op basenrijk water (Figuur 61). Ook is er op een locatie veel sulfaat aanwezig, wat mogelijk komt door pyrietoxidatie in de ondergrond.



Figuur 61 Stiffdiagrammen Achter de Voort.

2.5.5 Bodem

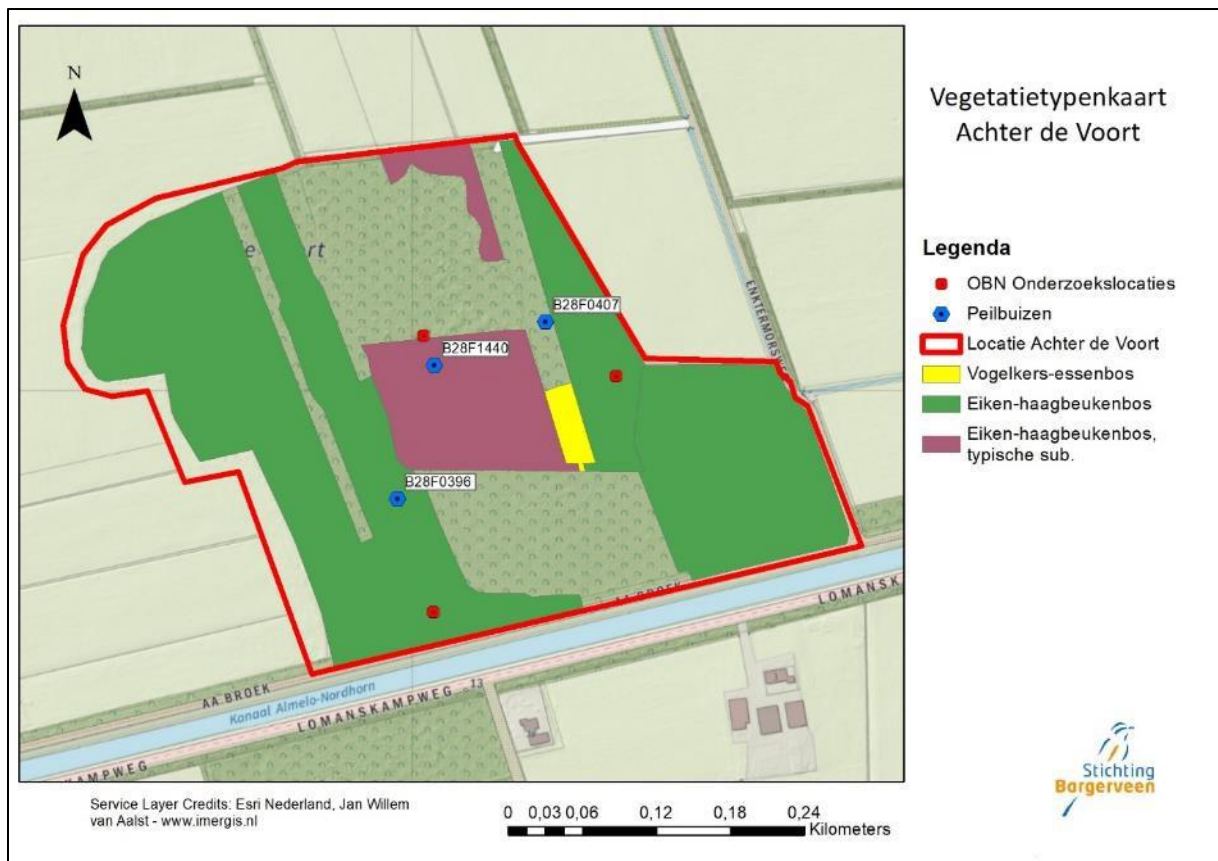
Volgens de 1:50.000 bodemkaart komen er in Achter de Voort keileemgronden voor (Figuur 62). Hier is keileem tot ondiep onder het maaiveld aanwezig en dagzoomt in maaiveld of is bedekt met een dunne laag dekzand. De dekzandlaag varieert in dikte en is maximaal enkele meters dik. Plaatselijk komen er dekzandkopjes voor. De keileemgronden worden omgeven door veldpodzolgronden, waar de dekzandlaag op het keileem wat dikker is.



Figuur 62 1:50.000 bodemkaart van Achter de Voort (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.5.6 Vegetatie en flora

In Achter de Voort zijn Eiken-Haagbeukenbossen aanwezig met overgangen naar Vogelkers-Essenbos (*Pruno-Fraxinetum*) en Elzenbroekbos (*Alnion glutinosae*) (Figuur 63). De Eiken-Haagbeukenbossen zijn van de typische subassociatie en hebben een omvang van circa 12 hectare. De kwaliteit wordt beschreven als "redelijk" (Provincie Overijssel, 2017). Typische soorten van deze associatie zijn aanwezig en in de boomlaag is de Eik dominant. Echter is de ontwikkeling van de kwaliteit van dit bostype negatief, wat geïndiceerd wordt door de afname van een soort als de Eenbes (*Paris quadrifolia*). Het gebied ligt niet op rabatten, wel zijn er hier en daar greppels aanwezig. Het belangrijkste knelpunt voor het vegetatietype is ontwatering, wat de vermindering van uittredend basenrijk grondwater als gevolg heeft. Het gebied verdroogt en verzuurt hierdoor. Ook is er sprake van strooiselophoping op de hogere delen, als gevolg van dominantie van Zomereik in de boomlaag en vermoedelijk door de verminderde aanvoer van basenrijk grondwater door afgenomen capillaire opstijging (Provincie Overijssel, 2017).

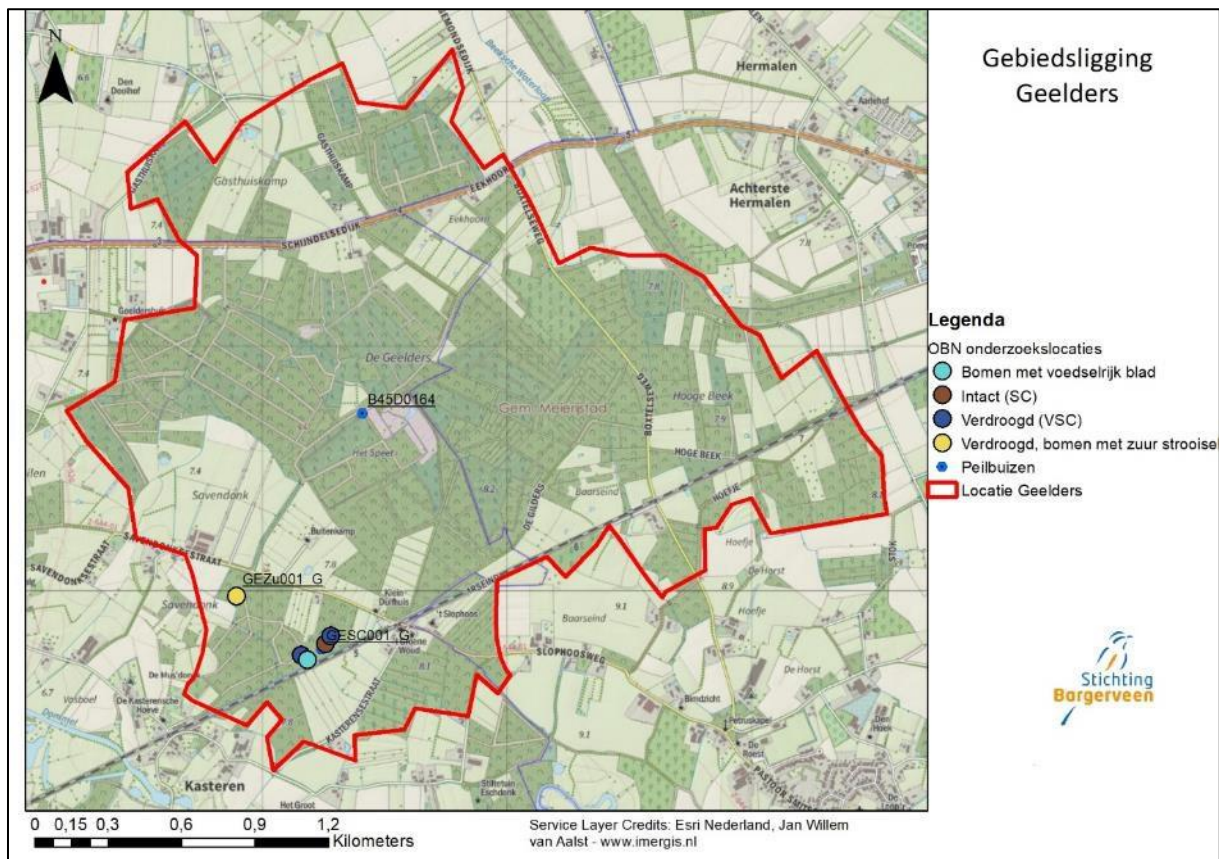


Figuur 63 Vegetatietypenkaart Achter de Voort.

2.6 De Geelders

2.6.1 Algemeen

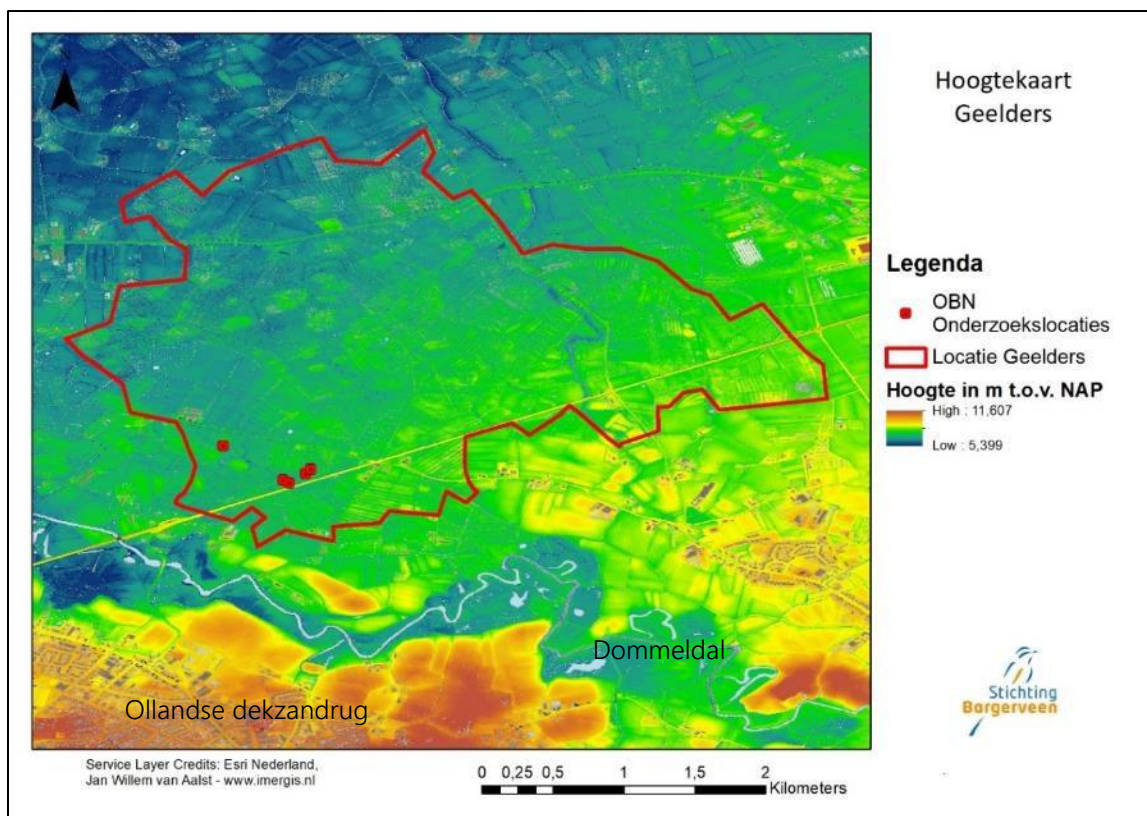
De Geelders is een natuurgebied van circa 510 hectare ten oosten van Boxtel. Het gebied is onderdeel van Nationaal Landschap Het Groene Woud en tevens een Natte Natuurparel. Het gebied wordt beheerd door Staatsbosbeheer, Brabants Landschap en particulieren. Het zuidwestelijke deel van het bos is sinds 1995 aangewezen als bosreservaat (WENR, 2021). In dit gedeelte van het gebied liggen vijf onderzoekslocaties: "bomen met voedselrijk blad", "verdroogd met bomen met zuur strooisel", "intact Eiken-Haagbeukenbos" en "verdroogd Eiken-Haagbeukenbos" (2x) (Figuur 64).



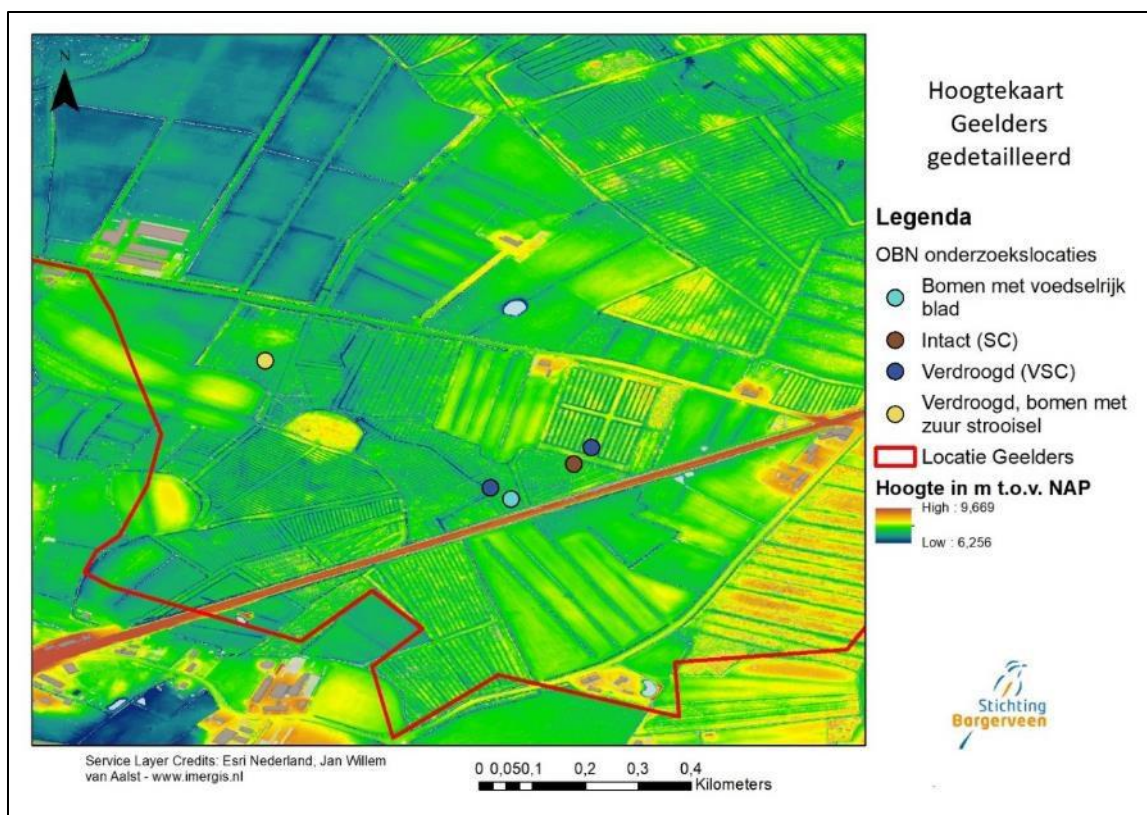
Figuur 64 Onderzoeksgebied de Geelders, OBN onderzoekslocaties en peilbuislocaties.

2.6.2 Reliëf

De Geelders bevindt zich ongeveer tussen de 6,5 en 8 m +NAP en het terrein helt af in noordwestelijke richting. Ten zuidoosten van de Geelders ligt het Dommeldal en de hogere gronden van de Ollandse dekzandrug (Figuur 65). Binnen het terrein bestaat ook een grote afwisseling van hoogtes en laagtes en is duidelijk te zien dat verschillende percelen rabatten bevatten (Figuur 66).



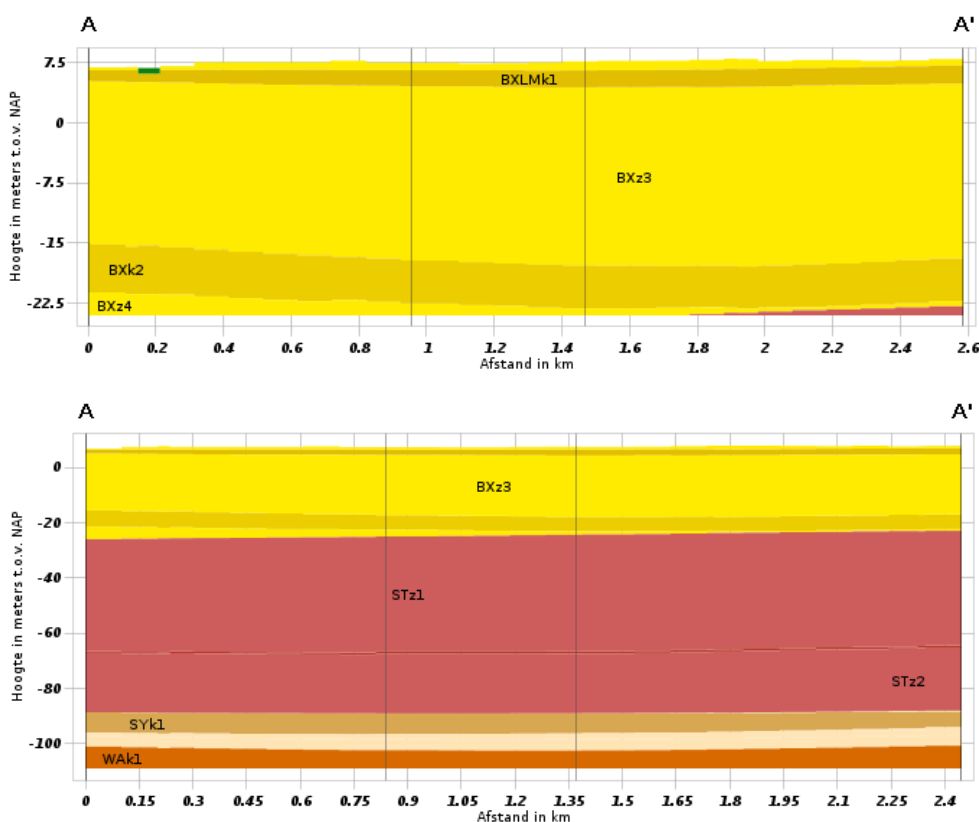
Figuur 65 Hoogtekaart van de Geelders (AHN, 2021).

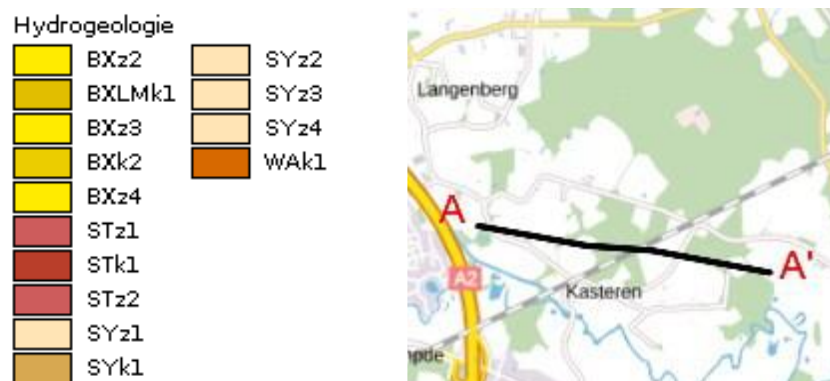


Figuur 66 Hoogtekaart de Geelders (AHN3, 2021).

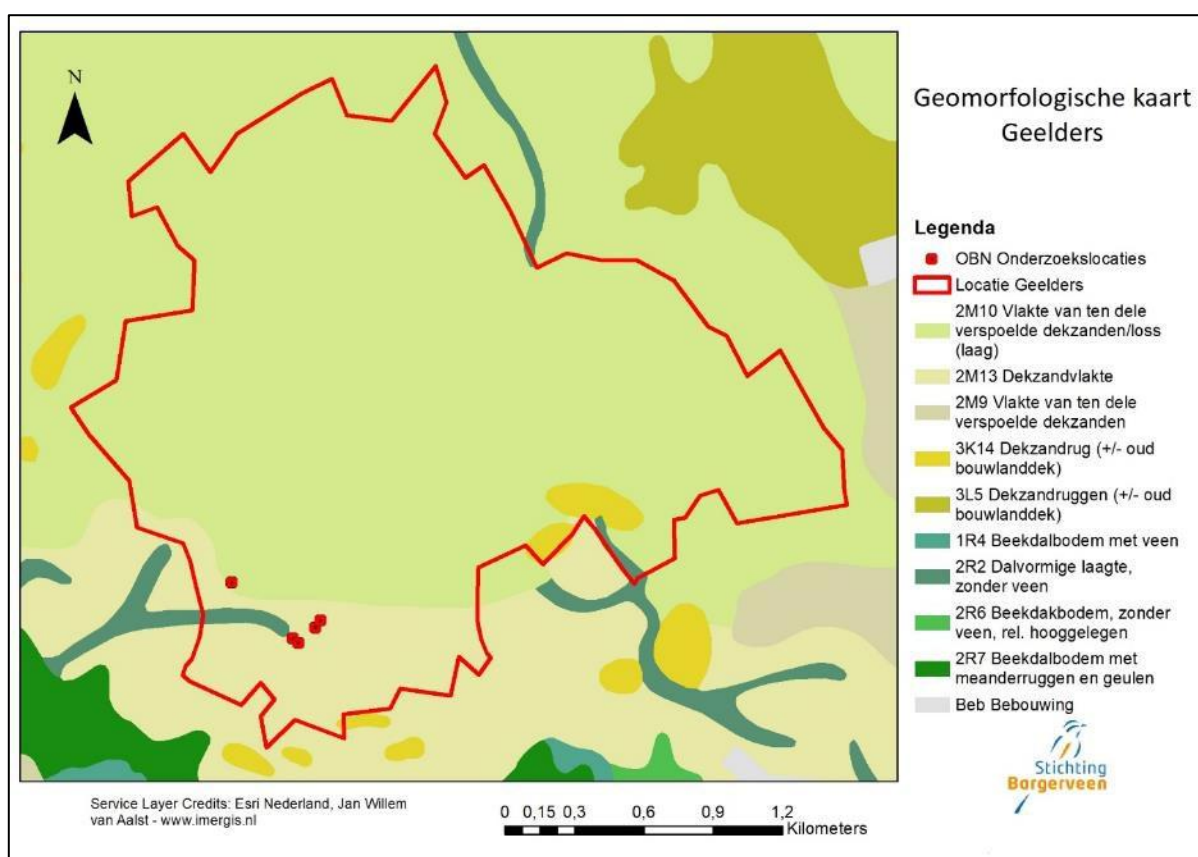
2.6.3 Geologie en geomorfologie

De Geelders bevindt zich in de Roerdalslenk op hogere gronden ten oosten van het Dommeldal (Hunneman & Jalink, 2007). Dicht aan het oppervlak bevindt zich een dikke leemlaag, de Brabantse leem (Laagpakket van Liempde, BXLmk1), wat de scheiding is van een dun freatisch watervoerend pakket die bestaat uit dekzand (BXz2). Hieronder bevindt zich het eerste watervoerend pakket, die bestaat uit dekzand (Formatie van Boxtel, BXz3). Op circa 20 m -NAP bevindt zich nog een kleiige laag (Laagpakket van Best, Formatie van Boxtel, BXk2). Onder de Formatie van Boxtel ligt een dikke laag van grove zanden van de Formatie van Sterkel (STz1) en hieronder ligt de een scheidende laag op circa 90 m -NAP (eerste kleiige eenheid, Formatie van Stamproy, SYk1). Daaronder bevindt zich het volgende, dunne watervoerend pakket, bestaande uit zanden van de Formatie van Stamproy (SYz). Hieronder ligt een dikke kleilaag van de Formatie van Waalre (Wak1) (Figuur 67) (REGIS II, Dinoloket, 2021). Volgens de geomorfologisch kaart bestaat het grootste gedeelte van de Geelders uit de eenheid "Vlakte van ten dele verspoelde dekzanden/löss". In het zuiden van de Geelders, waar de onderzoekslocaties liggen, is een dekzandvlakte aanwezig met daarin een dalvormige laagte zonder veen (Figuur 68) (Basisregister Ondergrond, 2021).





Figuur 67 Hydrogeologische doorsnede van de Geelders met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 68 Geomorfologische kaart Geelders (Basisregister Ondergrond, 2021).

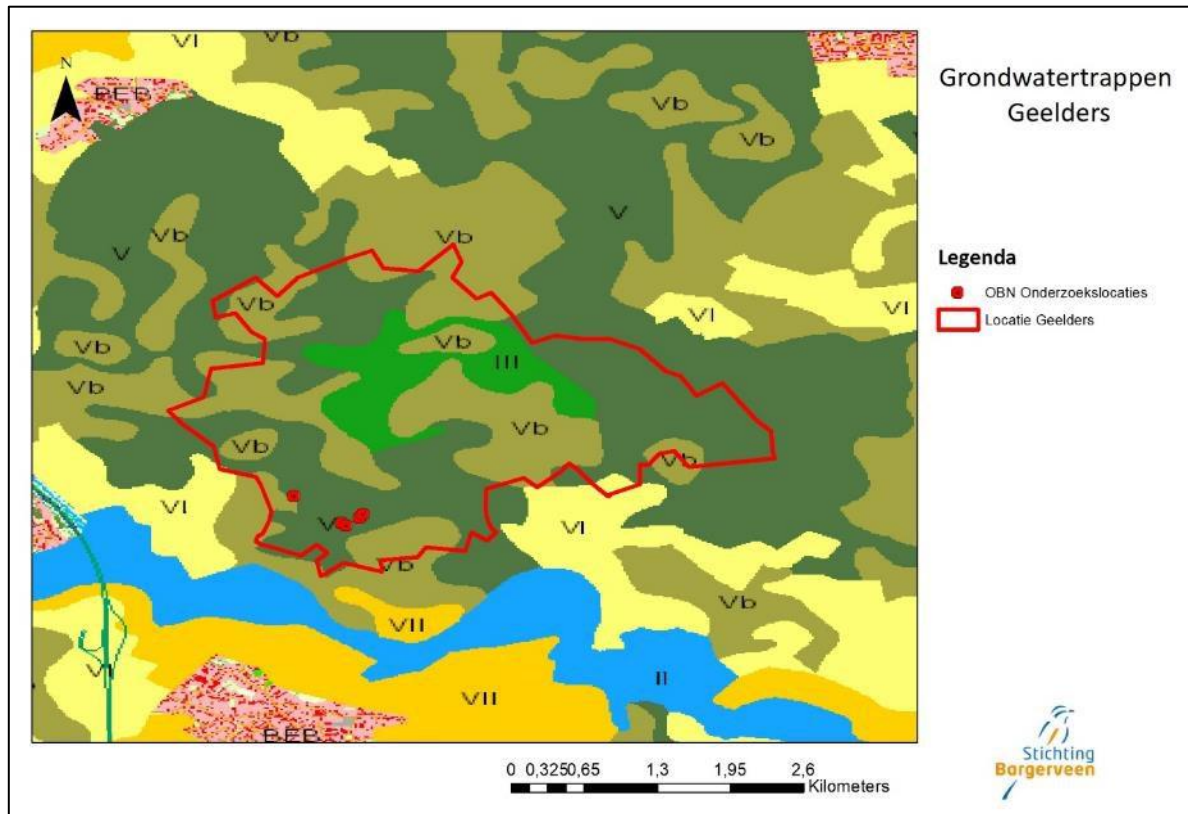
2.6.4 Hydrologie

2.6.4.1 Hydrologisch systeem

Het hydrologisch systeem bestaat uit een lokaal grondwatersysteem die sterk wordt beïnvloed door het Brabantse leem in de ondergrond. De leemlagen in de ondiepe ondergrond zorgen voor een vertraagde infiltratie en een relatief sterke laterale grondwaterstroming in het topsysteem van de bodem. In combinatie met ondiepe, kalkhoudende afzettingen, betekent dit dat het gebied wordt gevoed door jong, basenrijk, lokaal grondwater. Het is niet bekend of er sprake is van grondwater uit (sub)regionale systemen (Hunneman & Jalink, 2007).

2.6.4.2 Grondwatertrappen

In het onderzoeksgebied zijn vooral de grondwatertrappen V en Vb aanwezig (Figuur 69). In het centrale gedeelte van de Geelders komt grondwatertrap III voor. Alle onderzoekslocaties van dit project liggen in grondwatertrap V.

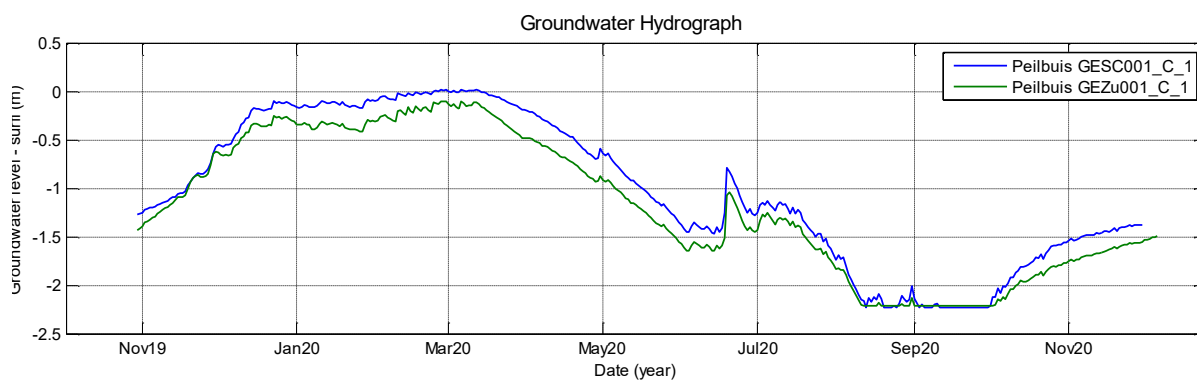


Figuur 69 Grondwatertrappenkaart Geelders, Stibokakaart 1984 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

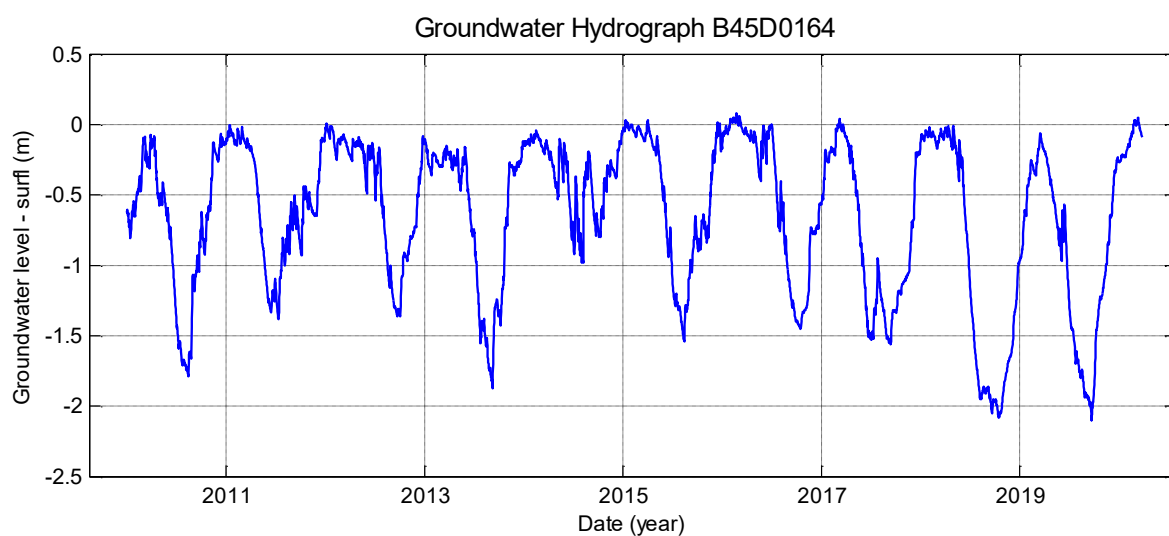
2.6.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

Bij de OBN onderzoekslocaties zijn twee peilbuizen geplaatst (Figuur 76). Beide peilbuizen geven een grondwatertrap van V. Peilbuis GESC001_G_1 ligt op 7,68 m t.o.v. NAP en heeft een GLG 2,19, GHG 0,04, GVG 0,22 m -mv. Peilbuis GEZu001_G_1 ligt op 7,59 m t.o.v. NAP en heeft een GLG 2,21, GHG 0,21, GVG 0,45 m -mv (Figuur 70). Echter vallen beide peilbuizen droog en zijn ze door de bovenste leemlaag heen gezet (Figuur 75).

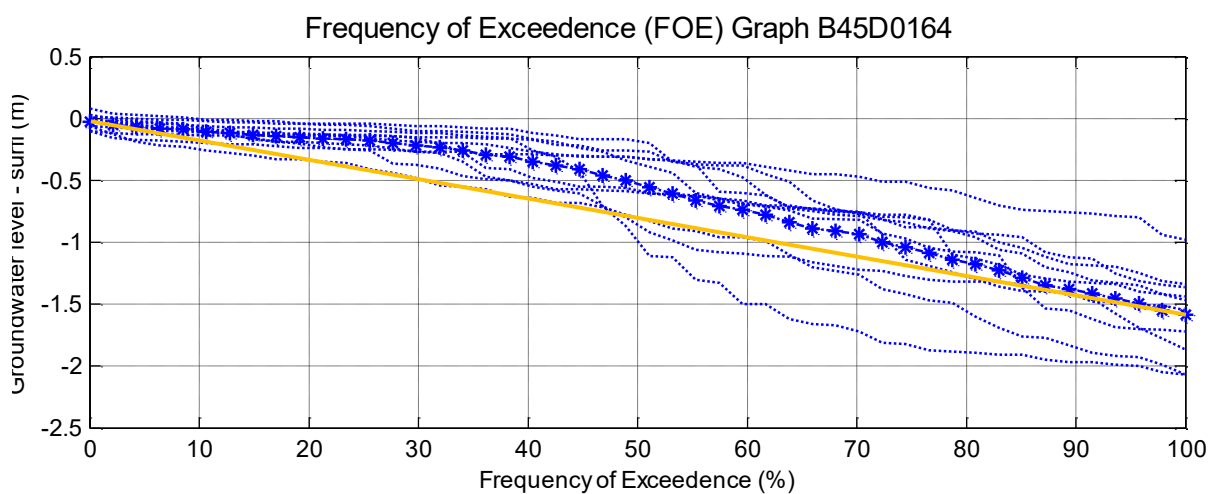
In het gebied ligt ook peilbuis B45D0164 op 7,37 m t.o.v. NAP en deze geeft een grondwatertrap van V, een GLG 1,47, GHG 0,08 en GVG 0,15 m -mv. Deze peilbuis heeft een langere meetreeks, waardoor een betrouwbare duurlijn vervaardigd kan worden (Figuur 72). Deze heeft een bolle vorm, wat betekent dat de netto aanvoer van grondwater groter is dan de netto afvoer en wat hier waarschijnlijk duidt op stagnatie van lokaal grondwater op de slechtdoorlatende laag.



Figuur 70 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuis GESC001_G_1 en peilbuis GEZu001_G_1.



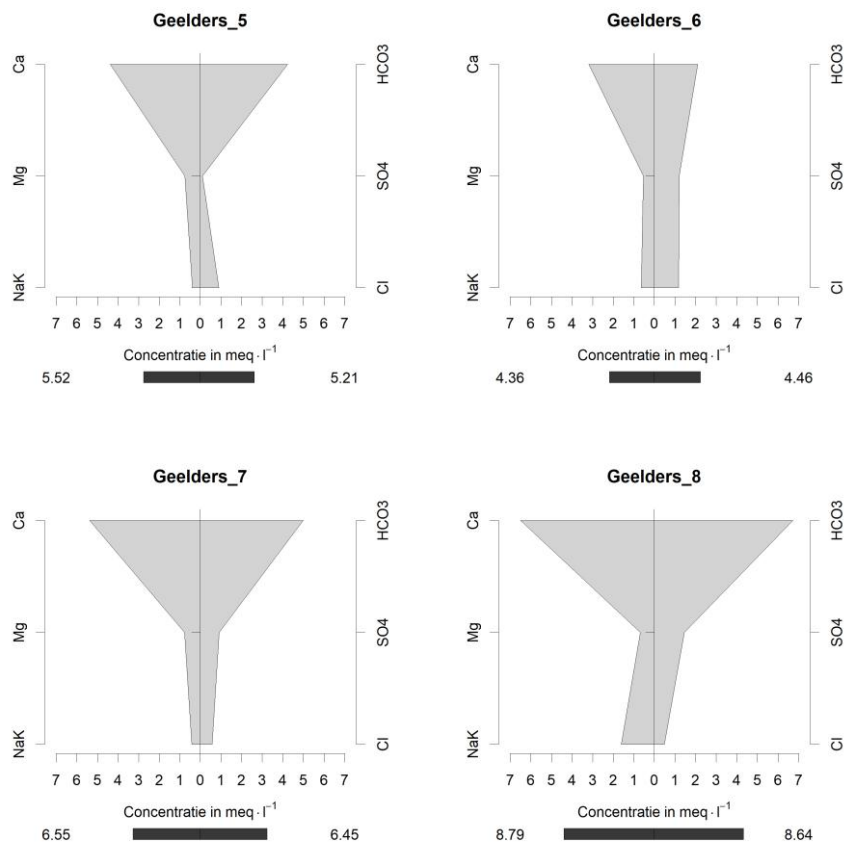
Figuur 71 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B45D0164.



Figuur 72 Duurlijn van peilbuis B45D0164 (2011-2019) met gele hulplijn.

2.6.4.4 Waterkwaliteit

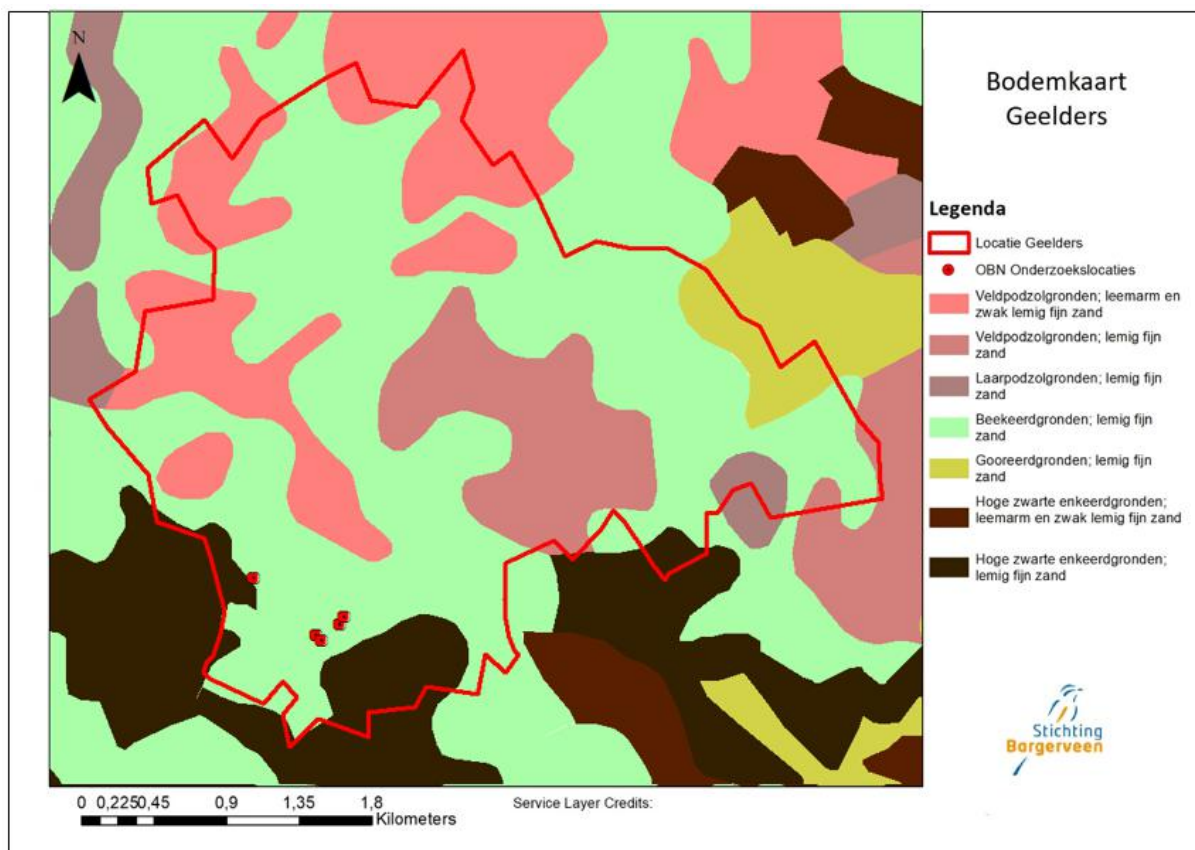
Op vier locaties zijn grondwatermonsters genomen en de Stiffdiagrammen wijzen op basenrijk grondwater (Figuur 73).



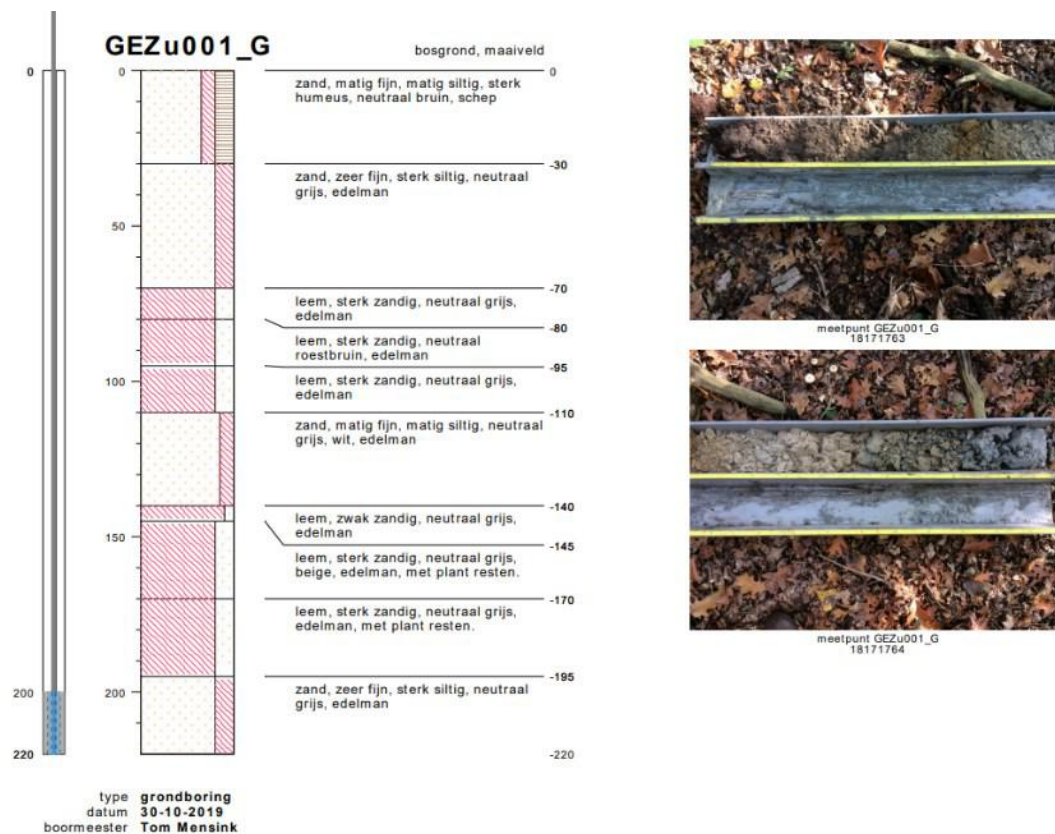
Figuur 73 Stiffdiagrammen van grondwatermonsters in de Geelders.

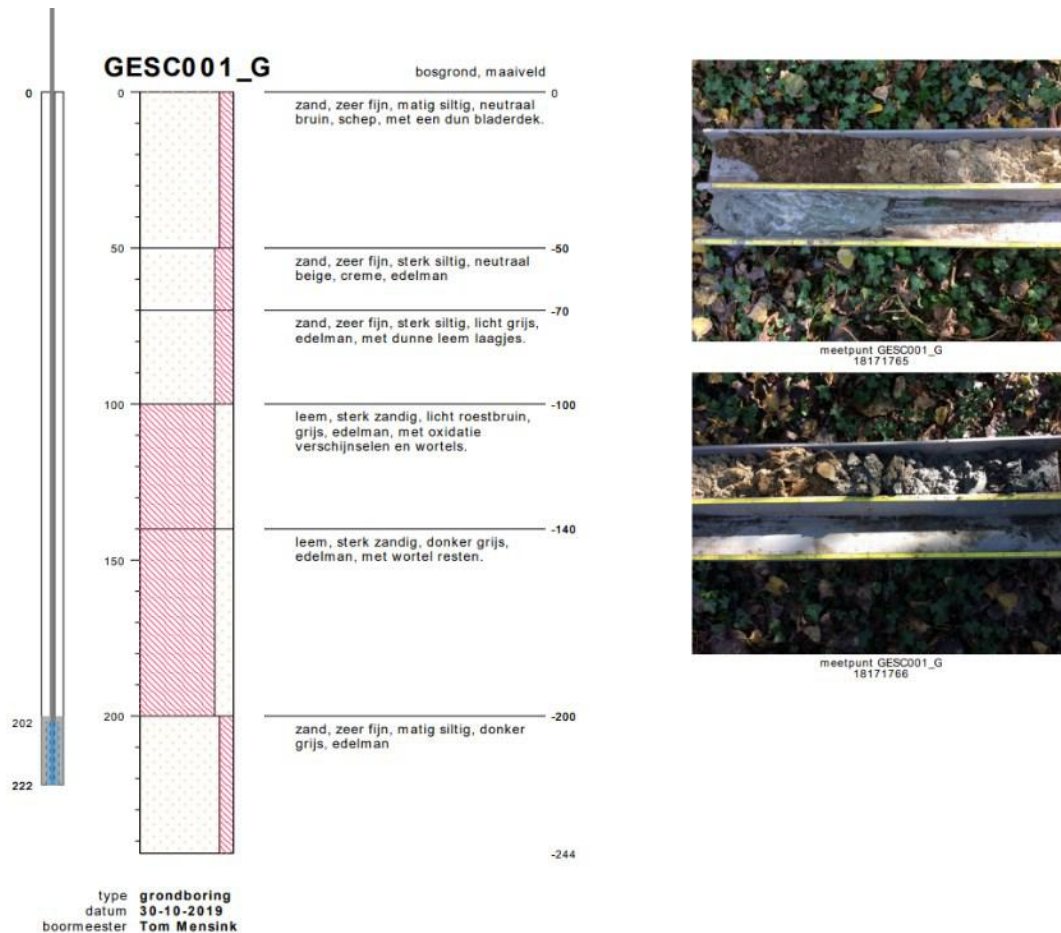
2.6.5 Bodem

Volgens de 1:50.000 bodemkaart bestaat de Geelders uit een complex van eerdgronden en podzolgronden (Figuur 74). Het grootste gedeelte van het gebied bestaat uit beekkeerdgronden met lemig, fijn zand. In een groot gedeelte van het gebied begint de Brabantse leem binnen 1,20 m-mv en op veel plaatsen is deze leem kalkrijk (Hunneman & Jalink, 2007). Op de boorlocaties van de OBN onderzoekslocaties is binnen een meter diepte zandig leem aangetroffen (Figuur 75).



Figuur 74 1:50.000 bodemkaart van de Geelders (Basisregister Ondergrond, 2021).

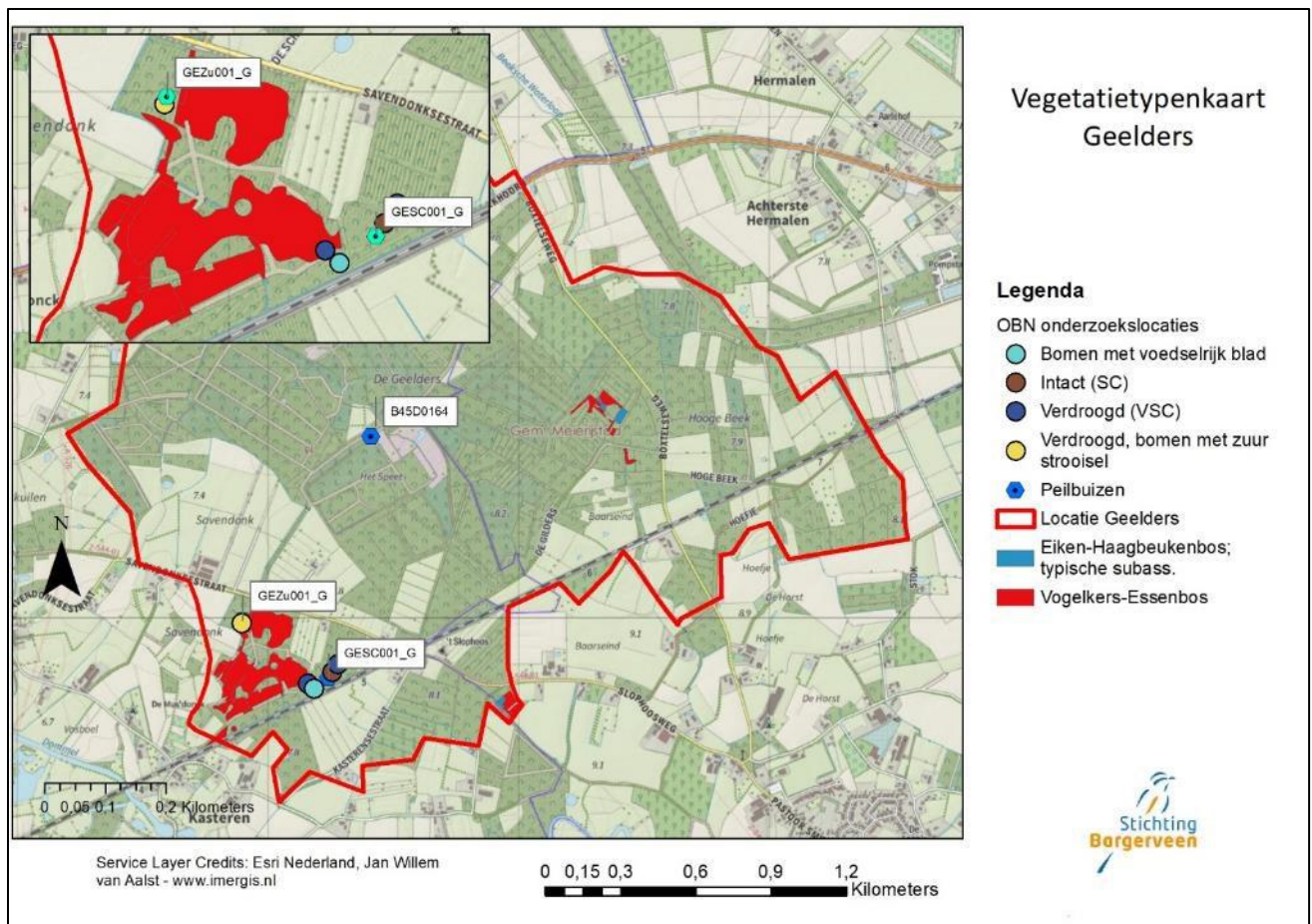




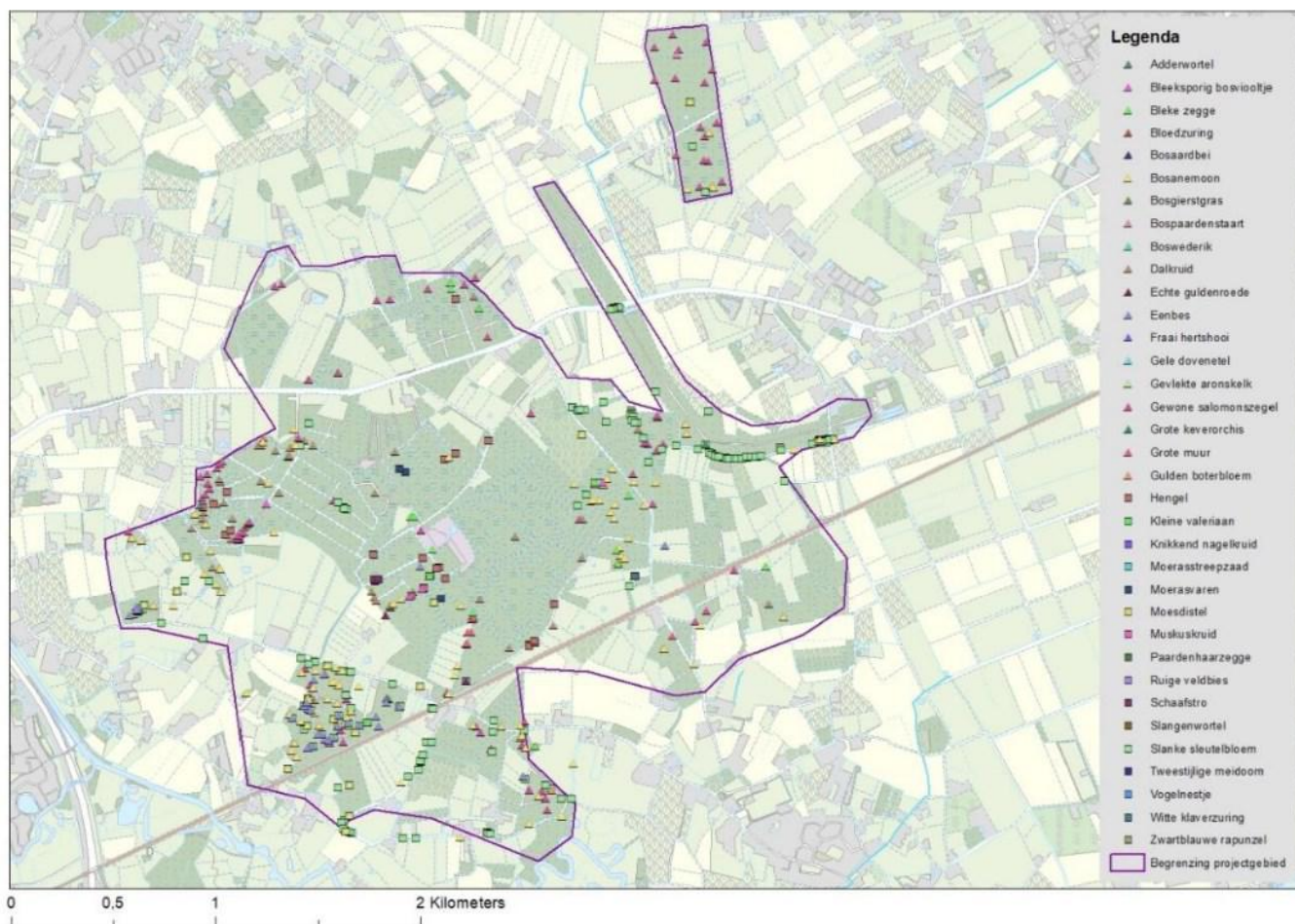
Figuur 75 Boorbeschrijving OBN onderzoekslocatie (bij plaatsing peilbuis).

2.6.6 Vegetatie en flora

In het bosreservaat is een goed ontwikkeld Vogelkers-Essenbos aanwezig met kenmerkende soorten zoals Eenbes (*Paris quadrifolia*), Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*), Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Kleine valerian (*Valeriana dioica*) en Moesdistel (*Cirsium oleraceum*) (Figuur 76). In de rest van de Geelders zijn ook soorten van vochtige bossen aanwezig (Figuur 77), maar deze delen zijn, op een paar kleine locaties na, niet gekarteerd als een specifiek bostype.



Figuur 76 Vegetatietypenkaart Geelders.

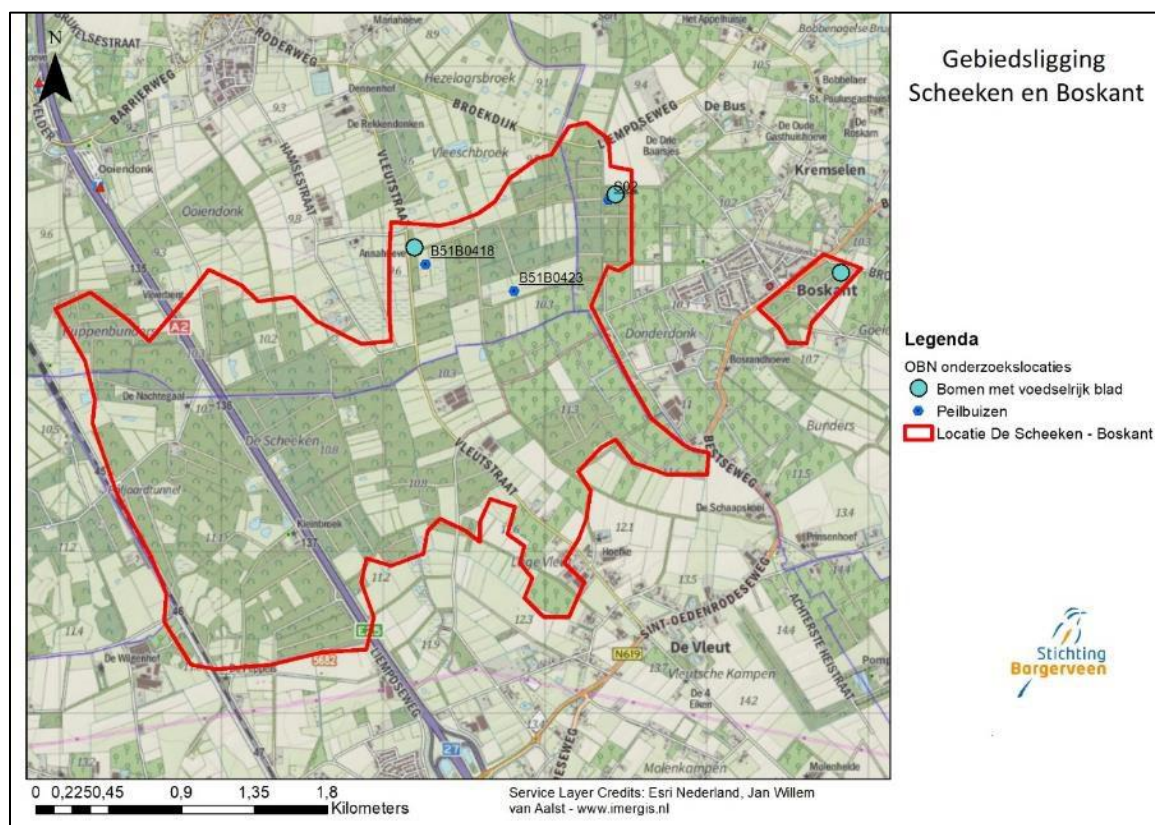


Figuur 77 Typische bossoorten in de Geelders (van der Burg et al, 2018).

2.7 De Scheeken en Boskant

2.7.1 Algemeen

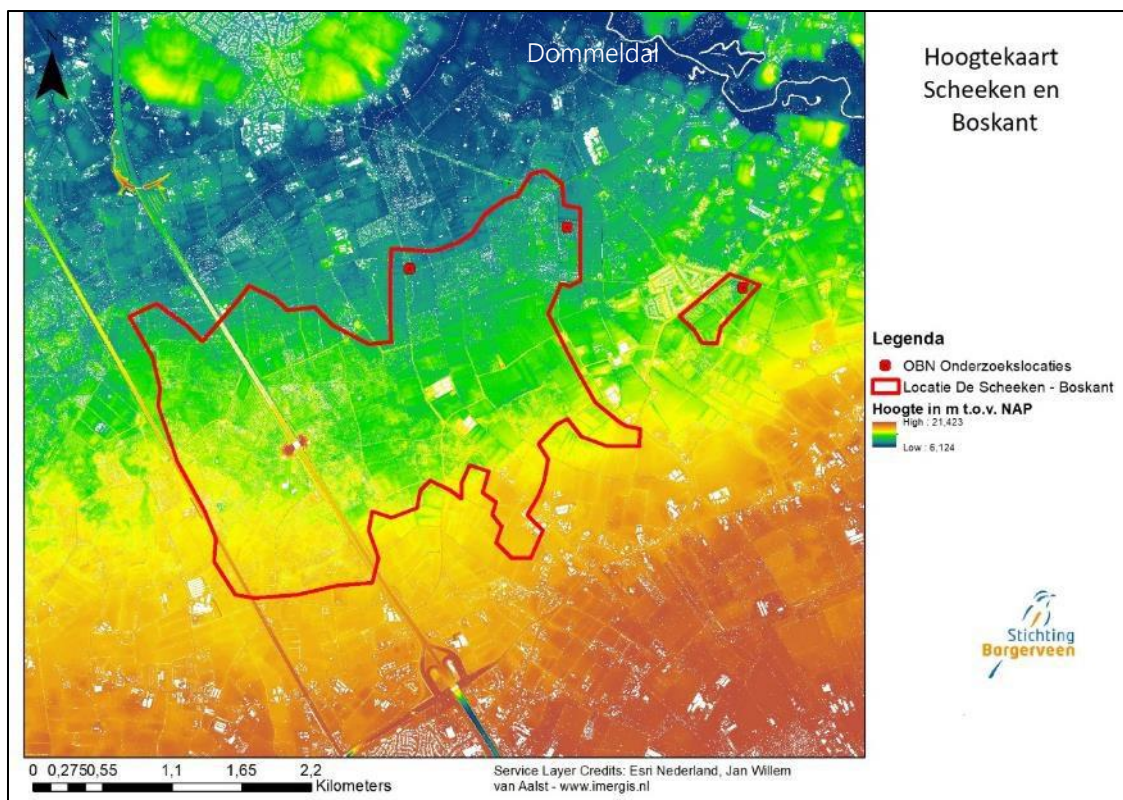
De Scheeken is een Natte Natuurparel en daarnaast onderdeel van Nationaal Landschap Het Groene Woud. Het gebied bevindt zich tussen Liempde en Sint-Oedenrode en wordt beheerd door het Brabants Landschap. Het gebied is circa 670 hectare en bestaat uit een mozaïek van bosjes, singels en graslanden. De Boskant hoort bij het natuurgebied de Scheeken, maar ligt er enige afstand vandaan en is circa 15 hectare groot (Figuur 78). In deze gebieden liggen drie OBN onderzoekslocaties met “bomen met voedselrijk blad”.



Figuur 78 Gebiedsligging De Scheeken (links) en Boskant (rechts) met OBN onderzoekslocaties en peilbuislocaties.

2.7.2 Reliëf

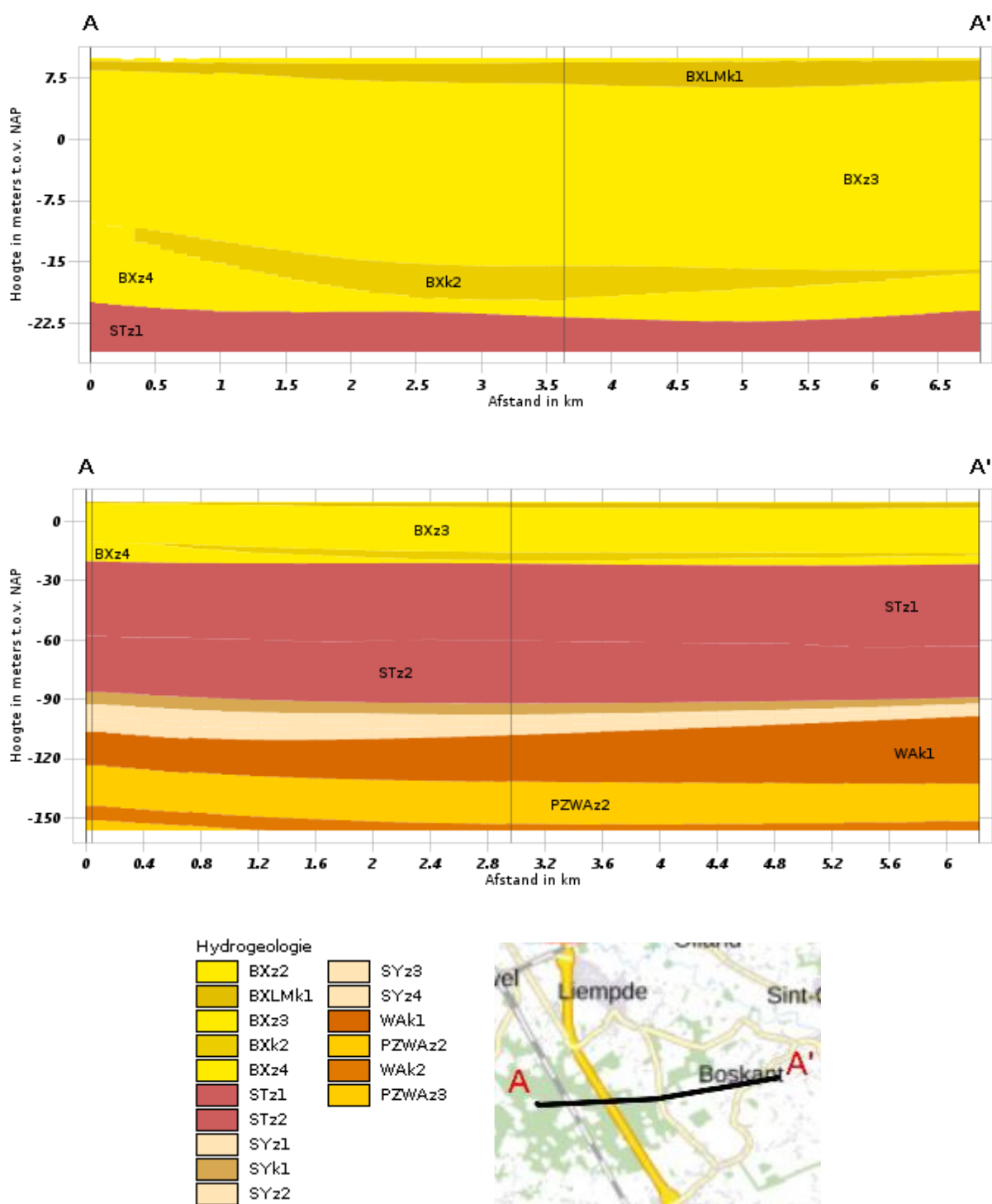
Het maaiveldniveau van de Scheeken loopt af vanaf het zuiden naar het noordoosten, in de richting van het Dommeldal. Het maaiveld ligt in het zuidwesten op circa 11 m +NAP en in het noordoosten op 8 m +NAP (Figuur 79).



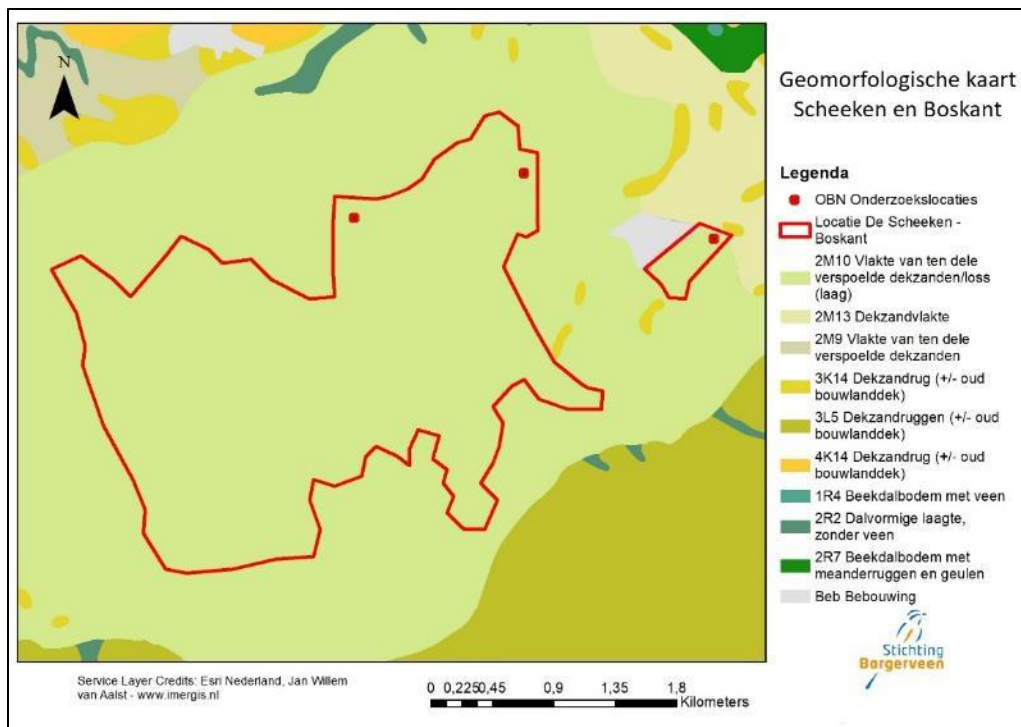
Figuur 79 Hoogtekaart van de Scheeken en de Boskant (AHN3, 2021).

2.7.3 Geologie en geomorfologie

De Scheeken en de Boskant bevinden zich in de Roerdalslenk. Dicht aan het oppervlak bevindt zich een dikke leemlaag van het Brabantse leem (Laagpakket van Liempde, BXLmk1), wat de scheiding is van een dun freatisch watervoerend pakket die bestaat uit dekzand (BXz2). Hieronder bevindt zich het eerste watervoerend pakket, die bestaat uit dekzand (Formatie van Bortel, BXz3). Op circa 20 m -NAP bevindt zich nog een kleiige laag (Laagpakket van Best, Formatie van Bortel, BXk2). Onder de Formatie van Bortel ligt een dikke laag van grove zanden van de Formatie van Sterkel en hieronder ligt de een scheidende laag op circa 90 m -NAP (Formatie van Stamproy, SYk1). Daaronder bevindt zich het volgende, dunne watervoerend pakket, bestaande uit zanden van de Formatie van Stamproy (SYz). Hieronder ligt een dikke kleilaag van de Formatie van Waalre (Wk1) (Figuur 67) (REGIS II, Dinoloket, 2021). Volgens de geomorfologisch kaart bestaan de Scheeken en Boskant uit de eenheid "Vlakte van ten dele verspoelde dekzanden/löss" (Figuur 81) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 80 Hydrogeologische doorsnede van de Scheeken en de Boskant met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 81 Geomorfologische kaart Scheeken en Boskant (Basisregister Ondergrond, 2021).

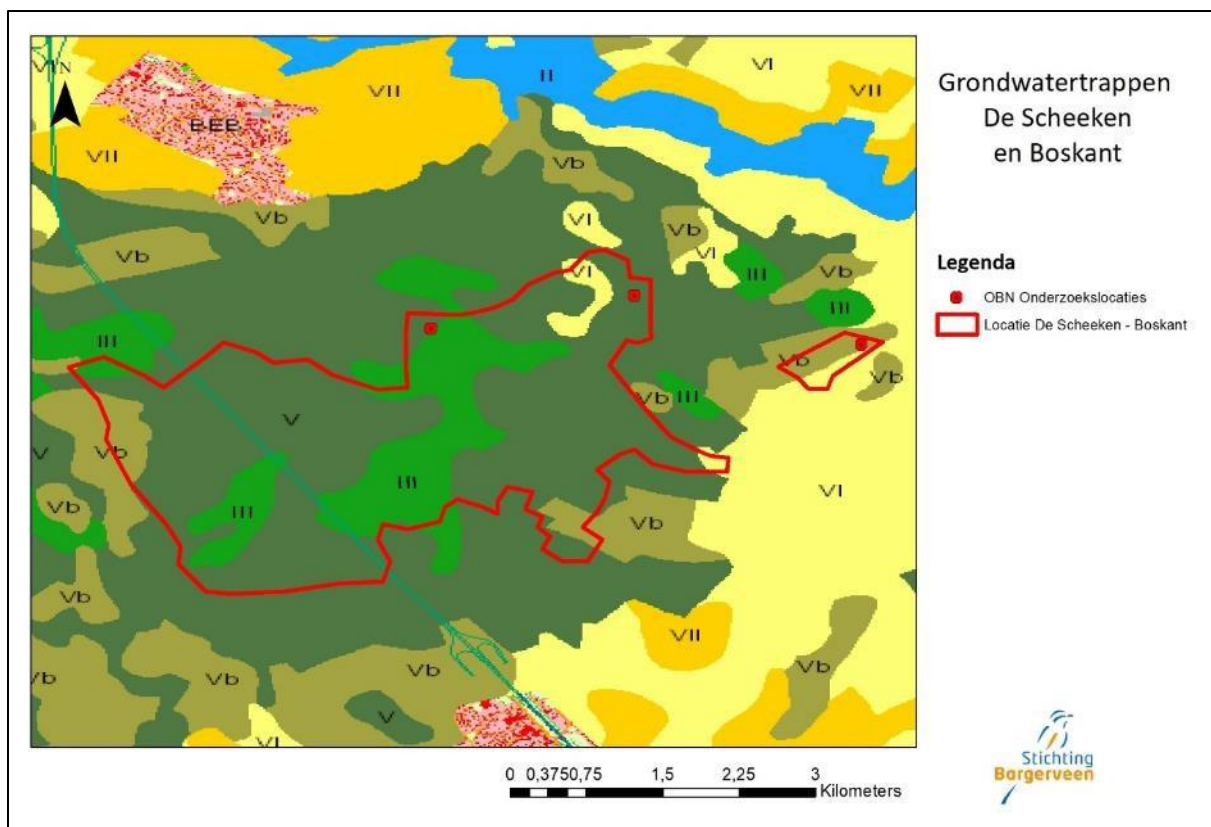
2.7.4 Hydrologie

2.7.4.1 Hydrologisch systeem

Het hydrologisch systeem is lokaal van aard, dieper grondwater heeft een beperkte rol in het gebied (De Hoog et al., 2006). Grondwater van lokale kwel en oppervlaktewater stromen in noordelijke richting en bepalen samen de condities in de toplaag van de bodem (van der Burg et al, 2018). Echter wordt het gebied sterk ontwaterd door verschillende waterlopen, sloten en rabatten. De Boskant ligt op enige afstand van de Scheeken en dit gedeelte is minder sterk ontwaterd.

2.7.4.2 Grondwatertrappen

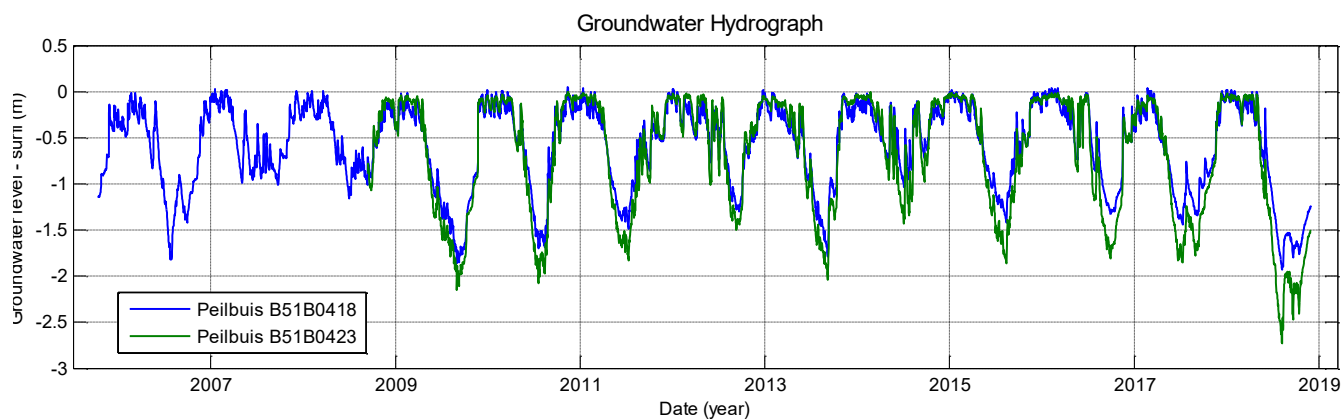
Binnen de Scheeken en de Boskant komen verschillende grondwatertrappen voor. Het grootste gedeelte van het gebied bestaat uit grondwatertap V, een aanzienlijk deel omvat grondwatertrap III en op een paar plaatsen komt grondwatertrap Vb voor (Figuur 82).



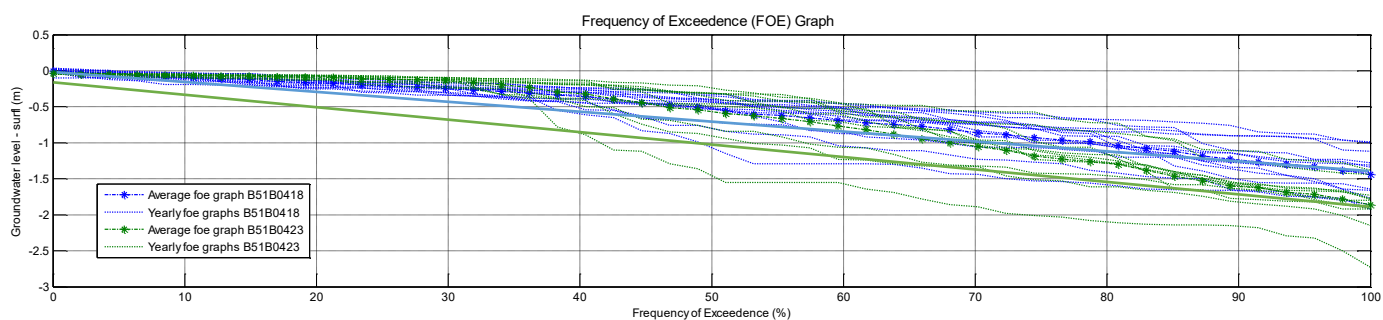
Figuur 82 Grondwatertrappenkaart De Scheeken en de Boskant, Stibokakaart 1966 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.7.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

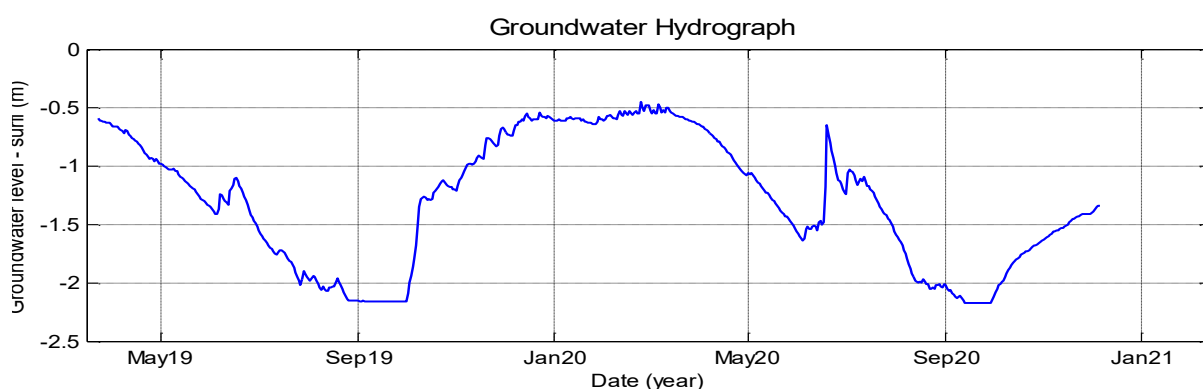
In het onderzoeksgebied liggen peilbuizen B51B0418 op 9,67 m t.o.v. NAP en B51B0423 op 9,99 m t.o.v. NAP (Dinoloket, 2021) en geven beiden een grondwatertrap van V. Peilbuis B51B0418 heeft GLG 1,31, GHG 0,07 en GVG 0,28 m -mv en peilbuis B51B0423 heeft een GLG van 1,68, GHG 0,06 en GVG 0,20 m -mv. De duurlijnen van beide peilbuizen hebben een bolle vorm (Figuur 84), wat betekent dat de netto aanvoer van grondwater groter is dan de afvoer en duiden in dit gebied op stagnatie van lokaal grondwater op de slechtdoorlatende laag. Peilbuis S02_1, ligt op 10,10 m t.o.v. en geplaatst door Bosgroep Zuid, ligt vlakbij een OBN onderzoekslocatie "Bomen met voedselrijk blad" en geeft een GLG van 2,10, GHG van 0,56 en GVG van 0,68 m -mv. Deze peilbuis valt droog.



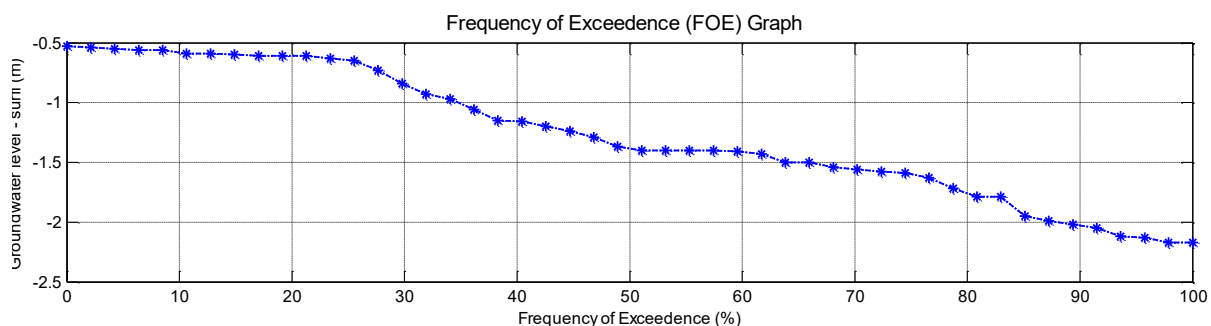
Figuur 83 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuizen B51B0418 en B51B0423.



Figuur 84 Duurlijnen van peilbuizen B51B0418 (2007-2019, met blauwe hulplijn) en B51B0423 (2009-2019, met groene hulplijn).



Figuur 85 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis S02_1.



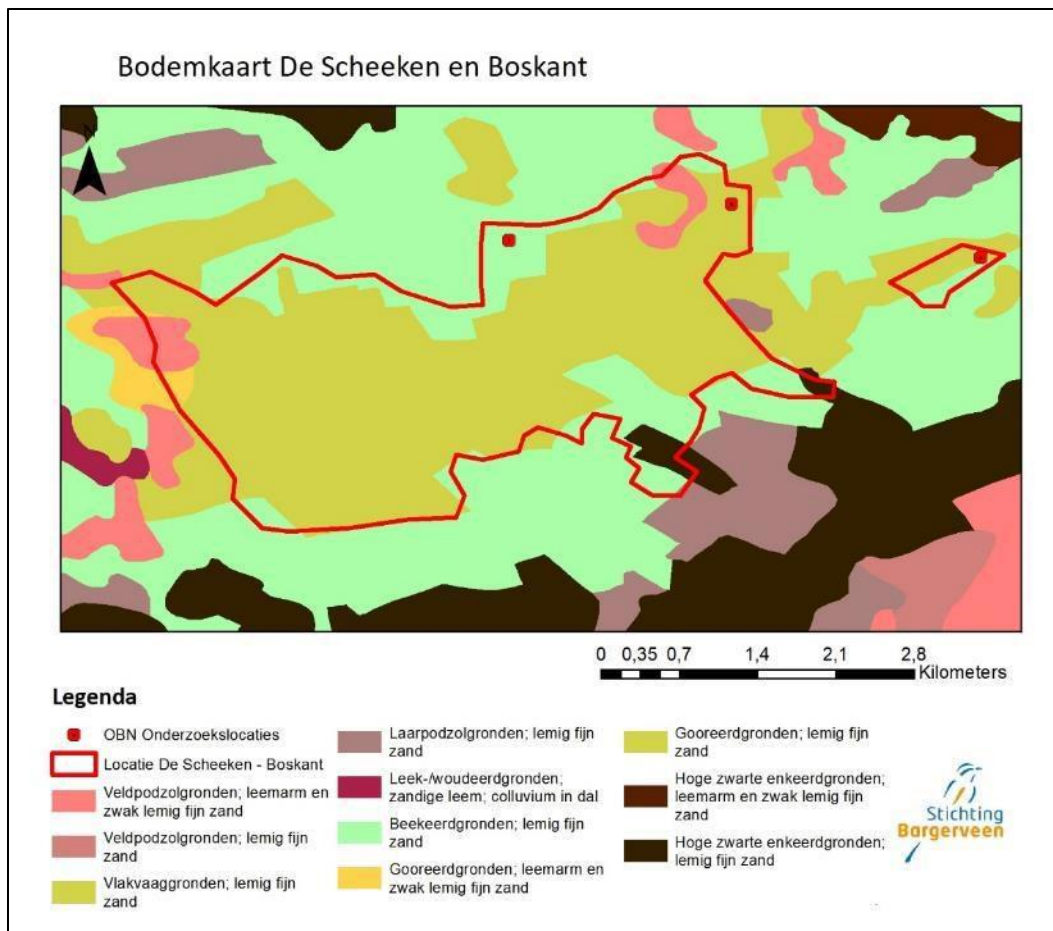
Figuur 86 Duurlijn van peilbuis S02_1 (mei 2019-mei 2020).

2.7.4.4 Waterkwaliteit

Er zijn in dit gebied geen waterkwaliteitsmonsters genomen.

2.7.5 Bodem

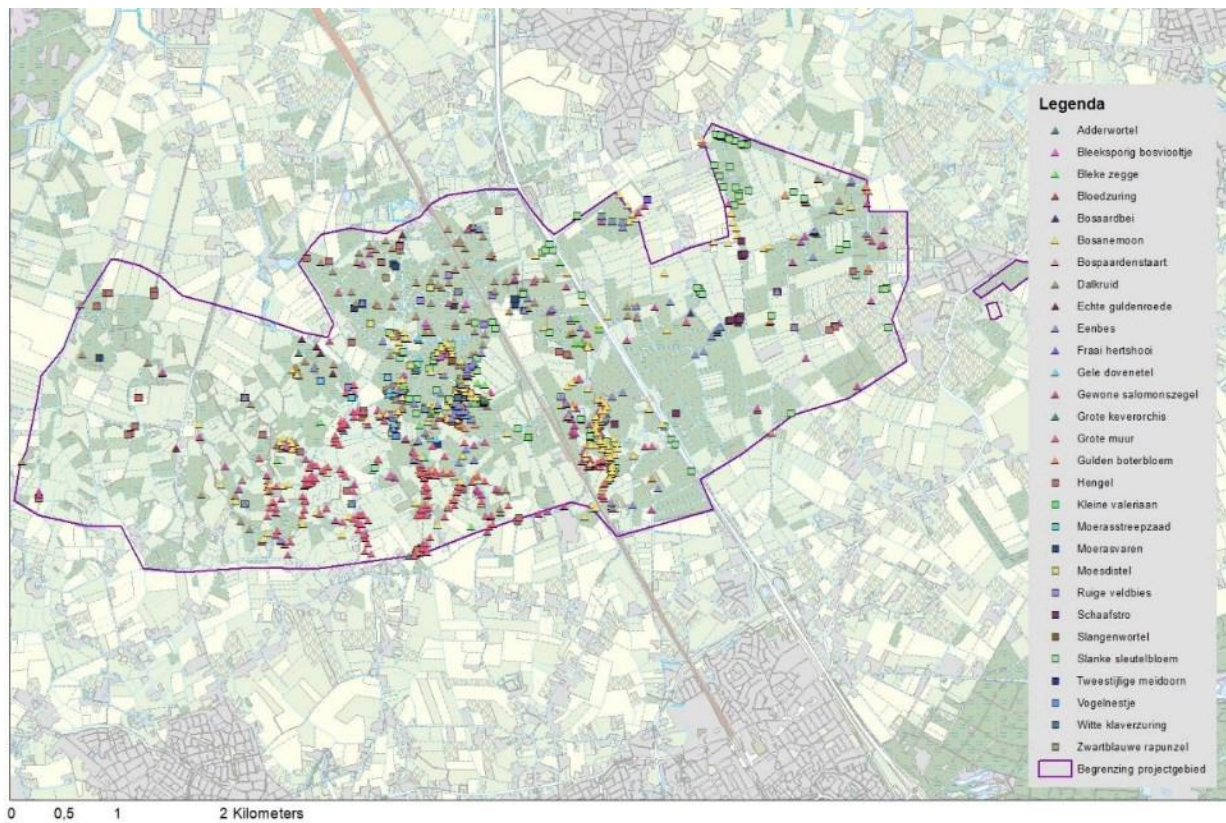
De bodem van de Scheeken bestaat voornamelijk uit vlakvaaggronden en beekeerdgronden en lemig, fijn zand (Figuur 87). De leemlaag ligt op circa 0,50 tot 0,75 m onder maaiveld en is op de meeste plaatsen ruim een meter dik. De vlakvaaggronden in het gebied waren voorheen beekeerdgronden, maar deze zijn vergraven om rabatten aan te leggen (De Hoog et al., 2006). Bij peilbuis S02 is leem aangetroffen op 1,25 m - mv.



Figuur 87 1:50.000 bodemkaart van De Scheeken en Boskant (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.7.6 Vegetatie en flora

Het bos in het gebied De Scheeken bestaat grotendeels uit populierenopstand op rabatten, lokaal komt er goed ontwikkeld Eiken-Haagbeukenbos voor. Hier zijn soorten als Fladderiep (*Ulmus laevis*), Tweestijlige meidoorn (*Crataegus laevigata*), Muskuskruid (*Adoxa Moschatellina*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Gulden boterbloem (*Ranunculus auricomus*) te vinden (Figuur 88) (van der Burg et al, 2018).

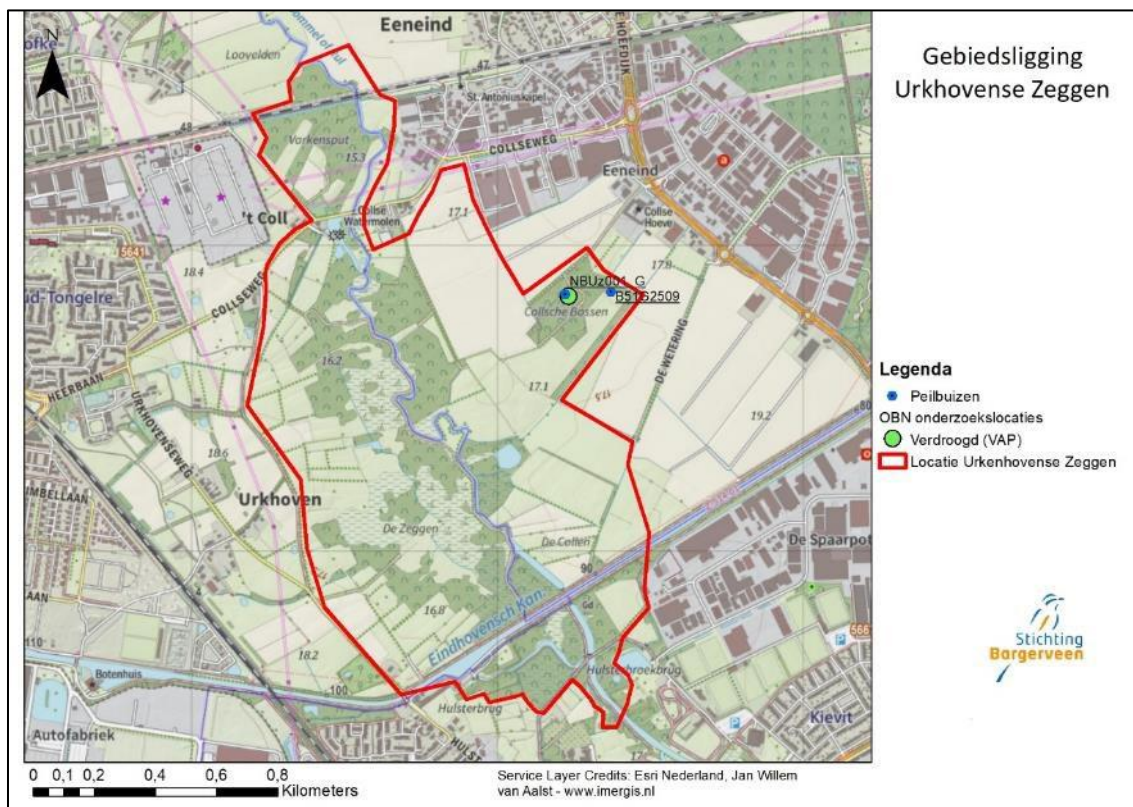


Figuur 88 Verspreiding van bijzondere bosflora in De Scheeken en het aangrenzende gebied De Mortelen (van der Burg et al, 2018).

2.8 Urkhovense zeggen

2.8.1 Algemeen

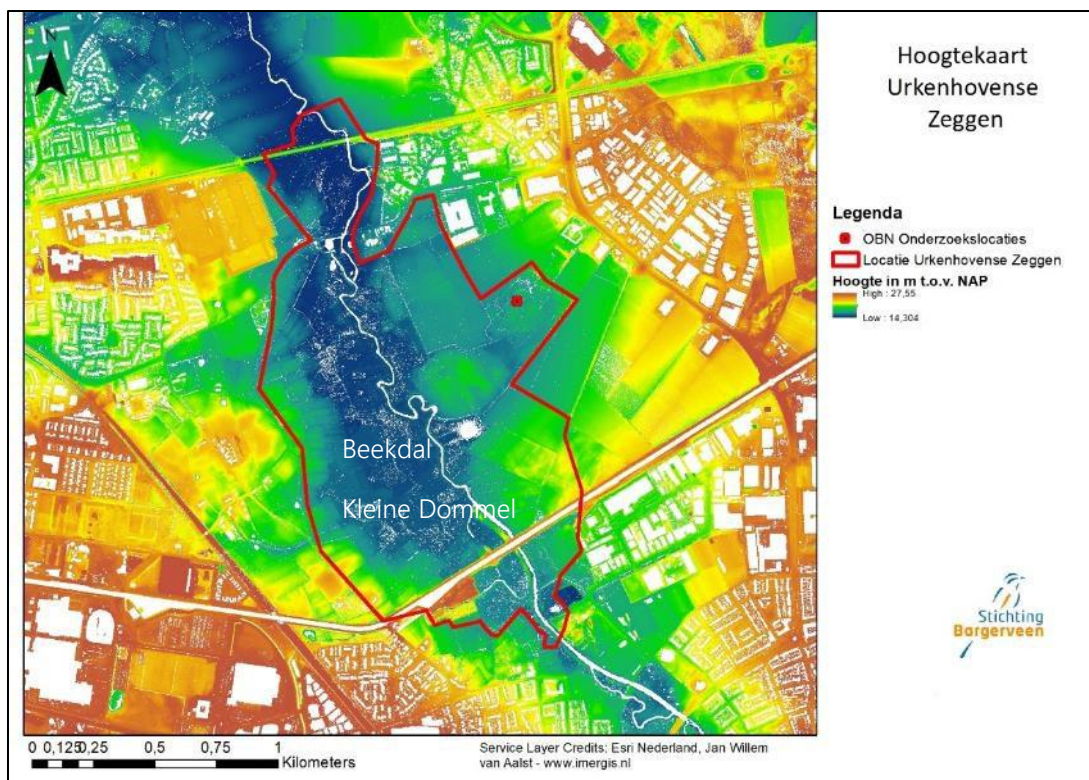
De Urkhovense zeggen is een nat natuurgebied in het dal van de Kleine Dommel, ten oosten van Eindhoven. Het onderzoeksgebied omvat ook de beekdalflank met de Collse Bossen en is in totaal 180 hectare (Figuur 89). Het gebied is eigendom van de gemeente Eindhoven, onderdeel van het Natuurnetwerk Nederland en aangewezen als Natte Natuurparel. In de Collse bossen ligt een onderzoekslocatie met "verdroogd *Alno-Padion*".



Figuur 89 Gebiedsligging Urkhovense Zeggen en Collse bos met OBN onderzoekslocatie, waar ook een grondwatermonster genomen is (monster nummer 3 uit peilbuis NBUz001_G).

2.8.2 Reliëf

De Urkhovense Zeggen ligt in het beekdal van de Kleine Dommel en het Collse bos ligt op de beekdalflank. Binnen het gebied loopt het maaiveld af met de stromingsrichting van de beek, in noordelijke richting, van circa 19 m +NAP tot 14 m +NAP (Figuur 90).

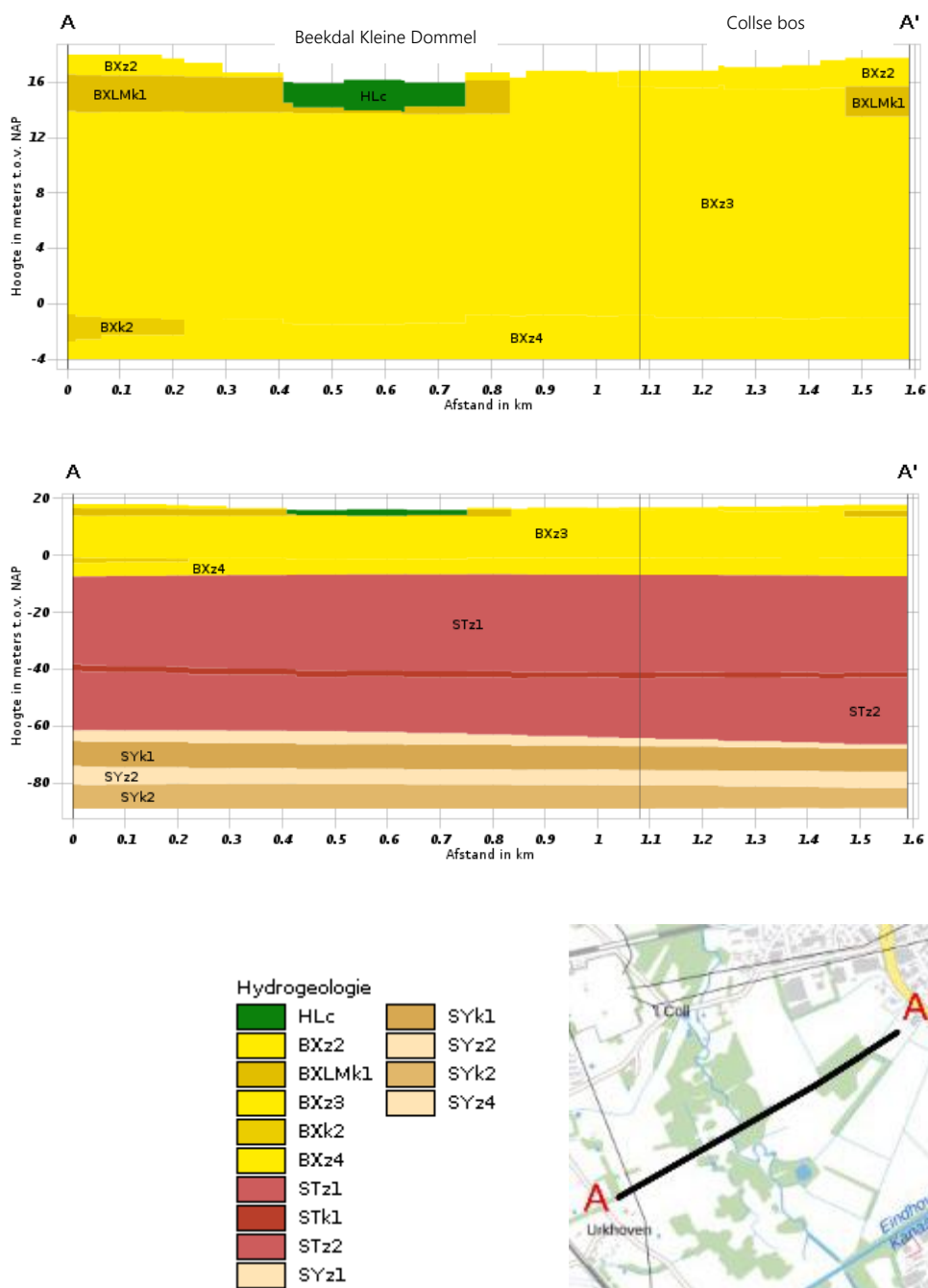


Figuur 90 Hoogtekaart Urkhovense Zeggen en Collse bos (AHN3, 2021).

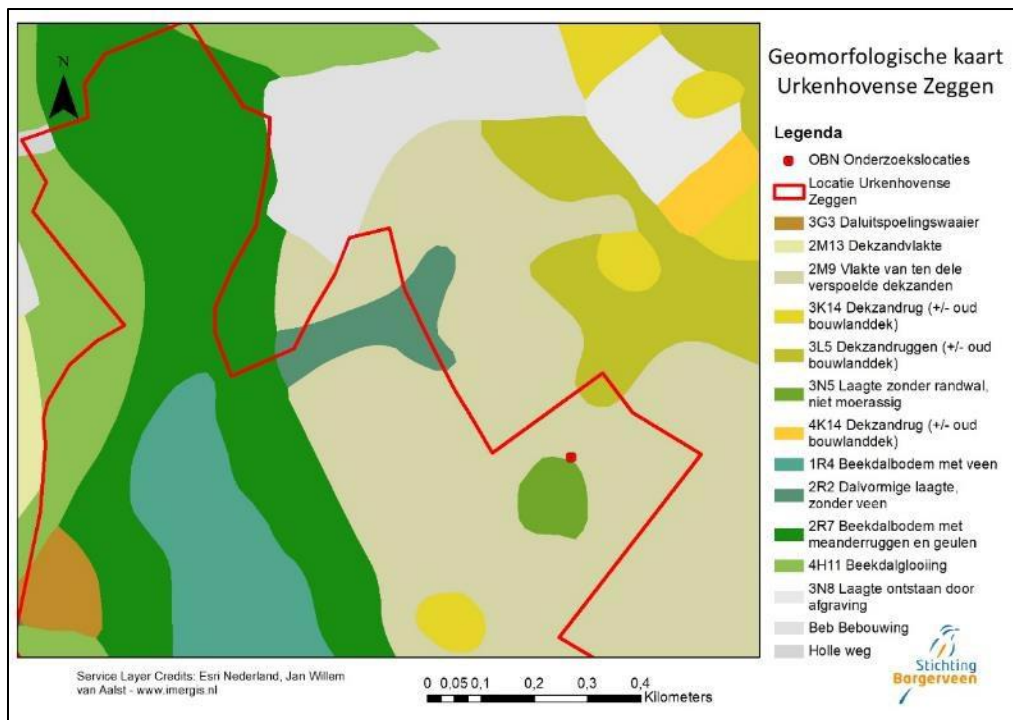
2.8.3 Geologie en geomorfologie

Aan de oppervlakte van de Urkhovense Zeggen zijn dikke pakketten dekzand afgezet van circa 20 m (Formatie van Boxtel, BXz), die het freatisch watervoerend pakket vormen. Hierin is een ondiepe leemlaag aanwezig, de Brabantse leem (Laagpakket van Liempe, BXLmk1). Deze laag is onderbroken aanwezig in het onderzoeksgebied. Er zijn kalkrijke afzettingen aangetroffen op zeer geringe in het onderzoeksgebied. Het ondiep voorkomen van kalk komt grofweg overeen met de verspreiding van de Brabantse Leem (Versluijs et al., 2018). Het eerste watervoerend pakket bestaat uit grofzandige rivierafzettingen van de Formatie van Sterkel (STz1). Op circa 70 m -NAP bevindt zich een slecht doorlatende laag van Formatie van Stamproy (SYk1). Hieronder ligt het tweede watervoerend pakket, wat bestaat uit de zandige en sterk leemhoudende afzettingen (Formatie van Stamproy, SYz). De kleilagen in de Formaties van Waalre en Peize, op circa 100 m -NAP, vormen de basis voor het Dommeldalsysteem (niet weergegeven op de doorsnede) (REGIS II, Dinoloket, 2021).

Geomorfologisch bestaat de Urkhovense Zeggen uit een beekdal en een beedalf flank. Deze wordt omgeven door hogere dekzandruggen, dekzandwelvingen, landduinen en lagere dekzandvlakten. De Collse bossen liggen in een laagte zonder randwal in een vlakte van verspoelde dekzanden (Basisregister Ondergrond, 2021) (Figuur 92).



Figuur 91 Hydrogeologische doorsnede van de Urkhovense Zeggen en Collse bos met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 92 Geomorfologische kaart Urkhovense Zeggen en Collse bos (Basisregister Ondergrond, 2021).

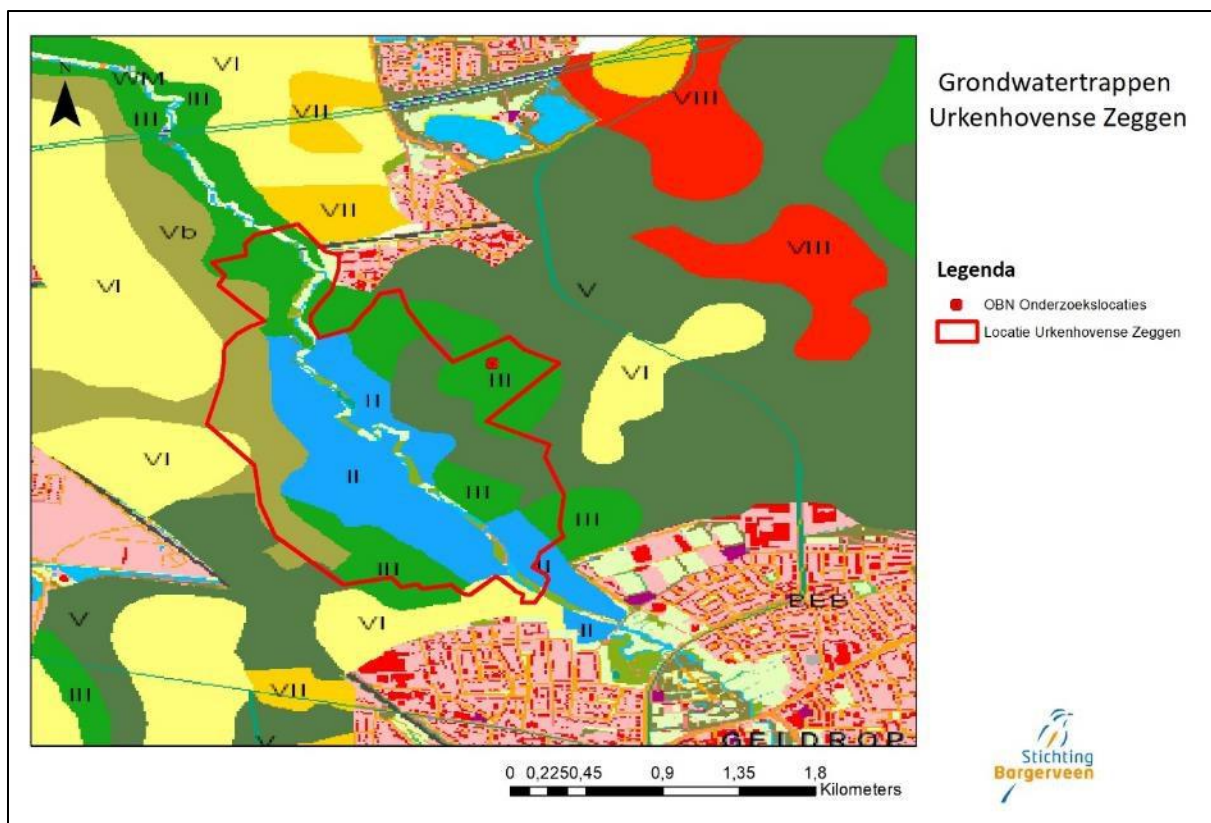
2.8.4 Hydrologie

2.8.4.1 Hydrologisch systeem

Het hydrologisch systeem van de Urkhovense Zeggen wordt in sterke mate bepaald door de Kleine Dommel. In dit beekdal is sprake van een hoge stijghoogte en sterke kwelintensiteit vanuit het eerste watervoerend pakket (Versluijs et al., 2019). De Urkhovense Zeggen heeft haar natte karakter grotendeels te danken aan de Collse watermolen, die zorgt voor de opstuwing van de Kleine Dommel, waardoor er een groot venig gebied ontstaan is (van der Burg et al., 2009). De Collse bossen liggen op de flank van dit beekdal.

2.8.4.2 Grondwatertrappen

Het dal van de Dommel kent natte omstandigheden en wordt gekenmerkt grondwatertrap II en Gt III. Op de hogere delen rond het beekdal komen hogere grondwatertrappen voor (Gt V, Vb, VI, VII).

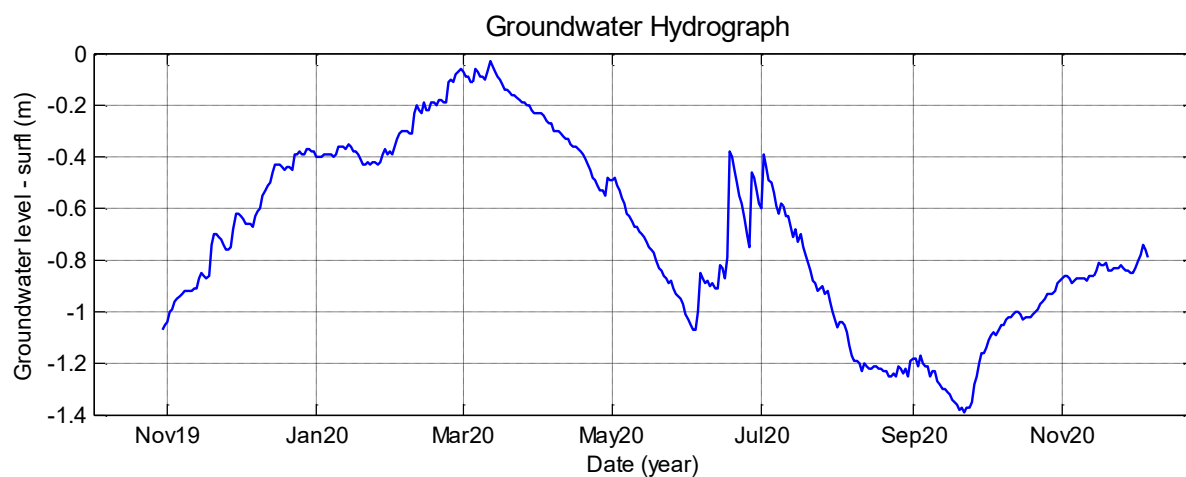


Figuur 93 Grondwatertrappenkaart Urkhovense Zeggen (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

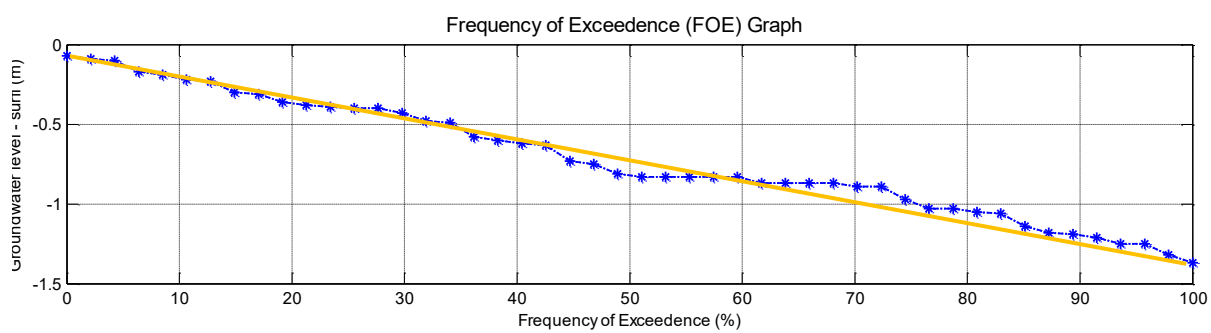
2.8.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

Bij de OBN onderzoekslocatie is peilbuis NBUz001_G geplaatst op 17,73 m t.o.v. NAP. Deze peilbuis geeft grondwatertrap V en heeft een GLG van 1,24, GHG van 0,16 en een GVG van 0,23 m -mv (Figuur 94). De duurlijn heeft een vlakke vorm en is licht S-vormig. Dit betekent dat gedurende het jaar de netto aanvoer ongeveer even groot is als de netto afvoer van grondwater.

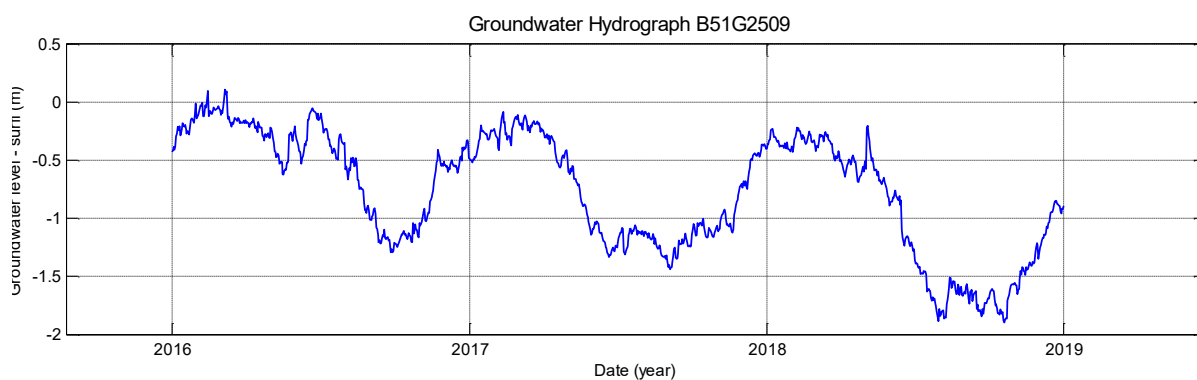
Er is een peilbuis beschikbaar op Dinoloket met een langere meetreeks dichtbij de onderzoekslocatie (Figuur 96). Deze peilbuis, B51G2509, heeft metingen van 2016-2019 en staat op 17,27 m t.o.v. NAP (Figuur 96), en heeft een grondwatertrap V, een GLG van 1,42, GHG 0,22, en een GV van 0,31 m -mv. De duurlijn heeft een vergelijkbare vorm als peilbuis NBUz001_G.



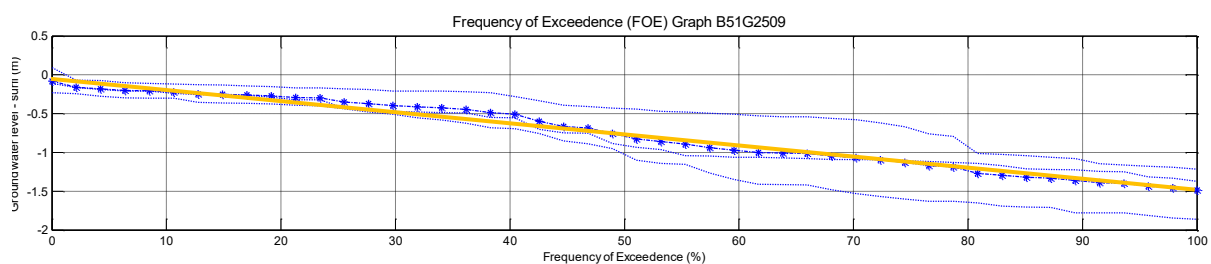
Figuur 94 Tijdstijghoogtelijn peilbuis NBUz001_G.



Figuur 95 Duurlijn van peilbuis NBUz001_G.



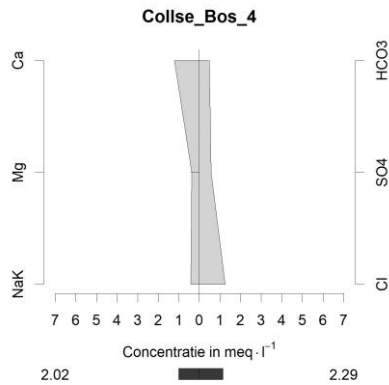
Figuur 96 Tijdstijghoogtelijn B51G2509.



Figuur 97 Duurlijnen van 2016-2019 en gemiddelde duurlijn van B51G2509, met oranje hulplijn.

2.8.4.4 Waterkwaliteit

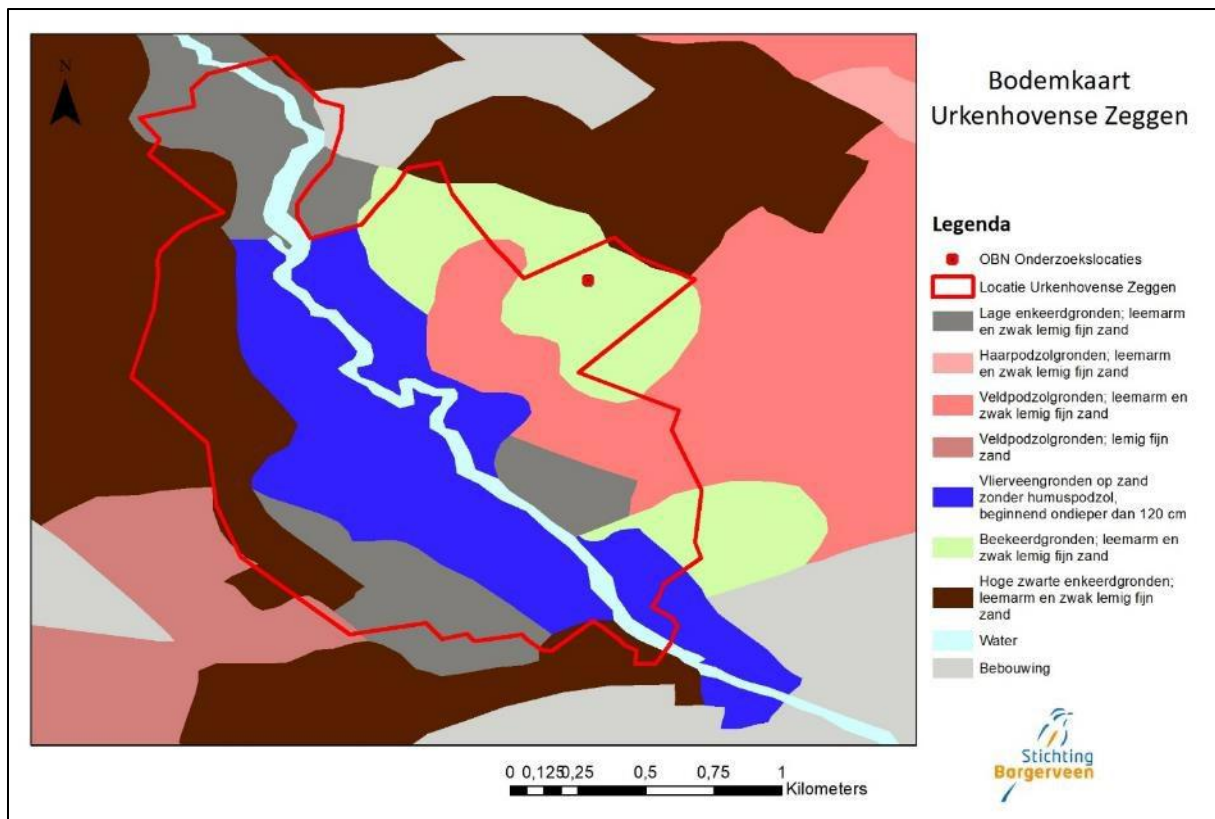
In het Collse bos is een grondwatermonster genomen, bij de OBN onderzoekslocatie uit peilbuis NBUz001_G. Het Stiffdiagram heeft een smal aanbeeld, wat duidt op ionenarm grondwater (Figuur 98).



Figuur 98 Stiffdiagram Collse Bossen.

2.8.5 Bodem

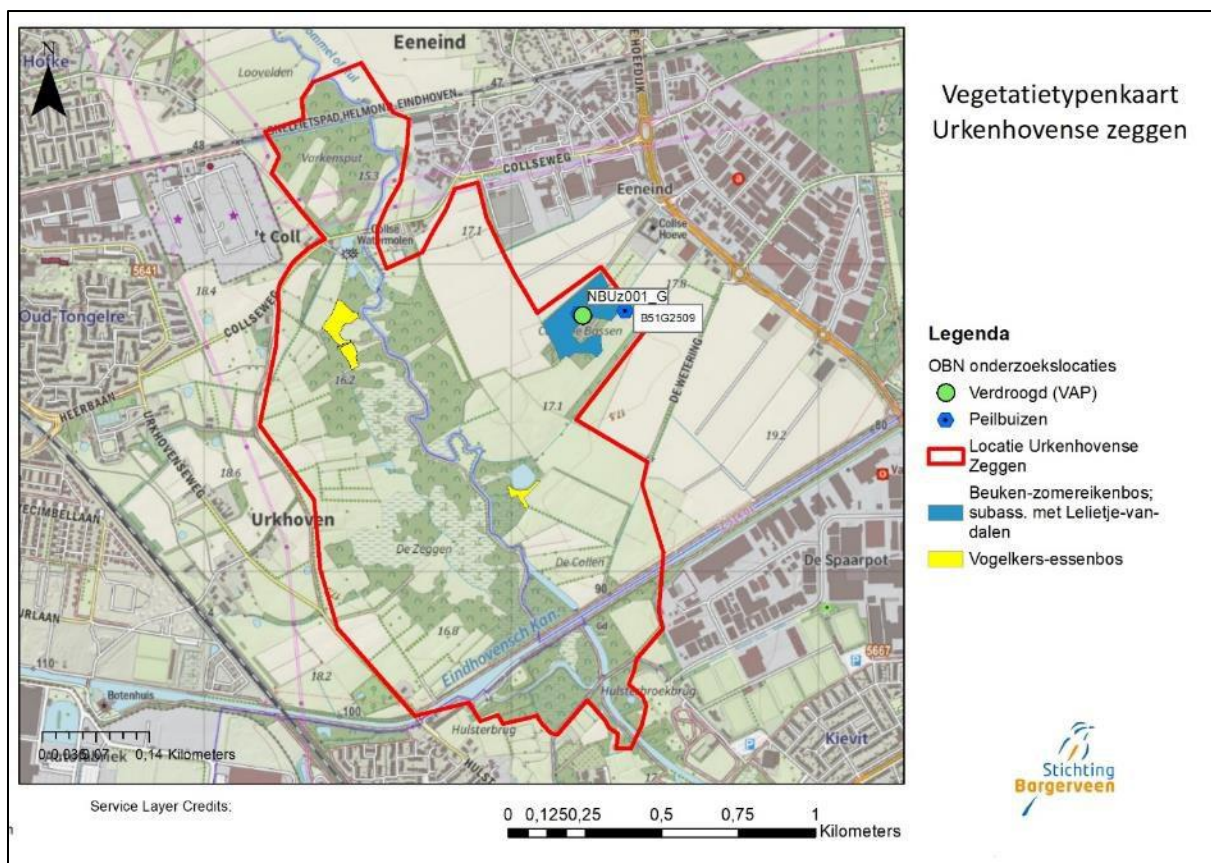
Volgens de 1:50.000 bodemkaart zijn er op de hogere delen veldpodzolgronden aanwezig (dekzandruggen), die bestaan uit lemig fijn zand. Er zijn hoge enkeerdgronden aanwezig, die richting de beek overgaan in lage enkeerdgronden, vlierveengronden en beekeerdgronden (Figuur 99). De ondergrond van het Collse bos bestaat uit beekeerdgrond.



Figuur 99 1:50.000 bodemkaart Urkhovense Zeggen (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.8.6 Vegetatie en flora

In de Urkhovense Zeggen zijn beekbegeleidende bossen aanwezig, waar onder Vogelkers-Essenbos (Figuur 100). De Collse bossen, waar de OBN onderzoekslocatie met "verdroogd *Alno-Padion* aanwezig" is, is gekarteerd als Beuken-Zomereikenbos. Dit bos is sterk verdroogd en er komen soorten als Witte klaverzuring, Dalkruid, IJle zegge en Gewone salomonszegel voor.

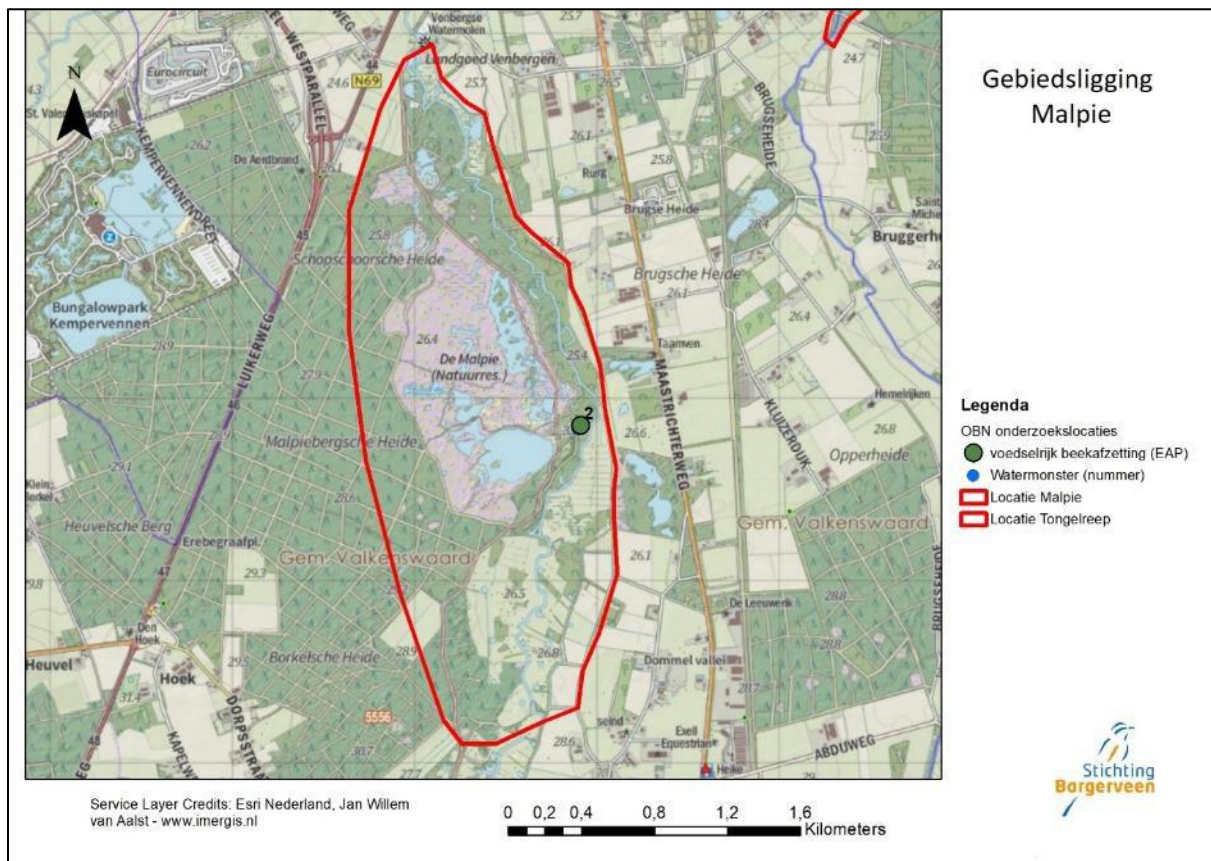


Figuur 100 Vegetatietypenkaart Urkhovense Zeggen (Bosgroep Zuid).

2.9 De Malpie

2.9.1 Algemeen

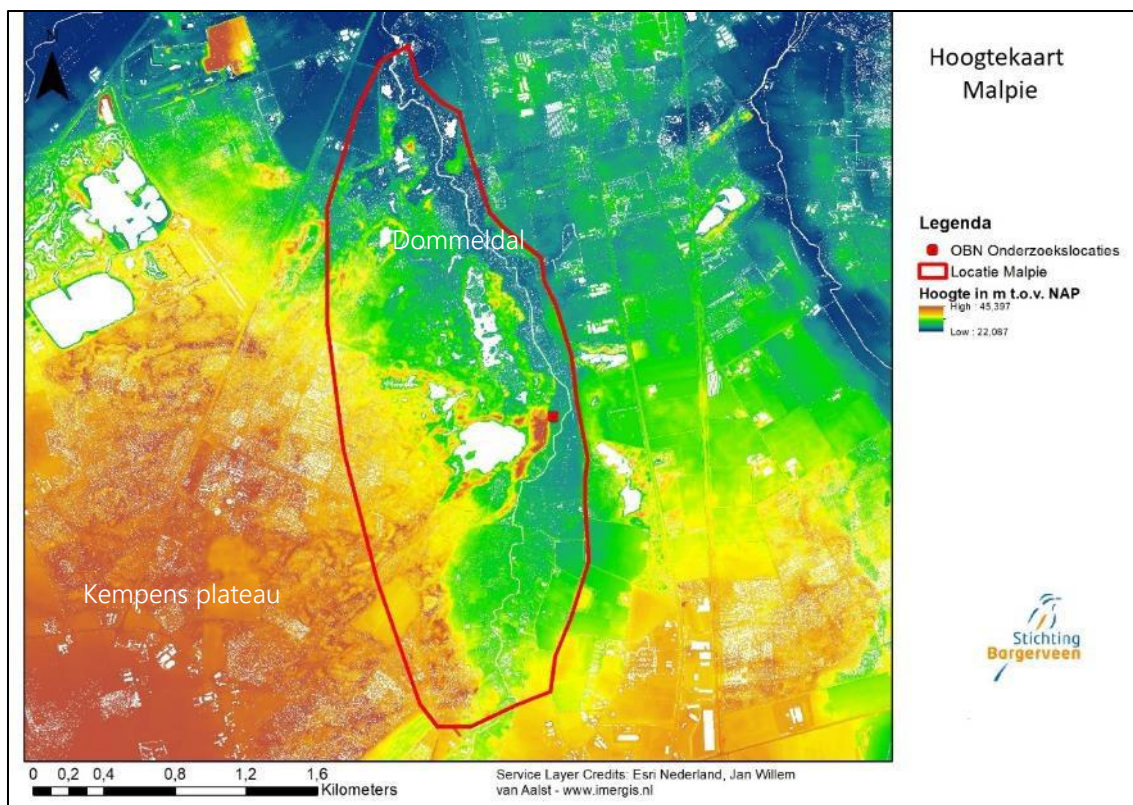
Het onderzoeksgebied De Malpie omvat het beekdal van de Dommel en de aangrenzende hogere gronden tussen de Venbergsche watermolen en Borkel, ten zuiden van Valkenswaard en is circa 380 hectare (Figuur 101). Het gebied is onderdeel van het Natura 2000-gebied Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux en is in eigendom van Natuurmonumenten en de gemeente Valkenswaard. In het gebied bevindt zich een van de onderzoekslocaties; het betreft een "voedselrijke beekafzetting met *Alno-Padion*".



Figuur 101 Ligging van De Malpie (het onderzoeksgebied) met daarbinnen de OBN onderzoekslocatie, waar ook een grondwatermonster genomen is (2, uit peilbuis NBMa_001_G).

2.9.2 Reliëf

Het reliëf van De Malpie en haar omgeving wordt gekenmerkt door het dal van de Dommel. Het dal ligt aan de flank van het hoger gelegen Kempens plateau. Het Dommeldal bevindt zich tussen de 26-30 m +NAP en het maaiveld loopt licht af in noordelijke richting. De hogere delen bevinden zich op 35m +NAP (Figuur 102).

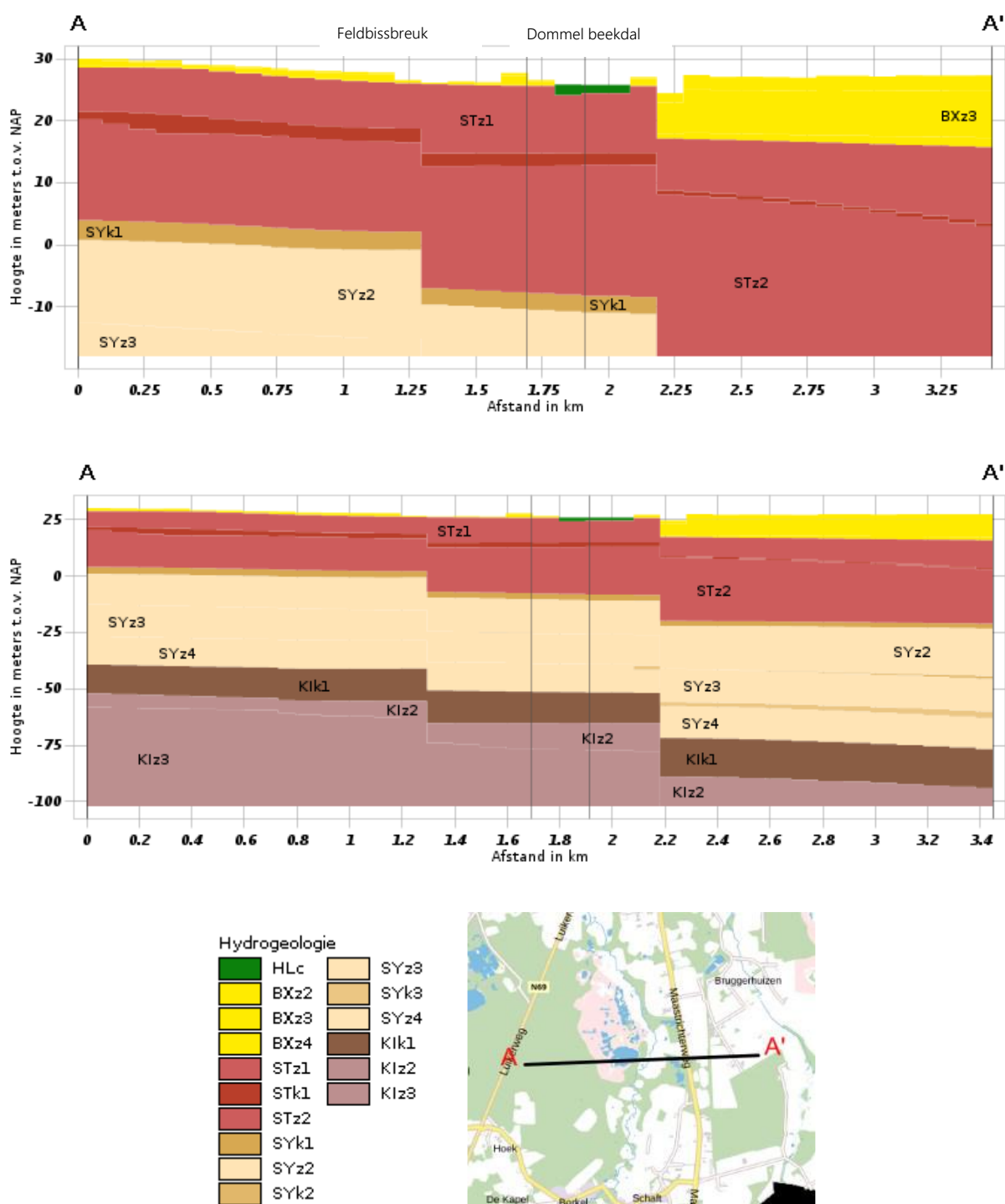


Figuur 102 Hoogtekaart voor De Malpie (AHN3, 2021).

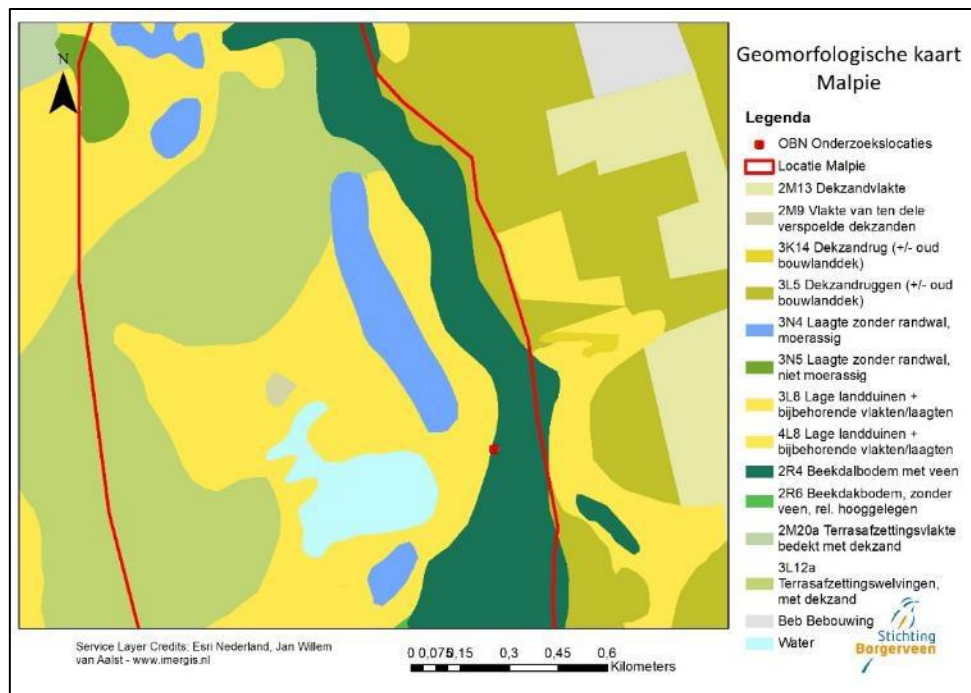
2.9.3 Geologie en geomorfologie

Het onderzoeksgebied bevindt zich grotendeels op het Kempisch plateau. In het gebied ligt de Feldbissbreuk en deze scheidt het Kempisch plateau van de Roerdalslenk. Deze breuk ligt in het noorden van het onderzoeksgebied en loopt van noordwest naar zuidoost. In de omgeving liggen nog een aantal breuken, echter is het van geen van deze breuken bekend of deze versmeerd zijn. Daarmee is niet bekend in hoeverre ze de grondwaterstroming beïnvloeden (Provincie Noord-Brabant, 2017).

Het freatisch pakket bestaat uit de zandige eenheden van de Formatie van Boxtel (BXz) en de Formatie van Sterkel (STz1). In het beekdal bevinden zich Holocene afzettingen (HLc). De formatie van Boxtel bestaat uit sterk gelaagde afzettingen van fijn zand, leem en veen (Schokker et al., 2005). De eerste slechtdoorlatende laag, die het freatisch pakket begrensd, ligt op circa 10 -15 m diepte en bestaat uit een kleilaag van de Formatie van Sterkel van enkele meters dik (STk1). Ten westen van de Feldbissbreuk ligt deze laag enkele meters hoger. Het eerste watervoerend pakket bestaat uit een laag zand van circa 20 m dik van de Formatie van Sterksel (STz2) die aan de onderkant wordt begrensd door een kleilaag van de Formatie van Stamproy (SYk1). (Figuur 103; REGIS II, Dinoloket, 2021). Volgens de geomorfologische kaart bestaat het dal van de Dommel uit de eenheid "Beekdalbodem met veen" en hieromheen liggen onder meer lage landduinen en terrasafzettingsswelingen (Figuur 104) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 103 Hydrogeologische doorsnede van De Malpie met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 104 Geomorfologische kaart Malpie (Basisregister Ondergrond, 2021).

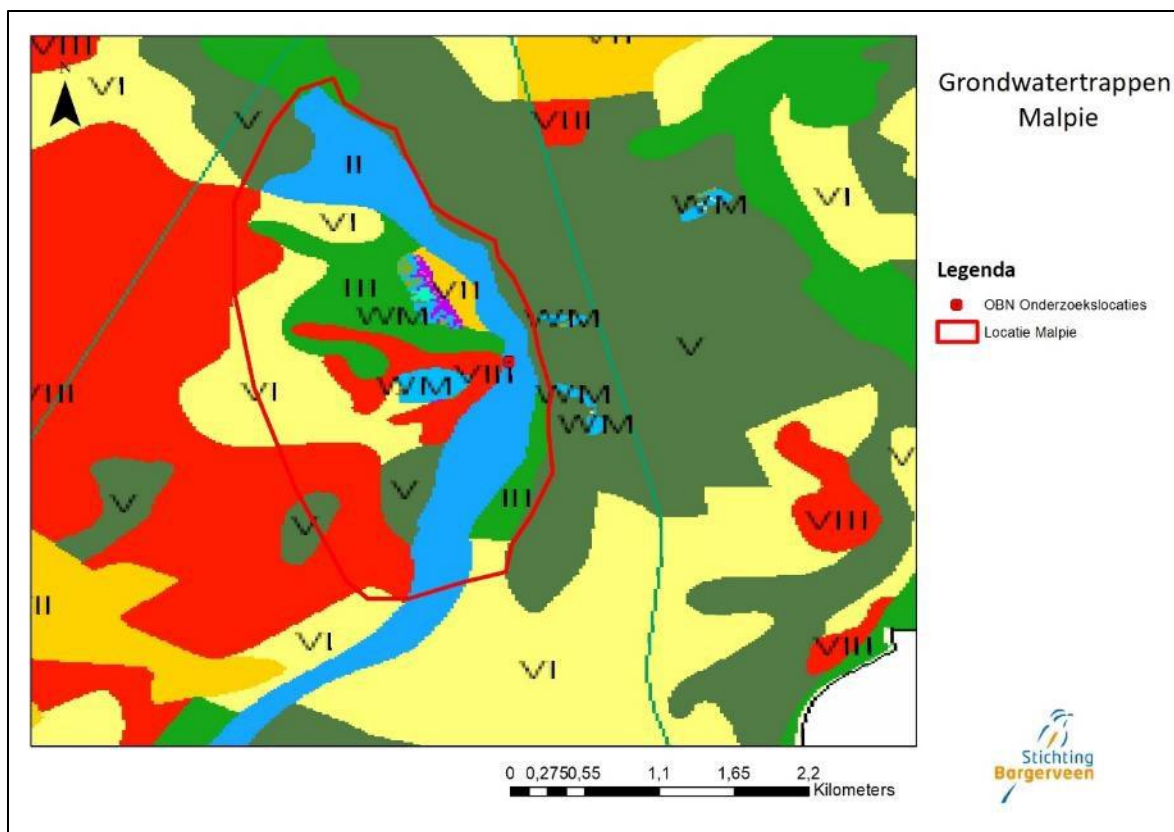
2.9.4 Hydrologie

2.9.4.1 Hydrologisch systeem

In het hydrologisch systeem van het gebied staat de Dommel centraal; dit is de drainagebasis van het dal en daarmee bepalend voor het grondwaterregime. De Dommel ontspringt op het Kempens Plateau en behoort tot het stroomgebied van de Maas en stroomt dus noordwaarts. Het oppervlaktewaterpeil van de Dommel wordt ter hoogte van De Malpie gereguleerd door de Venbergse watermolen. Daarnaast is er een stelsel van leggerwatergangen aanwezig, welke een sterke invloed heeft op het hydrologisch functioneren van het gebied.

2.9.4.2 Grondwatertrappen

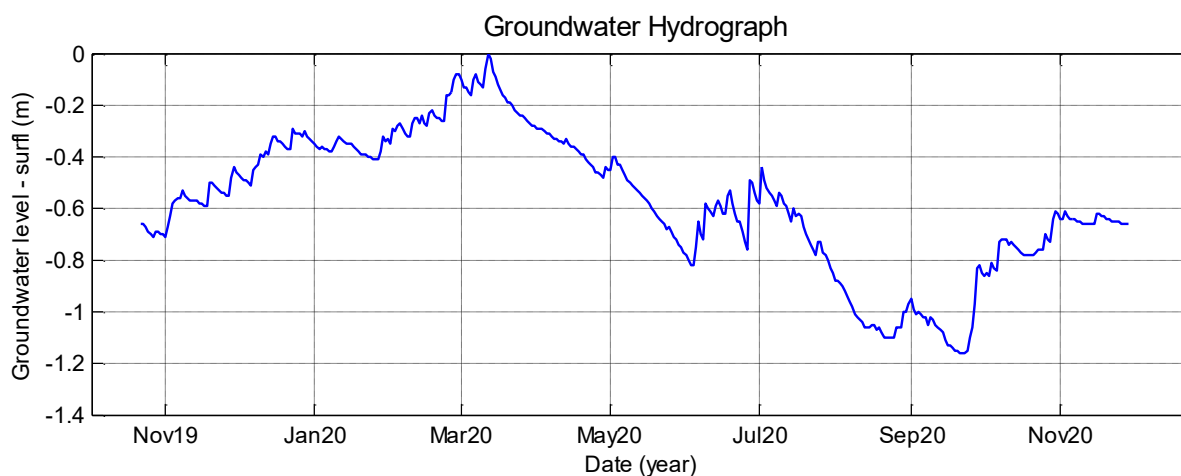
Het dal van de Dommel wordt gekenmerkt door grondwatertrap II. In de omliggende gronden worden gekenmerkt grondwatertrap III (bij het Malpieven) en door grondwatertrap V en grondwatertrap VI (zandruggen) (Figuur 105).



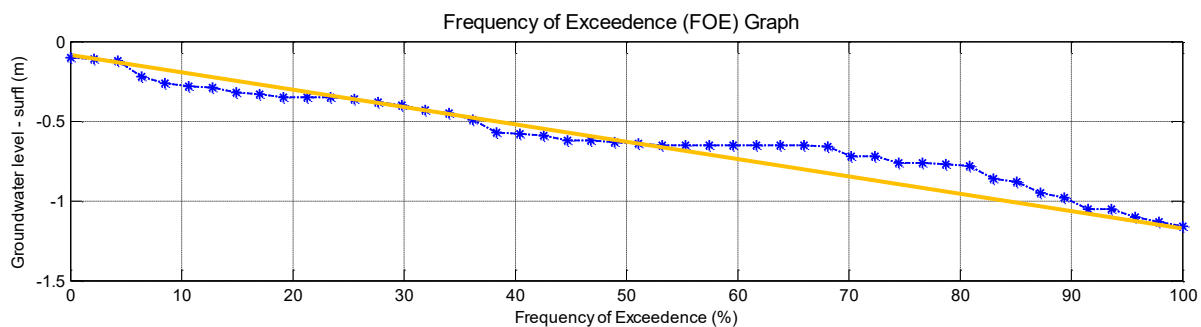
Figuur 105 Grondwatertrappen De Malpie, Stibokakaart 1972 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.9.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

Peilbuis NBMa001_G ligt nabij de OBN onderzoekslocatie “voedselrijke beekafzetting met *Alno-Padion*” (Figuur 101) op 26,13 m t.o.v. NAP en geeft een grondwatertrap van III, GLG van 1,04, GHG van 0,20 en een GVG van 0,26 m -mv (november 2019-november 2020) (Figuur 106). De bijbehorende duurlijn is S-vormig (Figuur 107): een gedeelte van het jaar is de duurlijn hol (grotere afvoer dan aanvoer van grondwater) en een gedeelte van het jaar is de duurlijn bol (grotere aanvoer van grondwater dan afvoer). Dit laat zien dat het grondwater (te) snel wordt afgevoerd uit het systeem.



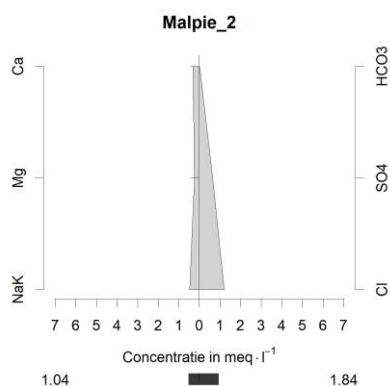
Figuur 106 Tijdstijghoogtelijn peilbuis NBMa001_G.



Figuur 107 Duurlijn peilbuis NBMa001_G (november 2019-november 2020), met gele hulplijn.

2.9.4.4 Grondwaterkwaliteit

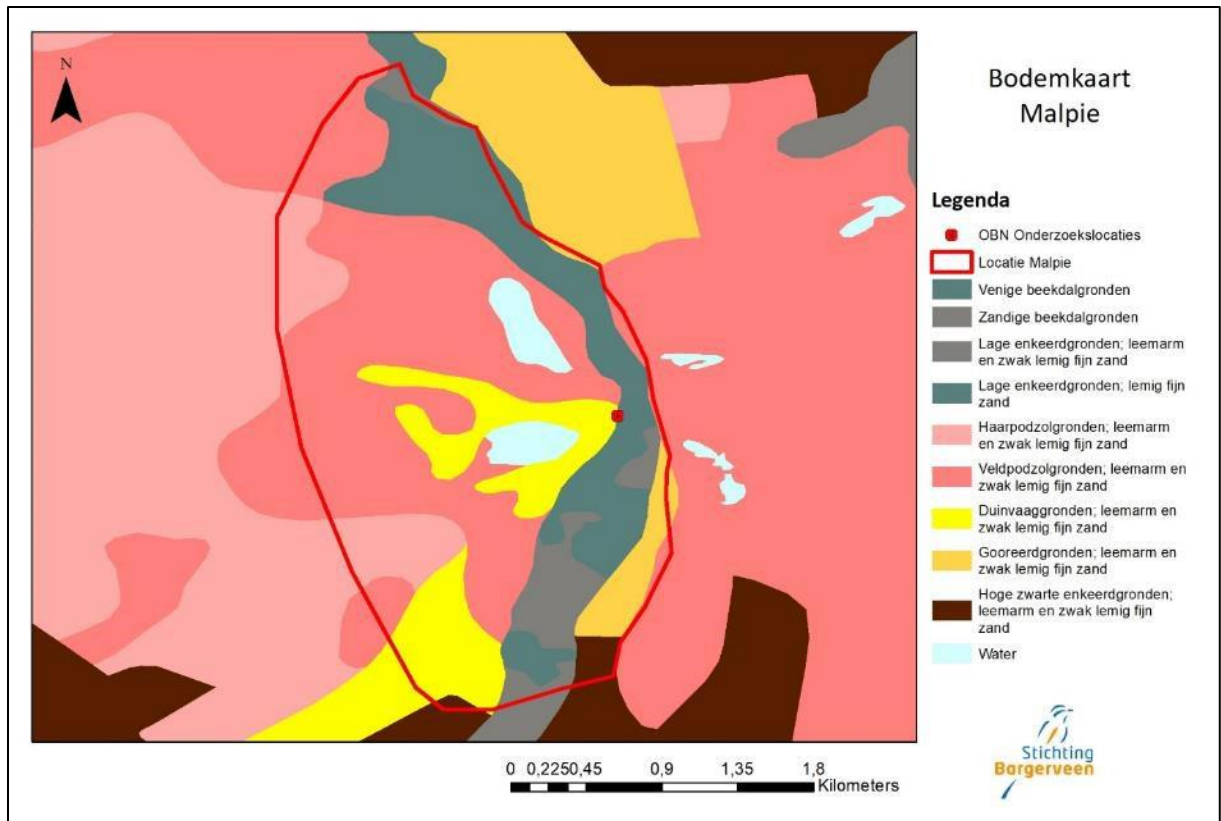
Er is één grondwatermonster genomen in De Malpie, uit peilbuis NBMa001_G. De Stiffdiagram duidt op relatief ionenarm grondwater (Figuur 108).



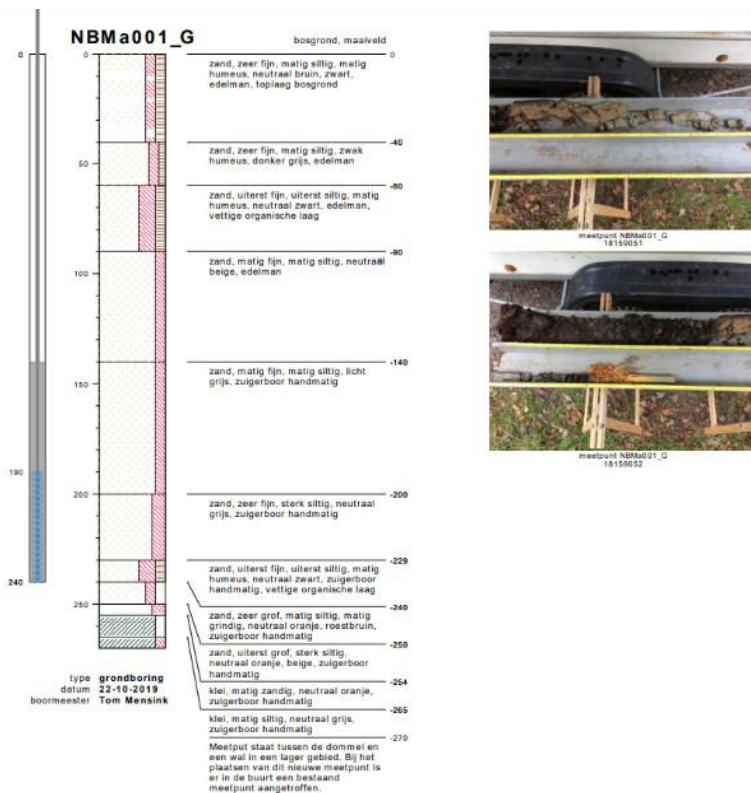
Figuur 108 Stiffdiagram van De Malpie.

2.9.5 Bodem

Langs de Dommel ligt een zone met veengrond, die is opgebouwd uit broekveen. Deze gaan op de beekdalflank en de lage delen van de denkazandrug over in veldpodzolen. Verder zijn er lokaal duinvaaggronden en gooreerdgronden te vinden (Figuur 109). Bij de boring van peilbuis NBMa001_G (nabij de OBN onderzoekslocatie) is vanaf 2 m -mv zeer fijn zand aangetroffen en vanaf 2,65 - 2,70 m -mv klei (Figuur 110).



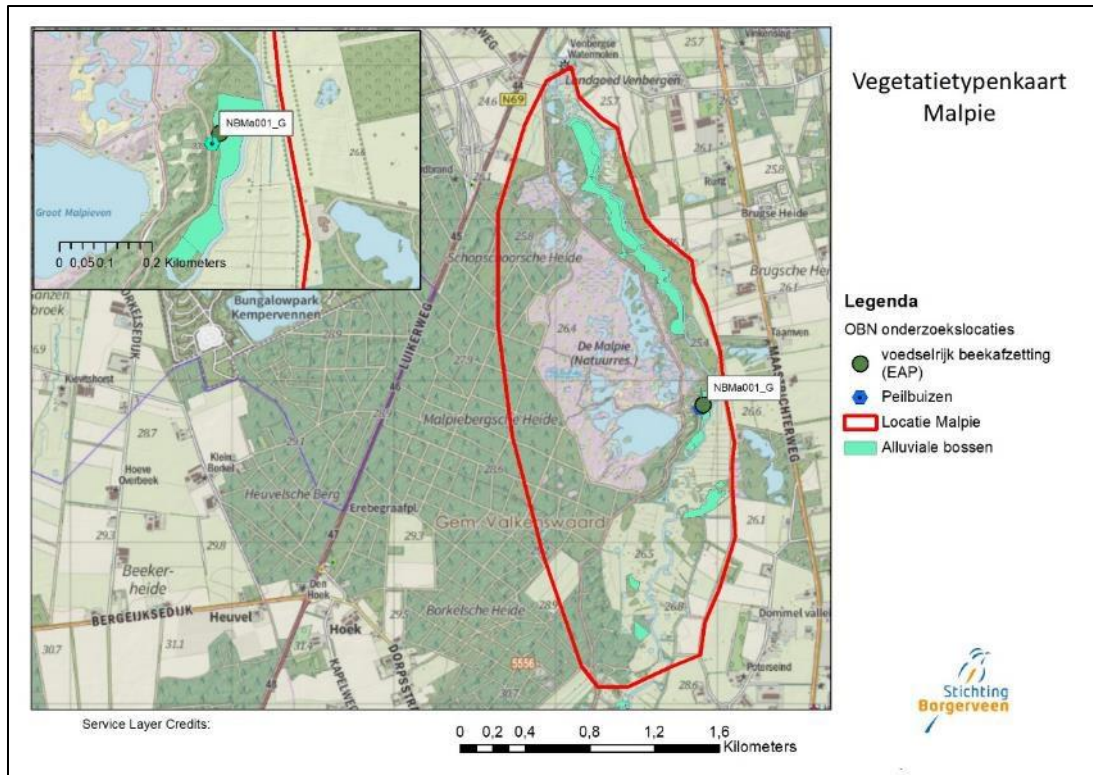
Figuur 109 1:50.000 bodemkaart van De Malpie (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 110 Boring bij peilbuis NBMa001_G nabij de OBN onderzoekslocatie.

2.9.6 Vegetatie en flora

In het Dommeldal komt het habitattype alluviale bossen (H91E0C) voor (Figuur 111). Hieronder valt het Vogelkers-Essenbos, maar ook de nattere broekbossen. Omdat de habitattypen niet verder zijn gedifferentieerd, is het onzeker waar zich in het gebied vochtige bossen aanwezig zijn. De alluviale bossen zijn slecht ontwikkeld, volgens het Natura 2000-beheerplan komen er bijna geen typische plantensoorten voor in het Natura 2000-gebied (Provincie Noord-Brabant, 2017).

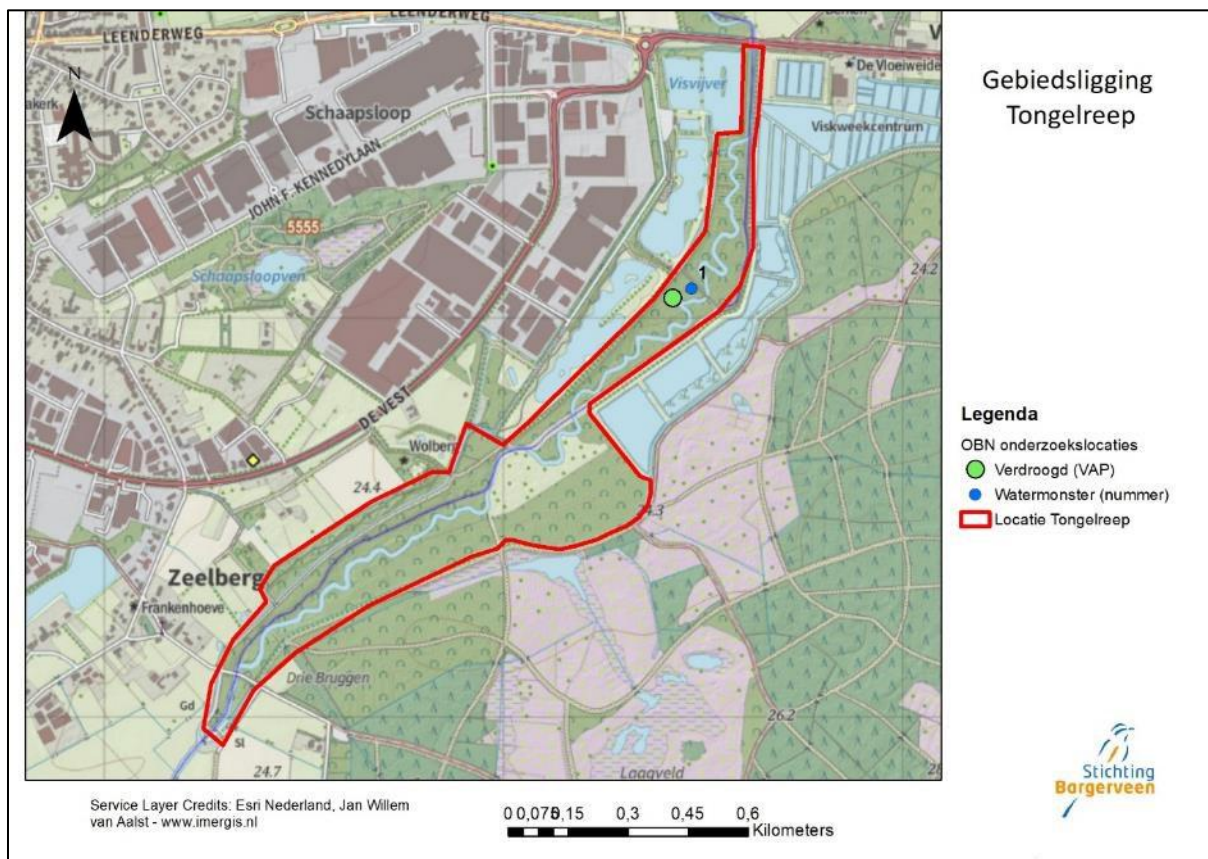


Figuur 111 Habitattypenkaart de Malpie.

2.10 Tongelreep

2.10.1 Algemeen

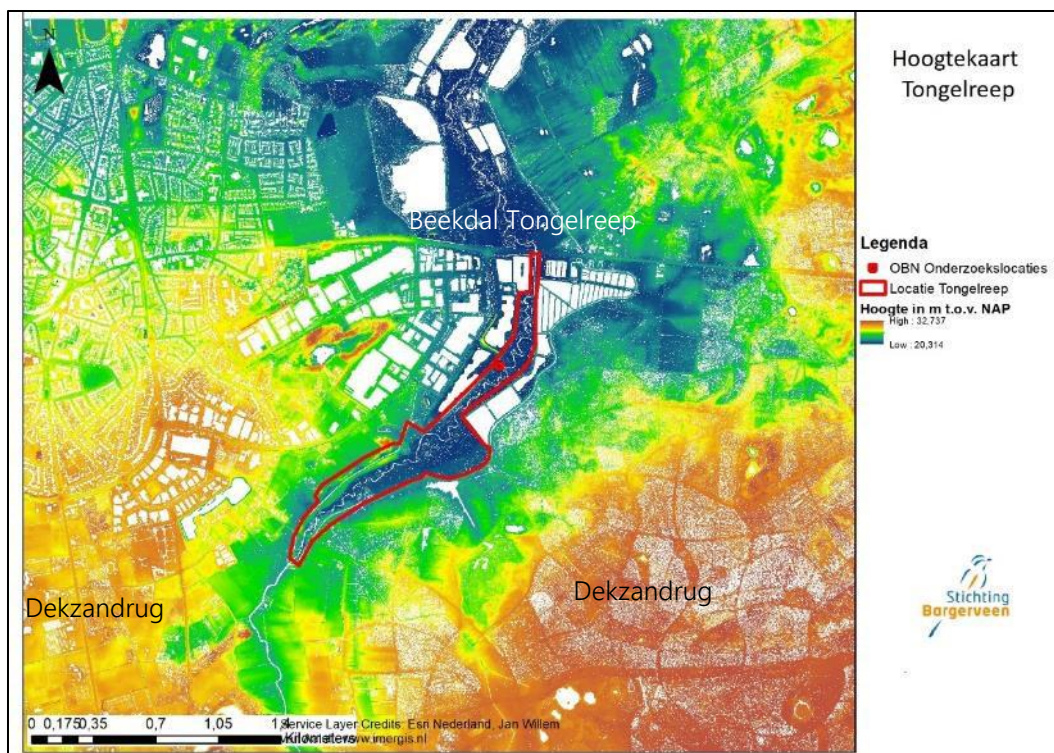
Het beekdal van de Tongelreep ligt ten westen van het Leenderbos en tussen Achelse Kluis en Valkenswaard (Figuur 112). Het onderzoeksgebied is circa 40 hectare en in eigendom van Staatsbosbeheer en Gemeente Valkenswaard. Het gebied bevat beekbegeleidende bossen en is onderdeel van Natura 2000-gebied Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux. De OBN onderzoekslocatie, "verdroogd *Alno-Padion*", bevindt zich langs de Tongelreep, tussen historische visvijvers aan de rand van Valkenswaard.



Figuur 112 Ligging van het onderzoeksgebied rond de Tongelreep met OBN onderzoekslocatie, waar vlakbij een grondwatermonster genomen is (1, uit peilbuis TORE003_G).

2.10.2 Reliëf

Op de hoogtekarte is het dal van de Tongelreep zichtbaar als het laagste gedeelte tussen twee hogere dekzandruggen. Het onderzoeksgebied bevindt zich op circa 20-25 m +NAP en het maaiveld loopt af in noordelijke richting (eveneens de stromingsrichting van de Tongelreep) (Figuur 113).

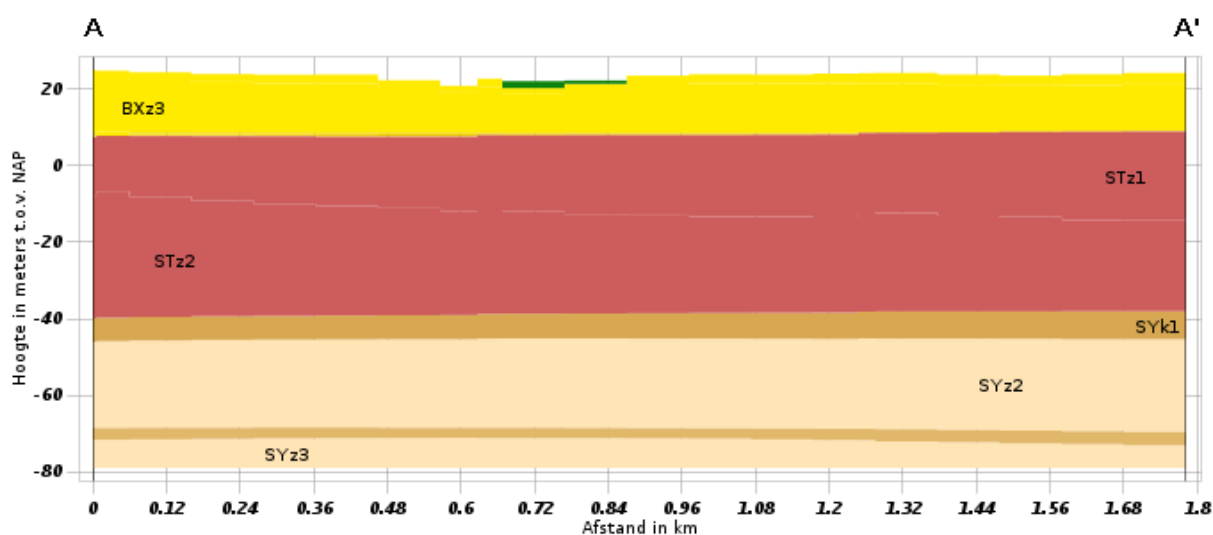
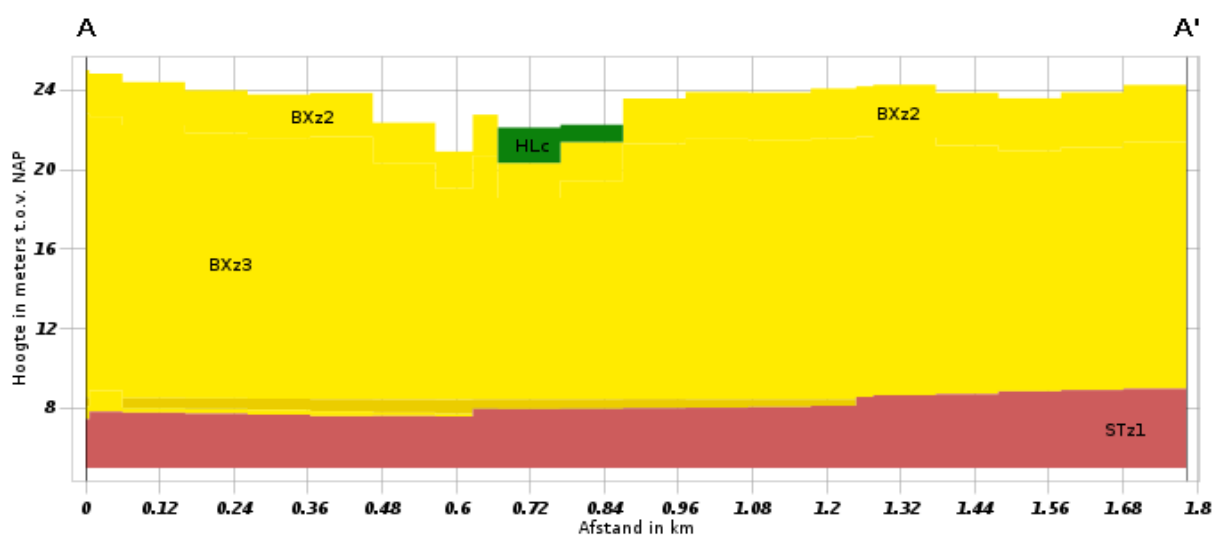


Figuur 113 Hoogtekaart Tongelreep (AHN3, 2021).

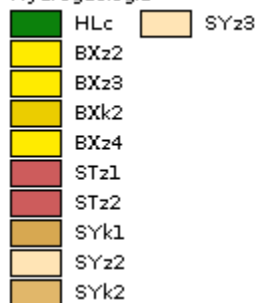
2.10.3 Geologie en geomorfologie

De Tongelreep bevindt zich in de Roerdaalslenk en de geologische ondergrond wordt gekenmerkt door dikke zandpakketten. Ook zijn er in het onderzoeksgebied en in de omgeving verschillende geologische breuken aanwezig. Aan het oppervlakte bevinden zich in het beekdal Holocene afzettingen (HLc) van enkele meters dikte (complexe eenheid). Daarbuiten bestaat de bovenste laag uit een deklaag van 20-30 m dikte (Formatie van Boxtel, BXz) en vormt tevens het freatisch watervoerend pakket. Hieronder bevindt zich een dik pakket van circa 50 m van grove zanden en grinden (Formatie van Sterkel, STz), wat wordt beschouwd als het eerste watervoerend pakket. Deze twee formaties worden in het noordelijke helft van het onderzoeksgebied gescheiden door een dunne kleilaag (Formatie van Boxtel, BXk2). De Formatie van Sterkel wordt aan de onderzijde begrenst door zandige en kleiige afzettingen van Formatie van Stamproy (SYk1) (REGIS II, Dinoloket, 2021).

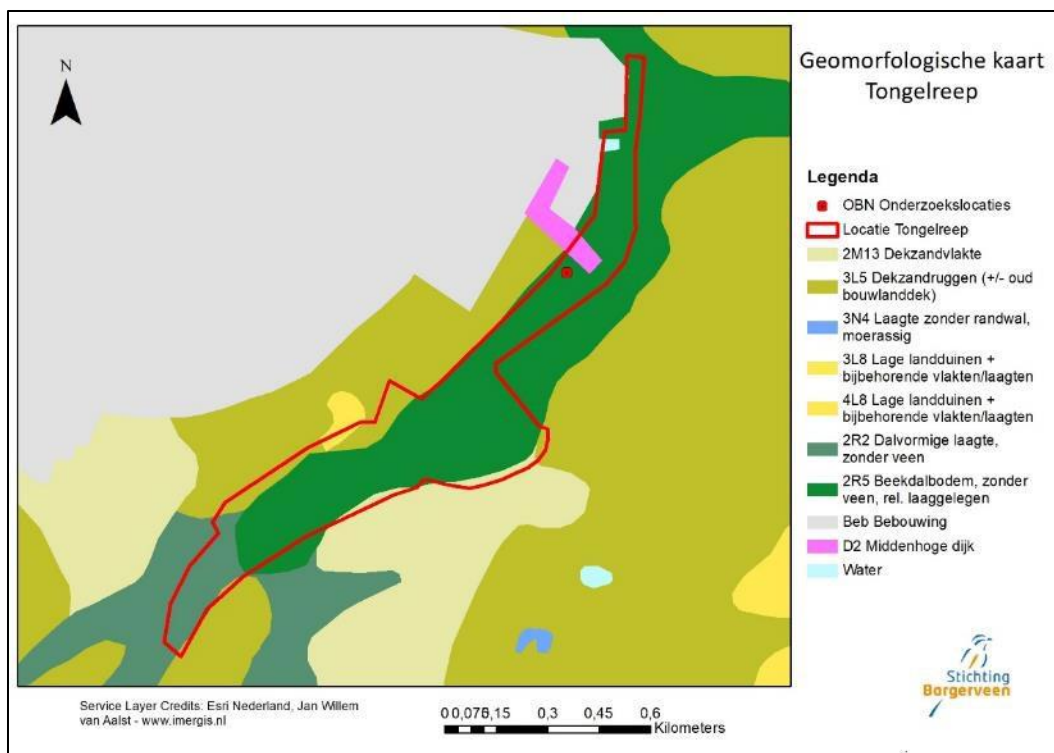
Geomorfologisch bestaat het beekdal van de Tongelreep uit de eenheden "Beekdalbodem, zonder veen" en "Dalvormige laagte, zonder veen". De hogere delen rond het beekdal bestaan uit dekzandruggen (Figuur 115) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Hydrogeologie



Figuur 114 Hydrogeologische doorsnede van de Tongelreep met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



Figuur 115 Geomorfologische kaart van de Tongelreep (Basisregister Ondergrond, 2021).

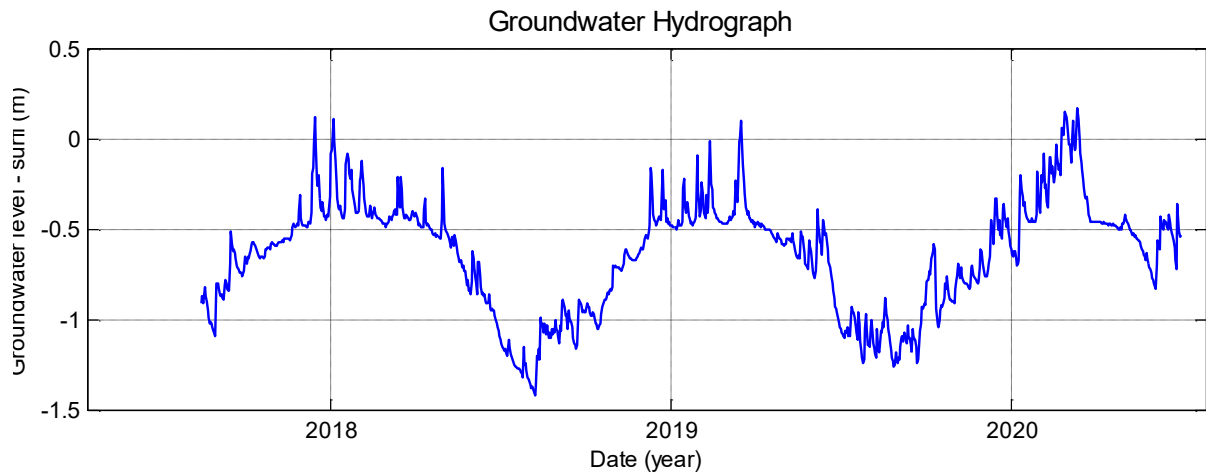
2.10.4 Hydrologie

2.10.4.1 Hydrologisch systeem

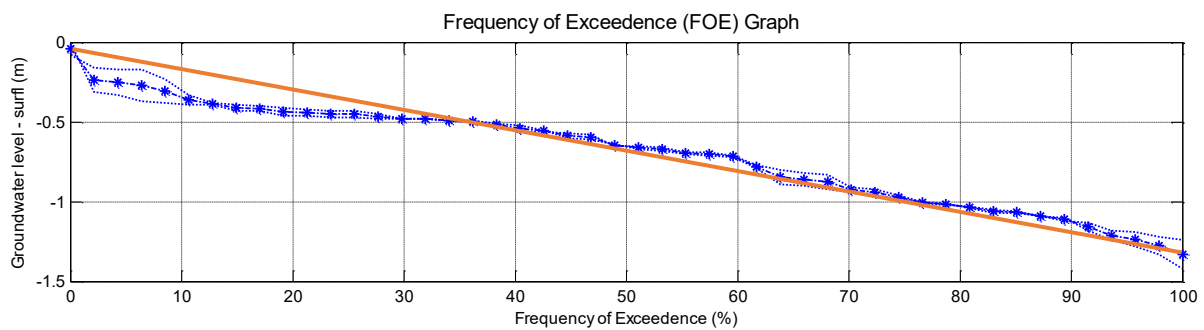
De Tongelreep ontspringt in België op het Kempisch Plateau en mondt uit in De Dommel bij Eindhoven. De beek stroomt dus in noordoostelijke richting. De Tongelreep wordt gevoed door Maaswater vanuit het Kempisch kanaal, regenwater uit het stroomgebied en water van de rioolwaterzuiveringsinstallaties in Achel. Rond het jaar 1900 is de Tongelreep rechtgetrokken, vergroot en vergraven. Met hogere stroomsnelheden en dynamiek als gevolg, is de beek steeds dieper in het landschap komen te liggen en heeft de beek een versterkt drainerend effect (Waterschap De Dommel, 2019). In het onderzoeksgebied is de beek herstelt en meandert zij weer.

2.10.4.2 Grondwatertrappen

Het dal van de Tongelreep, waar natte omstandigheden overheersen, wordt gekenmerkt door grondwatertrap III. De omliggende hogere gronden (zandruggen) worden gekenmerkt door de hogere grondwatertrappen V en VI.



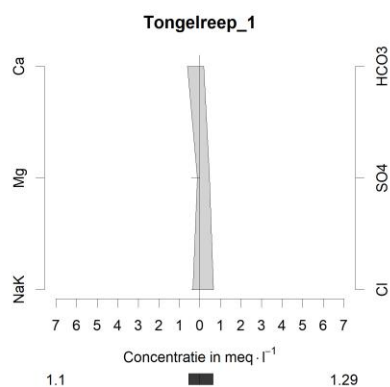
Figuur 117 Tijdstijghoogtelijn peilbuis TORE003_G.



Figuur 118 Duurlijn peilbuis TORE003_G (2018-2020), met oranje hulplijn.

2.10.4.4 Waterkwaliteit

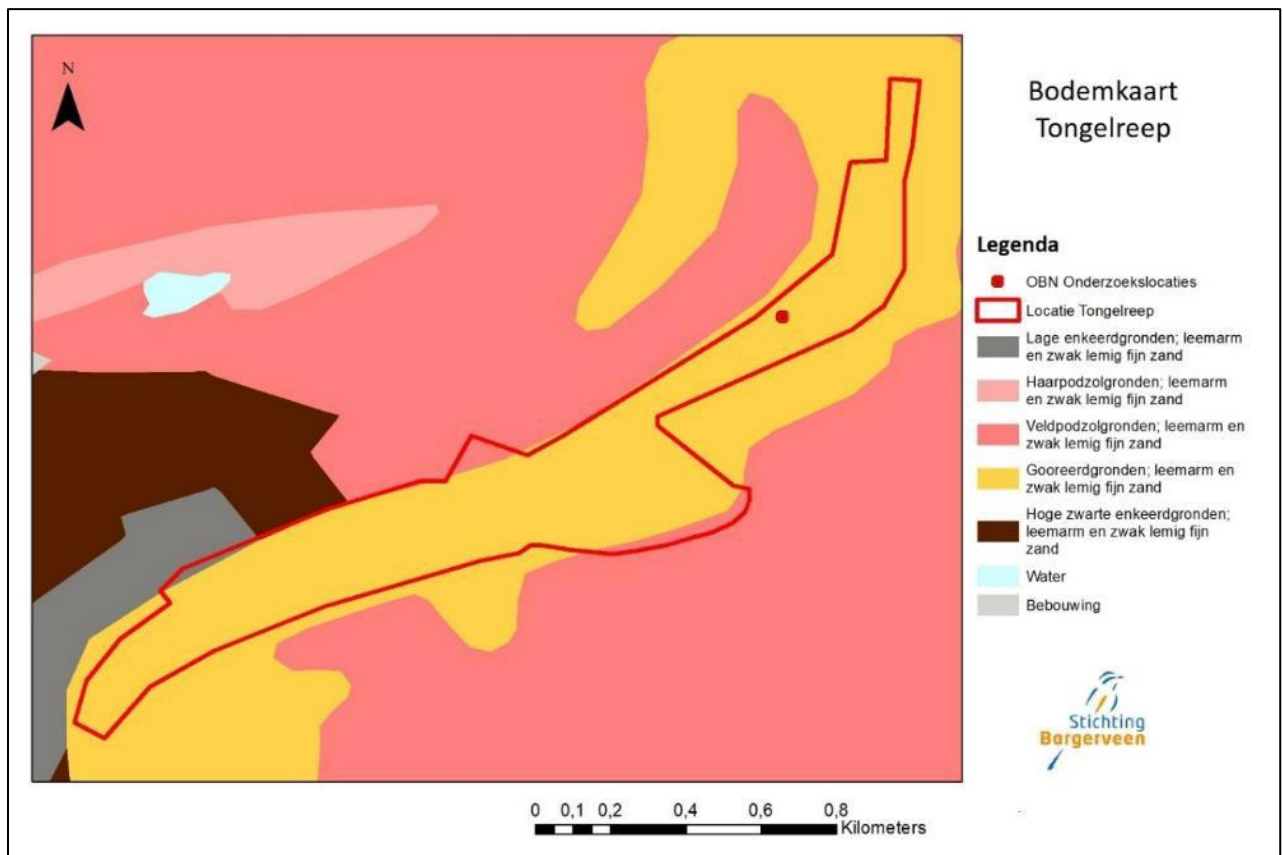
In het onderzoeksgebied is een grondwatermonster genomen uit peilbuis TORE003_G. De Stiffdiagram duidt op ionenenarm grondwater (Figuur 119).



Figuur 119 Stiffdiagram Tongelreep.

2.10.5 Bodem

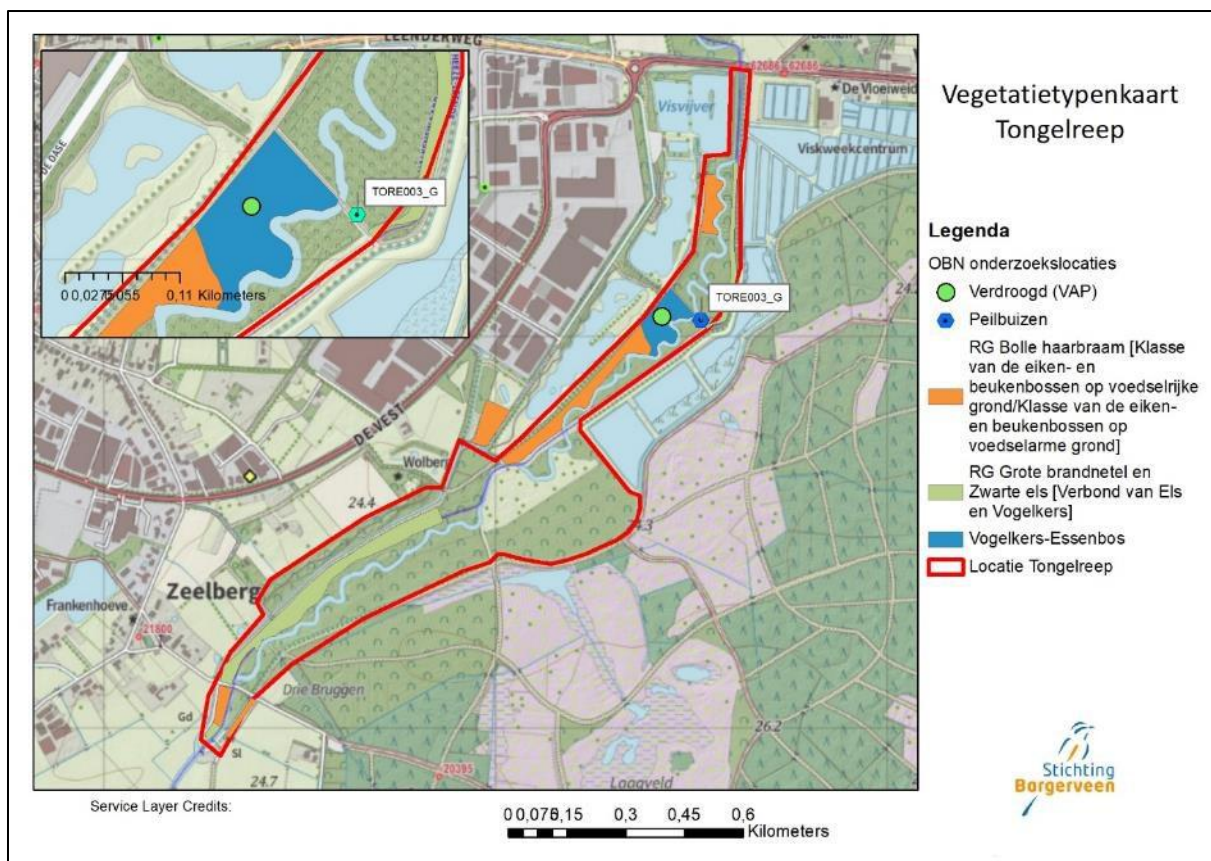
Volgens de 1:50.000 bodemkaart bestaat de bodem in het beekdal uit gooreerdgronden van leemarm en zwak lemig fijn zand. Buiten het beekdal komen podzolgronden en enkeerdgronden voor (Figuur 120).



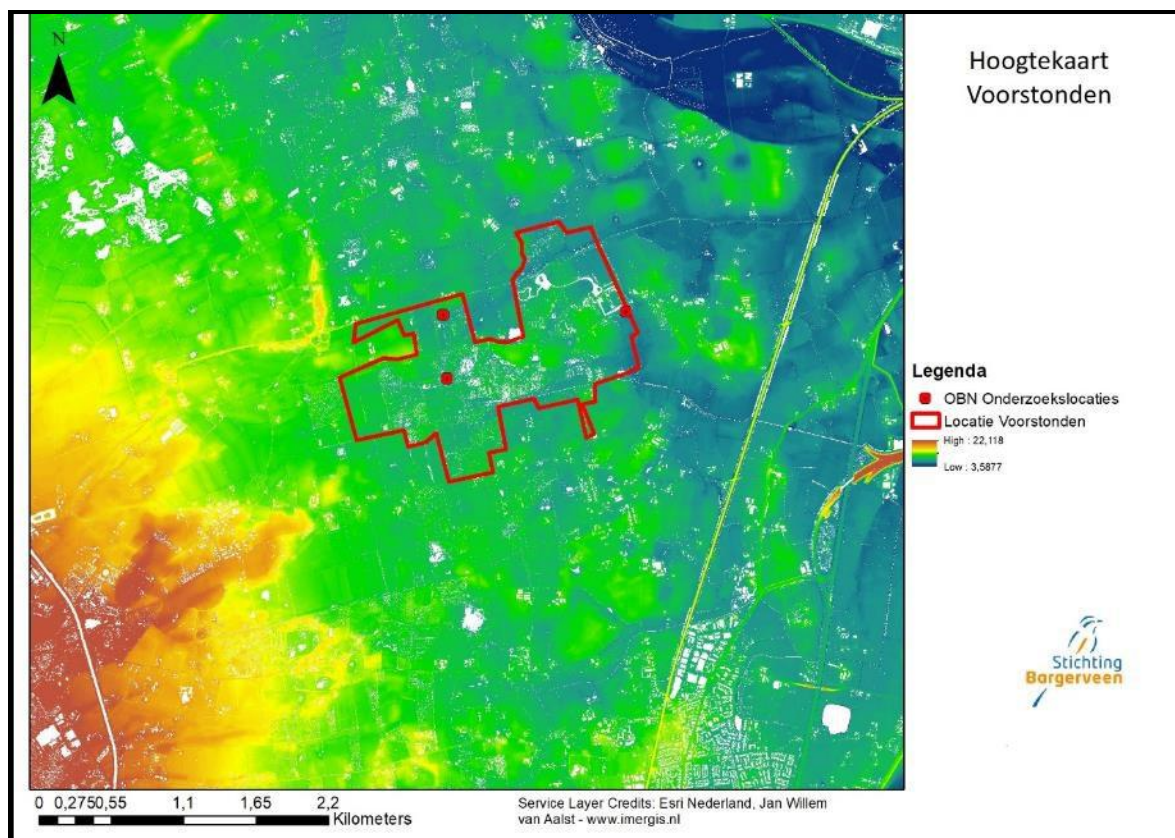
Figuur 120 1:50.000 bodemkaart Tongelreep (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.10.6 Vegetatie en flora

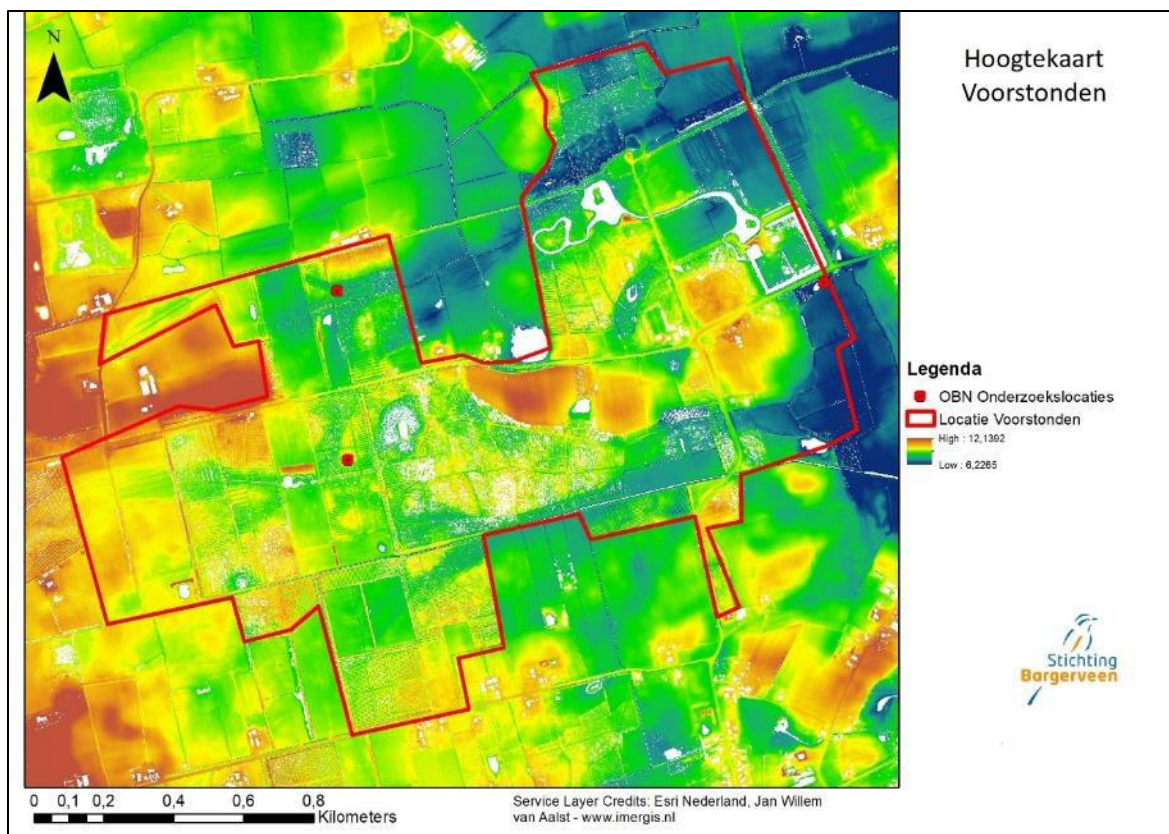
De Tongelreep wordt begeleid door alluviale bossen. Deze bossen staan op rabatten en zijn verdroogd. De alluviale bossen zijn slecht ontwikkeld, volgens het Natura 2000-beheerplan komen er bijna geen typische plantensoorten voor van dit habitatype in het Natura 2000-gebied Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux (Provincie Noord-Brabant, 2017). In het onderzoeksgebied is een klein gedeelte gekarteerd als Vogelkers-Essenbos (Bosgroep Zuid, 2021) (Figuur 121).



Figuur 121 Vegetatietypenkaart Tongelreep.



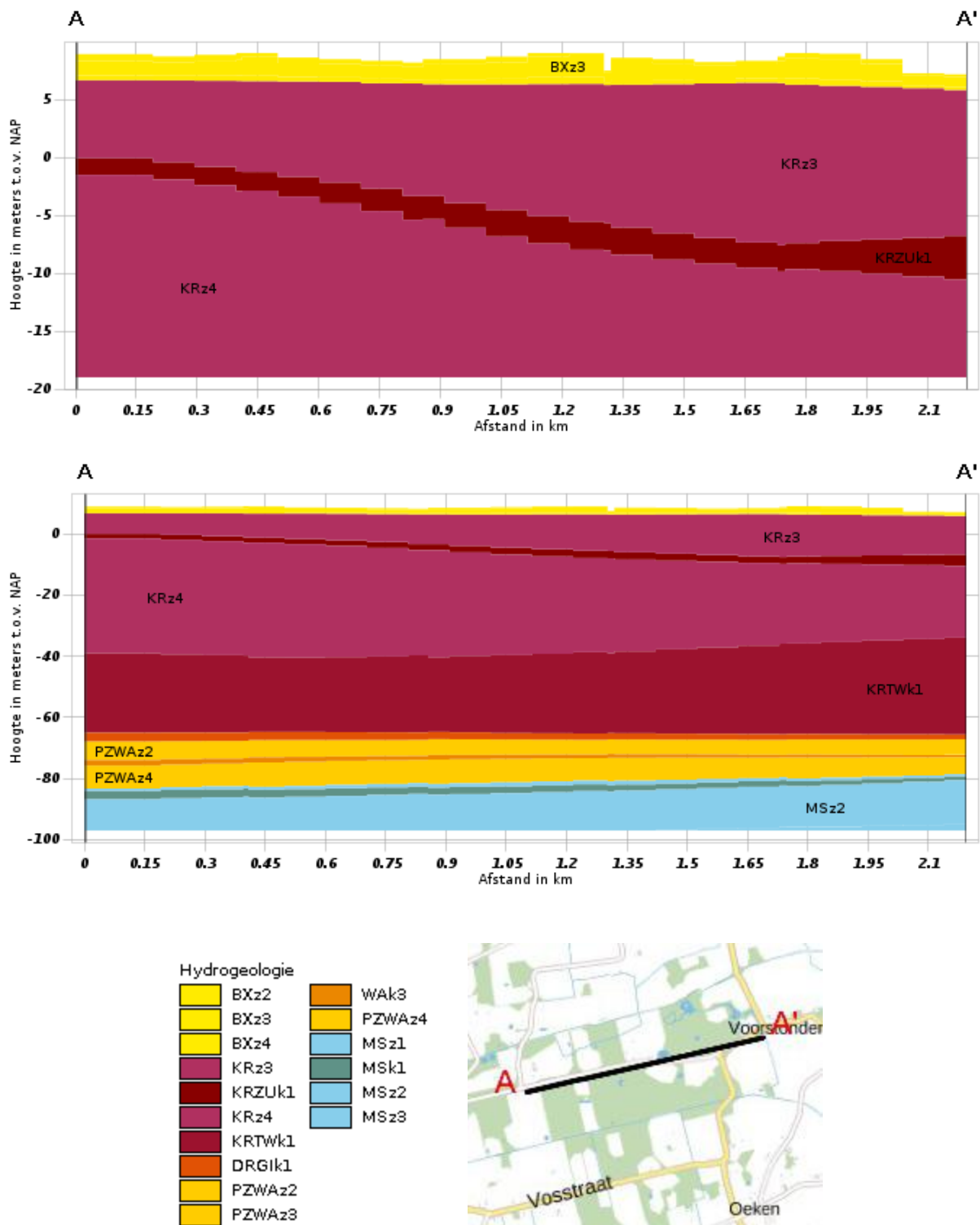
Figuur 123 Hoogtekaart van Voorstonden (AHN3, 2021).



Figuur 124 Hoogtekaart van Voorstonden (AHN3, 2021).

2.11.3 Geologie en geomorfologie

De bovenste laag bestaat uit een laag dekzand van leemarm tot sterk lemig fijn zand (Formatie van Boxtel, BXz3) met hieronder grove, soms grindrijke zanden (Formatie van Kreftenheye, KRz3). Rondom het huis Voorstonden is een dunne kleilaag aanwezig in de deklaag. Deze twee lagen vormen het freatisch watervoerend pakket en van circa 10-15 m dikte. De eerste weerstand biedende laag, de Eemlaag, is de scheiding van het freatisch watervoerend pakket en is circa 2 m dik. Deze laag wordt gevormd door kleien van het laagpakket van Zutphen (Formatie van Kreftenheye, KRZUk1). Echter kan deze laag op plaatsen van geulen heel dun of afwezig zijn. Onder deze laag bevindt zich het eerste watervoerend pakket, bestaande uit fluviatiele zanden van de Formatie van Kreftenheye (KRz4). De tweede weerstand biedende laag bestaat uit een dikke kleilaag van het laagpakket van Twello (KRTWk1). Dit pakket heeft een zeer hoge weerstand en is op veel plaatsen tientallen meters dik en de bovenkant van dit pakket bevindt zich 50-60 m onder maaiveld (Bell & van 't Hullenaar, 2015) (Figuur 125).

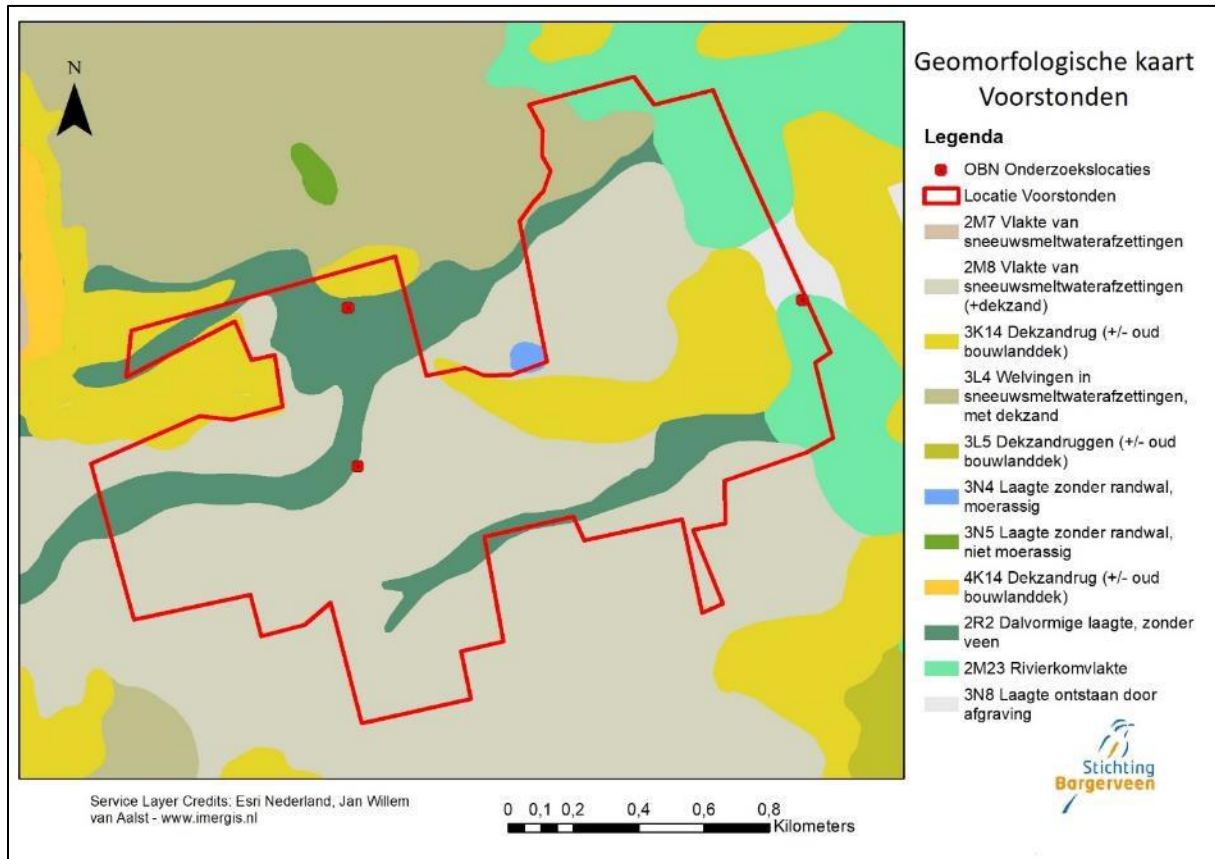


Figuur 125 Hydrogeologische doorsnede van landgoed Voorstonden met het REGISII model (Dinoloket, 2021).

Over het algemeen ligt de kalkgrens in het gebied ondiep, met uitzondering van de dekzandruggen. Volgens onderzoek van Bell & van 't Hullenaar (2015) begint in Voorstonden de kalkrijke bodem in de laaggelegen delen op een diepte van 1-2 m onder maaiveld.

De geomorfologie van het gebied wordt gekenmerkt door een afwisseling van slenken, kommen, ruggen en koppen. De slenken bestaan uit deels opgevulde erosiedalen die vaak aaneengesloten structuren

vormen. Er zijn kommen aanwezig op plaatsen waar slenken zijn afgesnoerd door dekzandruggen (Bell & van 't Hullenaar, 2011). Op de geomorfologische kaart zijn de erosiedalen weergegeven als "Dalvormige laagte, zonder veen" en bestaat een groot deel van het onderzoeksgebied uit de eenheid "Vlakte van sneeuwmeltwaterafzettingen" (Figuur 126) (Basisregister Ondergrond, 2021). Oorspronkelijk verliep de afwatering van de omgeving via het slenkenstelsel, maar tegenwoordig loopt dit via gegraven waterlopen.



Figuur 126 Geomorfologische kaart van Voorstonden (Basisregister Ondergrond, 2021).

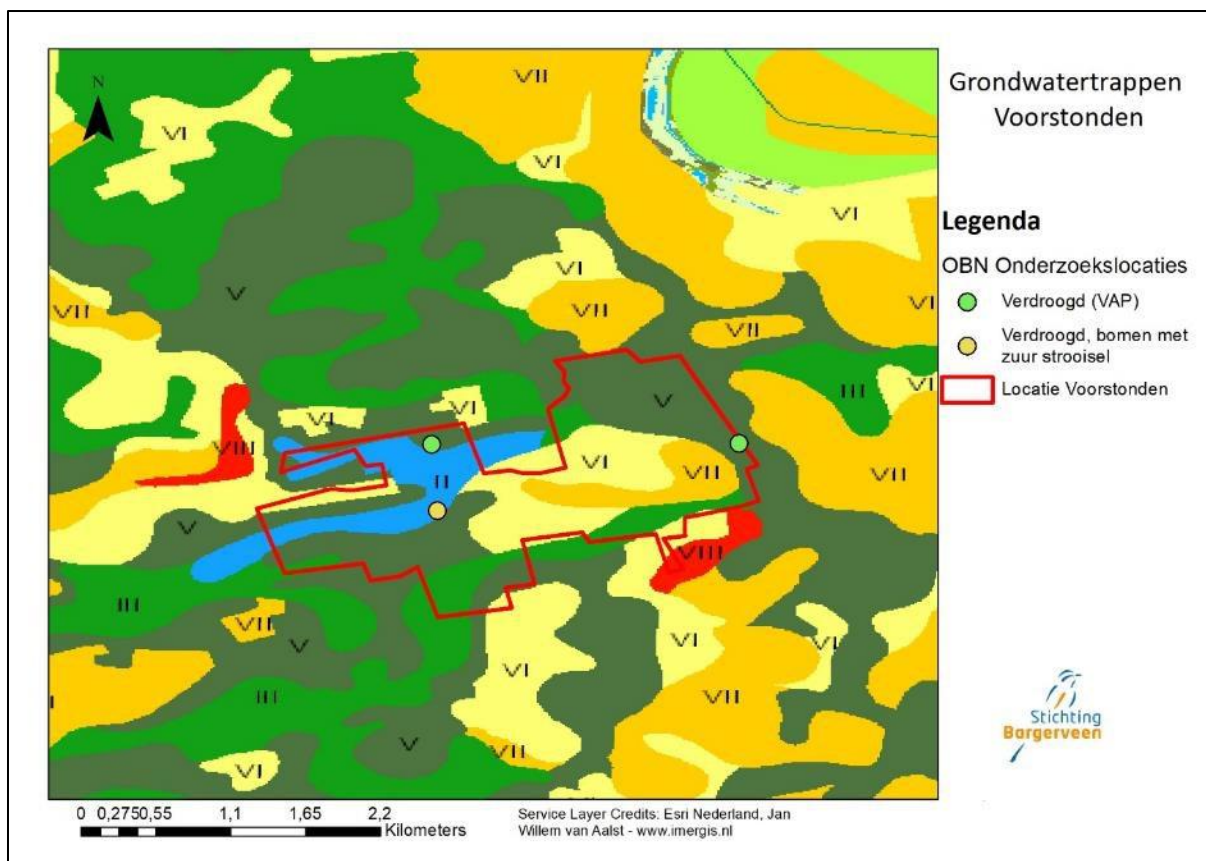
2.11.4 Hydrologie

2.11.4.1 Hydrologisch systeem

Landgoed Voorstonden wordt gevoed door basenrijk grondwater dat een paar kilometer naar het westen in de Veluweflank is geïnfilteerd. Ook speelt lokale kwel vanuit de aanwezige dekzandruggen in het gebied een rol (Bel & van 't Hullenaar, 2011). Afwatering vindt plaats via verschillende gegraven beken en sloten. De sloten liggen veelal in de slenken en zijn op veel plaatsen dwars door dekzandruggen gegraven. Daarmee vangen ze zowel lokaal grondwater uit de dekzandruggen af als basenrijk bovenlokaal grondwater.

2.11.4.2 Grondwatertrappen

Binnen landgoed Voorstonden komen volgens de grondwatertrappenkaart grondwatertrappen II-VII voor (Figuur 127). Grondwatertrap II is aanwezig in het noordwesten van het onderzoeksgebied, in de lager gelegen slenk.

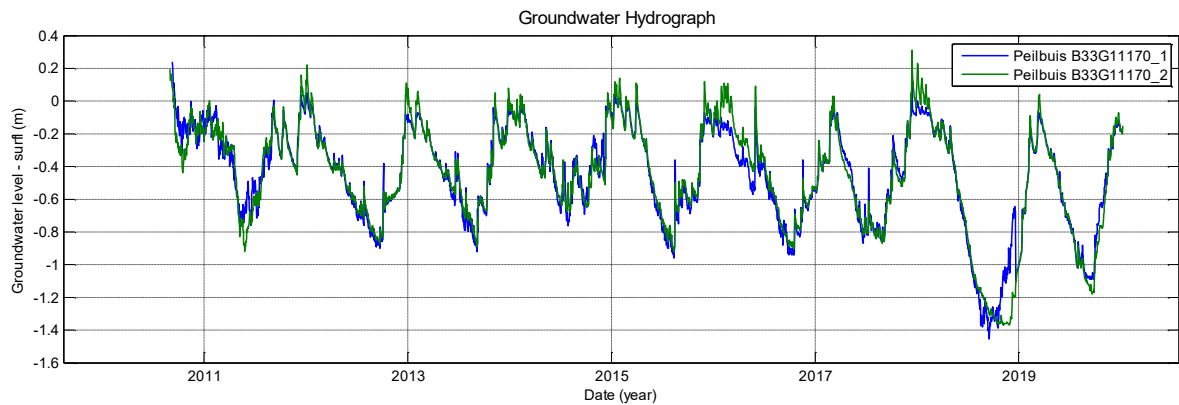


Figuur 127 Grondwatertrappenkaart Voorstonden, Stibokakaart 1976 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

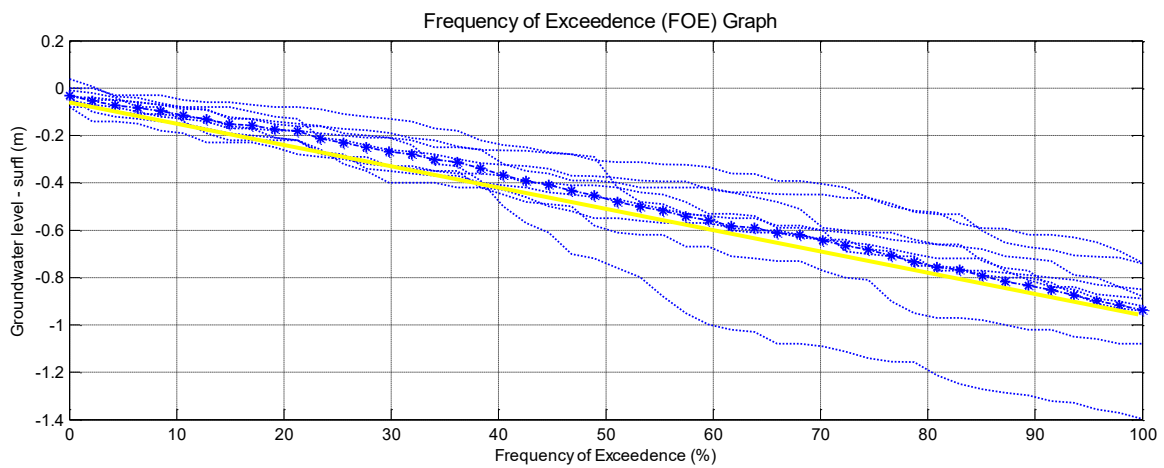
2.11.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

In het onderzoeksgebied Voorstonden zijn twee peilbuizen beschikbaar nabij de onderzoekslocaties. Peilbuis B33G1170 ligt in het oosten van het gebied op 7,08 m t.o.v. NAP., vlakbij een OBN onderzoekslocatie met “verdroogd *Alno-Padion*” (Figuur 134). De peilbuis duidt op een grondwatertrap III en meet in het bovenste filter een GLG van 0,88, een GHG van 0,09 en een GVG van 0,26 m -mv (periode 2010-2020). In de tijdstijghoogtelijn is te zien dat het diepe en ondiepe filter nagenoeg gelijk lopen: er is dus geen sprake van kwel noch wegzijging (Figuur 128). Het grondwater bereikt maar zeer zelden het maaiveld en is het effect van de droge zomers duidelijk te zien. De duurlijn heeft een vlakke tot licht bolle vorm, wat laat zien dat gedurende het jaar de netto aanvoer net iets groter is dan de afvoer (Figuur 129). De andere peilbuis, B33G1143, ligt min of meer in het midden van het gebied op 8,61 m t.o.v. NAP., nabij een OBN onderzoekslocatie met “verdroogd vochtig bos met bomen met zuur strooisel” (Figuur 134). Deze peilbuis duidt op een grondwatertrap VI en meet een GLG van 1,56, een GHG van 0,48 en een GVG van 0,63 m -mv

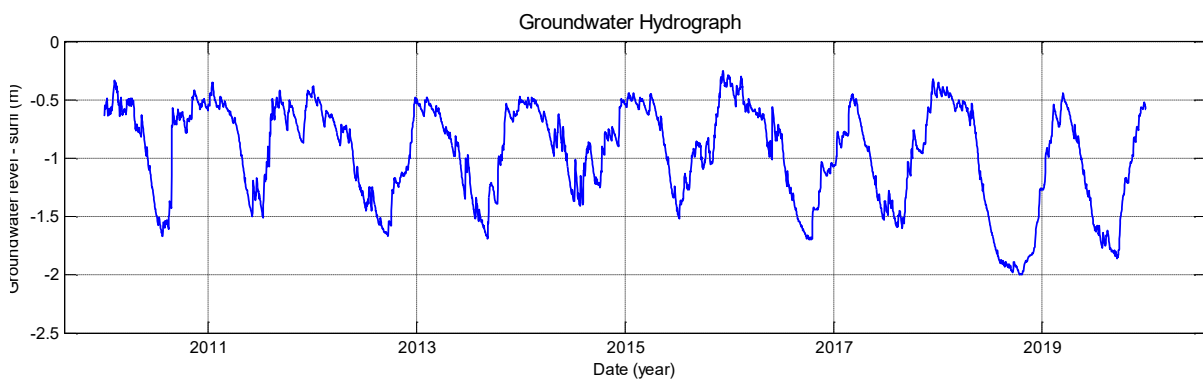
(periode 2010-2020). Hier bereikt het grondwater nooit het maaiveld en heeft de duurlijn eenzelfde vorm als B33G1170 (Figuur 131).



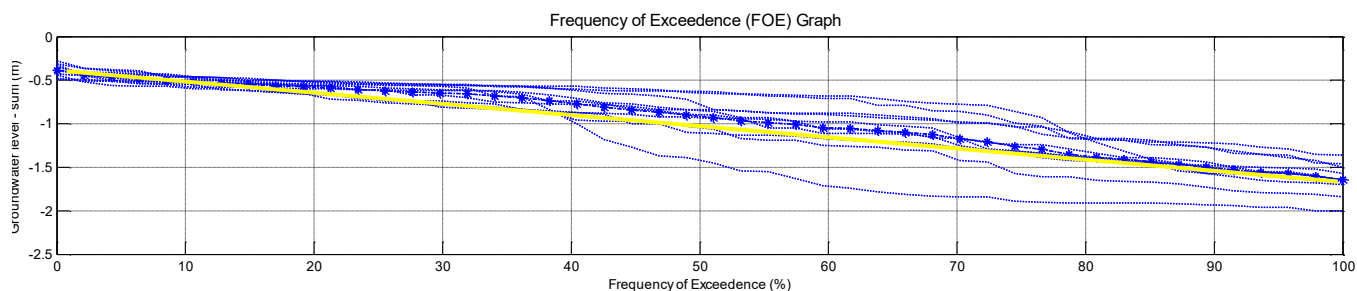
Figuur 128 Tijdstijghoogtelijn van 2010-2020 van peilbuis B33G1170 met een ondiep (blauw) en diep (groen) filter.



Figuur 129 Duurlijn van het ondiepe filter van peilbuis B33G1170 (2010-2020) met gele hulplijn.



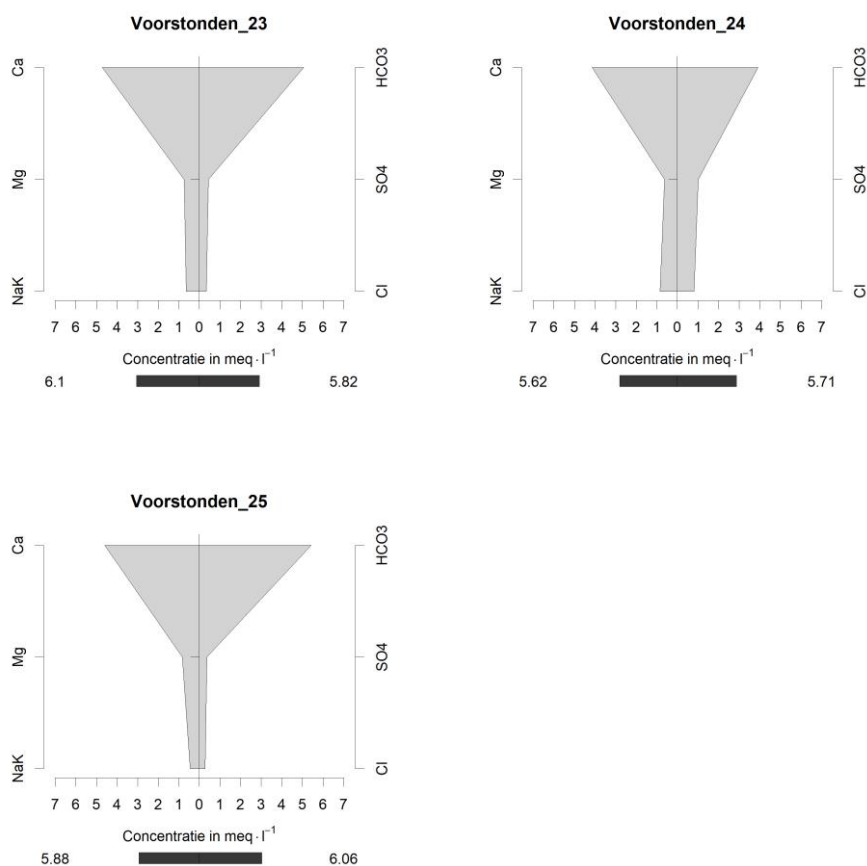
Figuur 130 Tijdstijghoogtelijn van peilbuis B33G1143.



Figuur 131 Duurlijn van peilbuis B33G1143 van 2010-2020 met gele hulplijn.

2.11.4.4 Waterkwaliteit

In Voorstonden zijn op drie locaties grondwatermonsters genomen en op alle locaties duiden de Stiffdiagrammen op (zeer) basenrijk grondwater (Figuur 132). Het grondwater is er echter niet met sulfaat verontreinigd, en evenmin met natrium en chloride en is dus niet geïnfiltrerd in landbouwgebied.

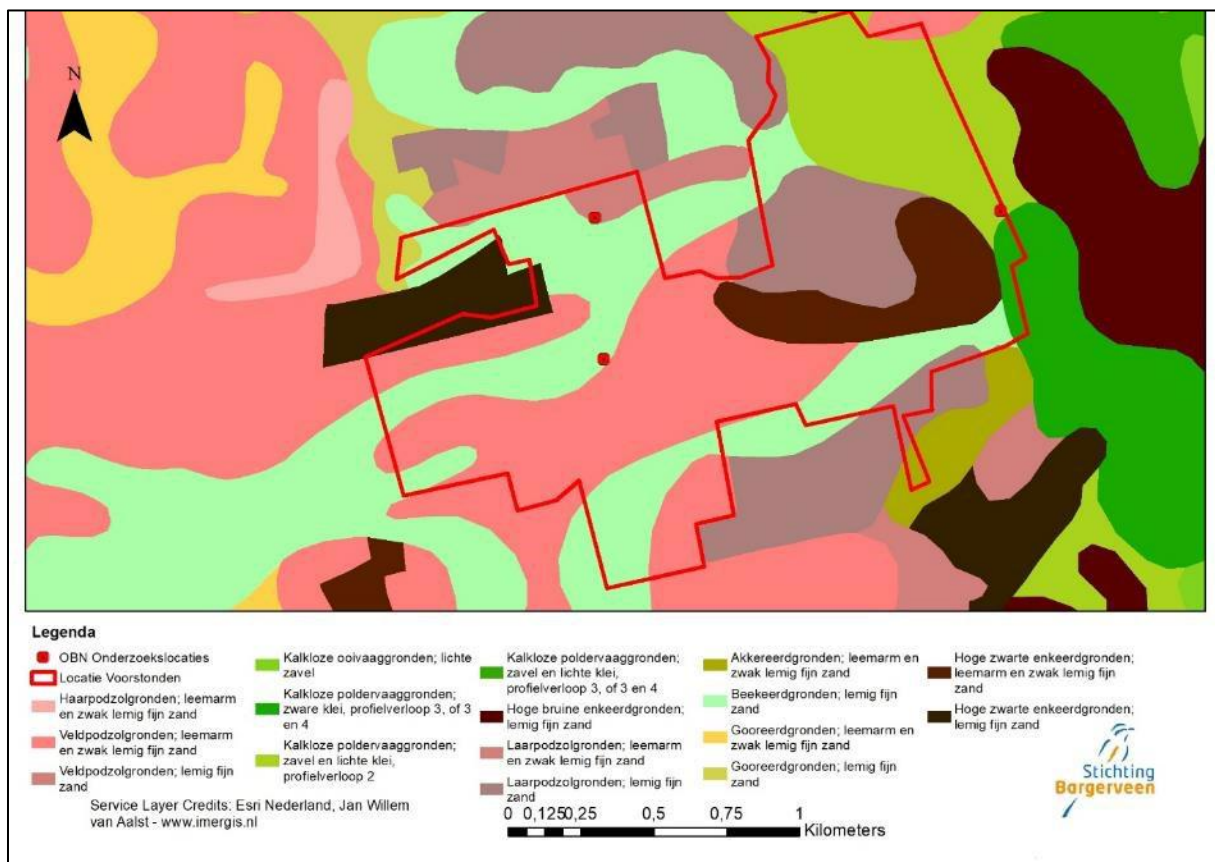


Figuur 132 Stiffdiagrammen Voorstonden.

2.11.5 Bodem

Op het landgoed Voorstonden zijn verschillende typen podzolgronden, vaaggronden en eerdgronden aanwezig. Op de 1:50.000 bodemkaart (Figuur 133) zijn dekzandruggen te zien die zich hebben ontwikkeld tot veldpodzolgronden. Hiertussen bevinden zich laagtes met beekkeerdgronden, waar voor de ontginningen waarschijnlijk moerassige laagtes aanwezig waren en grondwater uittrad (Bell & van 't

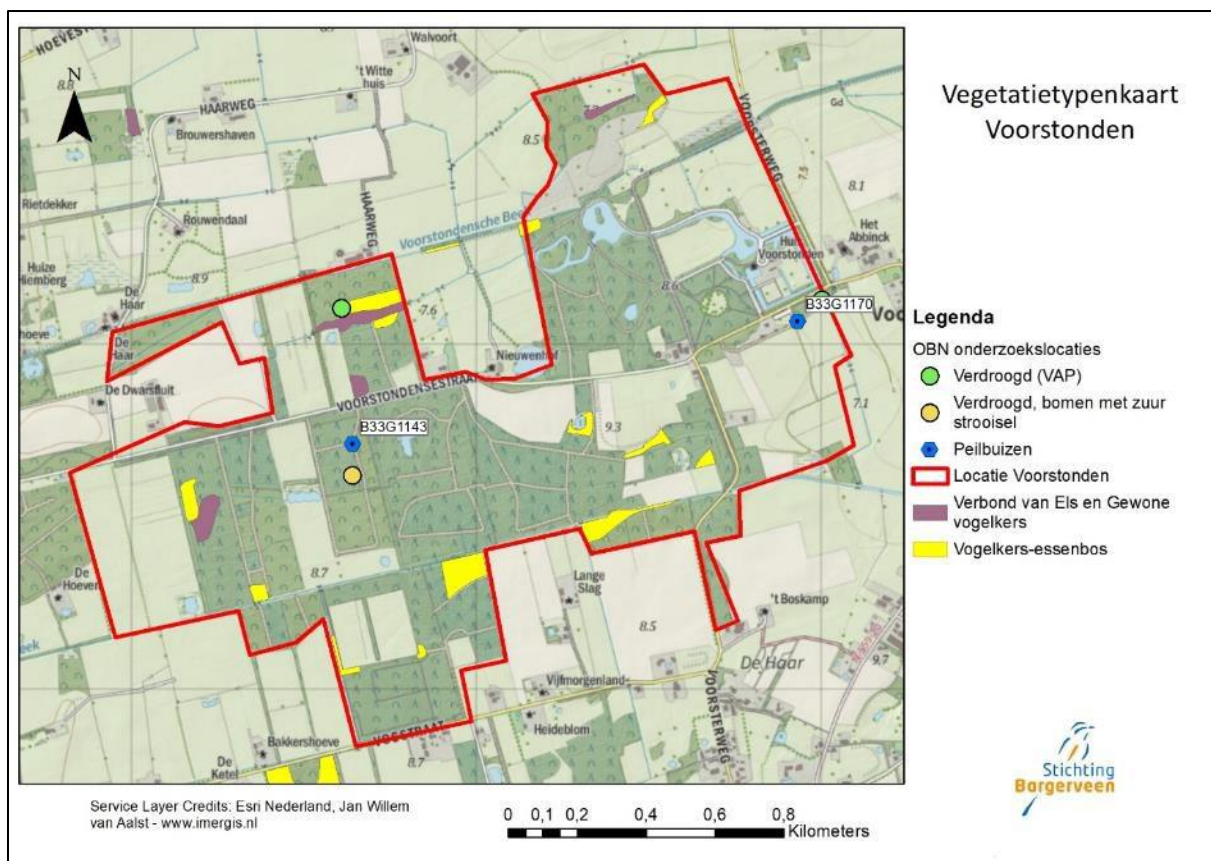
Hullenaar, 2015). De onderzoekslocaties bevinden zich op beekeerdgrond en op rivierafzettingen die omschreven zijn als poldervaaggrond met zavel en klei.



Figuur 133 1:50.000 bodemkaart van Voorstonden (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.11.6 Vegetatie en flora

Op landgoed Voorstonden kwam oorspronkelijk Vogelkers-Essenbos en elzenbroekbos voor in de slenken. Deze zijn in het verleden omgevormd tot een rabattenbos. Hierdoor is een deel veranderd in een droger bostype, vaak Eiken-Berkenbos, met diepe greppels. Vogelkers-Essenbos komt hierdoor op nog maar een paar plaatsen voor (Figuur 134). Door het aanleggen van rabatten en ontwatering van de omgeving is de hydrologische situatie verstoord, waardoor de standplaatsen verdroogd zijn en het basenrijke grondwater de wortelzone van de vegetatie niet meer bereikt, wat samen leidt tot verzuring en verzuiging. Desondanks zijn in de ondergroei nog diverse kenmerkende soorten van Vogelkers-Essenbos aanwezig (Provincie Gelderland, 2016).

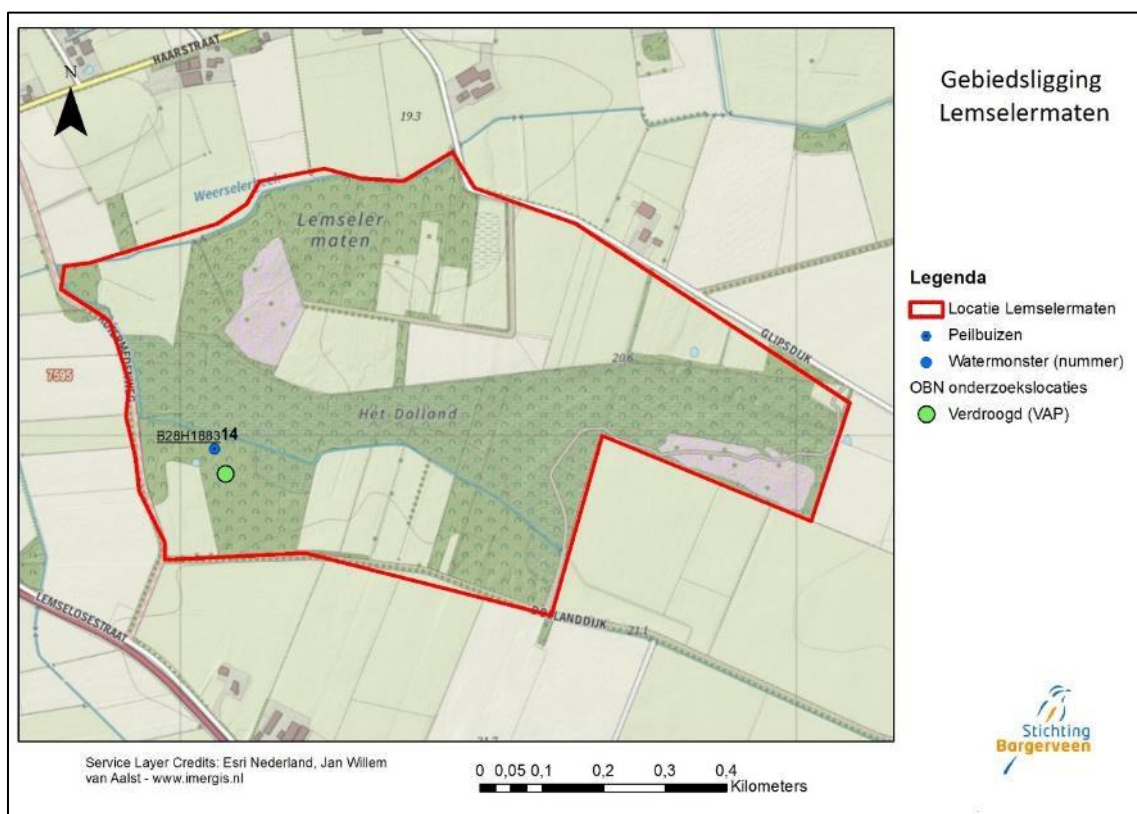


Figuur 134 Vegetatietypenkaart Voorstonden.

2.12 Lemselermaten

2.12.1 Algemeen

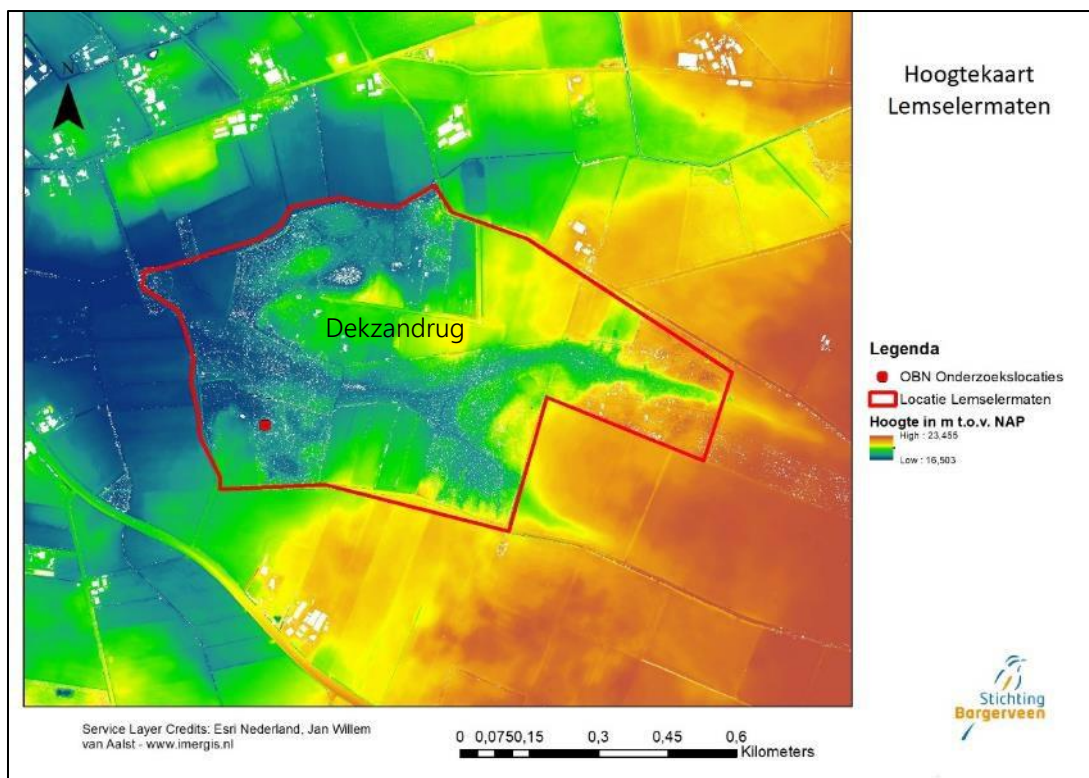
De Lemselermaten is een Natura 2000-gebied van circa 55 hectare en ligt ten zuidoosten van Weerselo, tussen de Weerselerbeek en de Dollandbeek (Figuur 135). Op de noordgrens van het gebied komen deze beken samen. In de beekdalen van beide beken zijn beekbegeleidende bossen aanwezig die spontaan zijn ontstaan op verlaten graslanden in de jaren '40 en '50 (Provincie Overijssel, 2016). Het gebied is grotendeels in eigendom van Staatsbosbeheer. In het gebied is een OBN onderzoekslocatie "verdroogd *Alno-Padion*" aanwezig.



Figuur 135 Gebiedsligging Lemselermaten met OBN onderzoekslocaties, waar vlakbij ook een grondwatermonster genomen is (3).

2.12.2 Reliëf

Het natuurgebied Lemselermaten bevindt zich in een beekdalsysteem op de flank van de stuwwal van Oldenzaal (Figuur 136). Het maaiveldverloop helt in westelijke richting en loopt binnen het gebied van 23 m +NAP tot 17 m +NAP af. In het centrale deel van het gebied is het maaiveld relatief hoog door een dekzandrug.

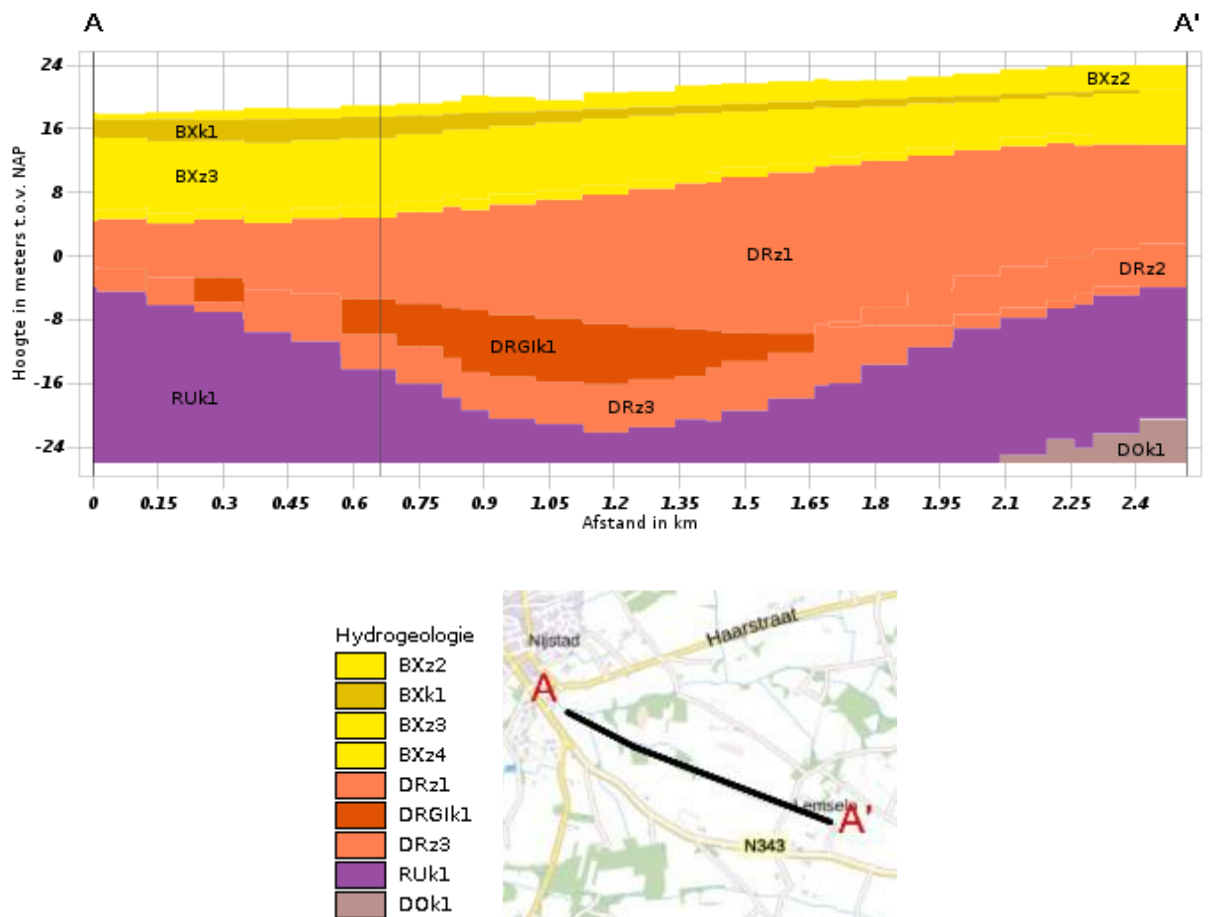


Figuur 136 Hoogtekaart Lemselermaten (AHN3, 2021).

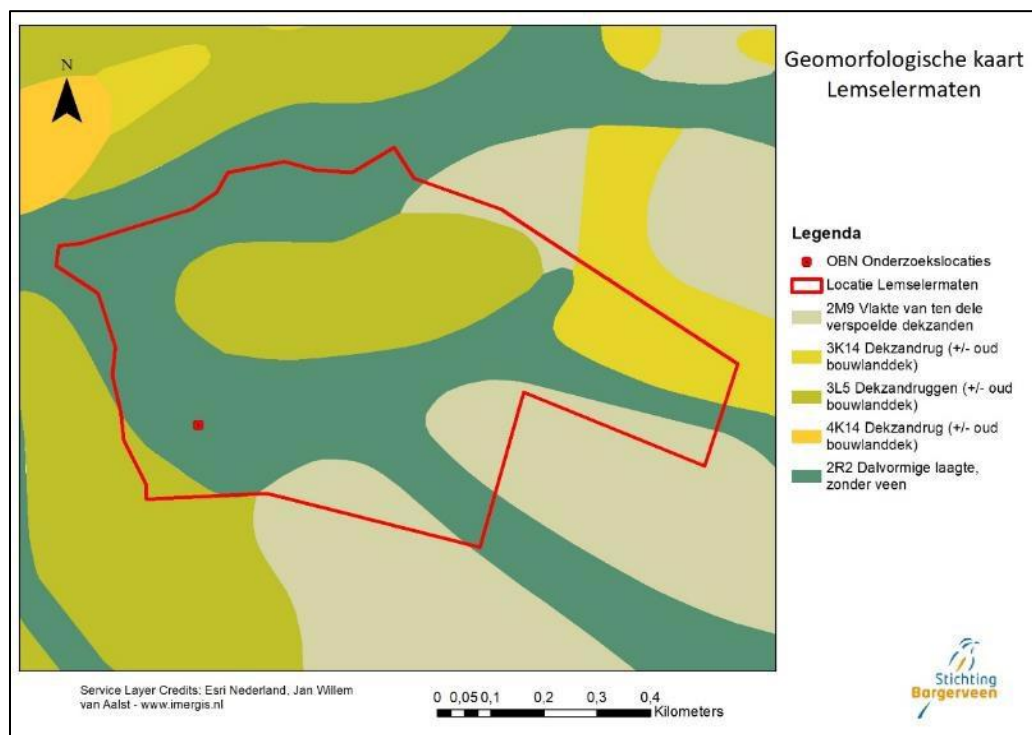
2.12.3 Geologie & geomorfologie

Het bovenste gedeelte bestaat uit de Formatie van Boxtel (BX) (Figuur 137). Deze laag begint met een dunne laag dekzand met hieronder matig fijn- tot grofzandige fluvioperiglaciale afzettingen. Deze afzettingen bestaan ter plaatse van Lemselermaten uit een afwisseling van lagen klei, leem, sterk siltig fijn zand en matig fijn en matig grof zand. Hierdoor is lokaal sprake van een weerstandbiedende laag, maar deze kan erg variëren in dikte en weerstand (Provincie Overijssel, 2017). Hieronder ligt een pakket van matig fijn- tot matig grofzandig lacustroglaciale afzettingen (Formatie van Drenthe, DRz1). In deze afzetting is een grondmorene aanwezig, bestaande uit keileem (Laagpakket van Gieten, Formatie van Drenthe, DRG1k1). Deze keileem bevindt zich circa 25 m –mv. De keileemlaag vormt een weerstandbiedende laag, al kan deze lokaal zandig ontwikkeld zijn of gaten bevatten. De hydrologische basis van het gebied bestaat uit dikke pakketten van tertiaire kleien (Formatie van Ruppel en Formatie van Dongen, RUK1 en DOK1). Het systeem kan als één watervoerend pakket worden beschouwd, aangezien er geen gesloten slechtdoorlatende lagen aanwezig zijn. Volgens veldonderzoek is de bodem binnen 1-2 m kalkrijk en blijkt ook de bovenste kleilaag/kleiige leemlaag kalkrijk (Bell & van 't Hullenaar, 2015).

Geomorfologisch bestaat een groot deel van het onderzoeksgebied uit de eenheid "Dalvormige laagte, zonder veen". Hieromheen liggen dekzandruggen (Figuur 138) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 137 Hydrogeologische doorsnede van Lemselermaten met het REGISII model (Dinoloket, 2021).



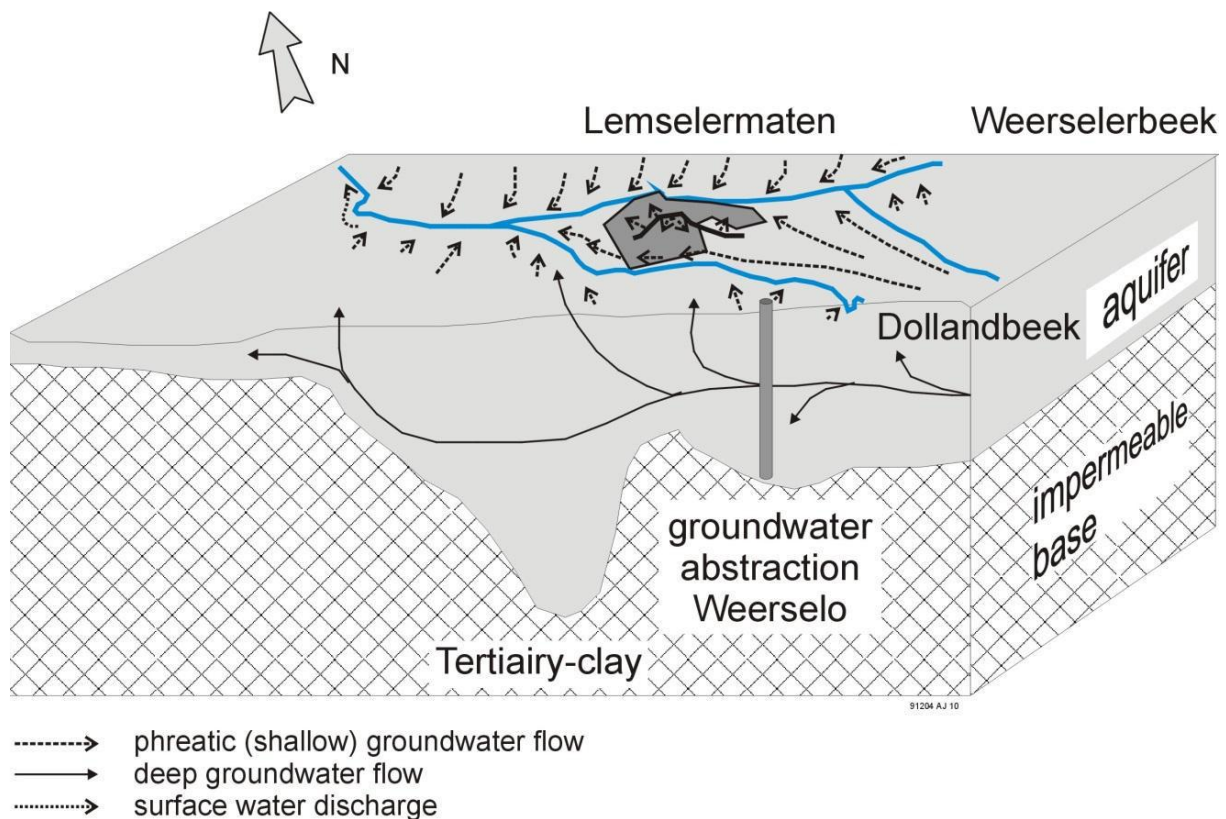
Figuur 138 Geomorfologische kaart Lemselermaten (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.12.4 Hydrologie

2.12.4.1 Hydrologisch systeem

De Lemselermaten bevindt zich in een beekdal en ontvangt grondwater uit een relatief groot hydrologisch systeem: de infiltratiegebieden kunnen kilometers verder weg liggen. Het grondwater stroomt vanuit oostelijke richting. De diepte van de hydrologische basis (de tertiaire kleien) varieert sterk en de dikte van het watervoerend pakket is dus variabel. Bij de Lemselermaten wordt het watervoerend pakket veel dunner, waardoor het grondwater wordt gedwongen naar boven te stromen en basenrijk grondwater in maaiveld kan uittreden (Figuur 139). Echter, een groot deel van dit grondwater wordt afgevangen door verdiepte beken en in mindere mate door de grondwaterwinning in Weerselo (Provincie Overijssel, 2016; Jansen, 1993). Naast dit regionale systeem is er een lokaal grondwatersysteem aanwezig, waarbij minder basenrijk grondwater uittreedt. De zandruggen in het centrum en in het oosten van de Lemselermaten functioneren daarbij als inziggebied (Provincie Overijssel, 2016).

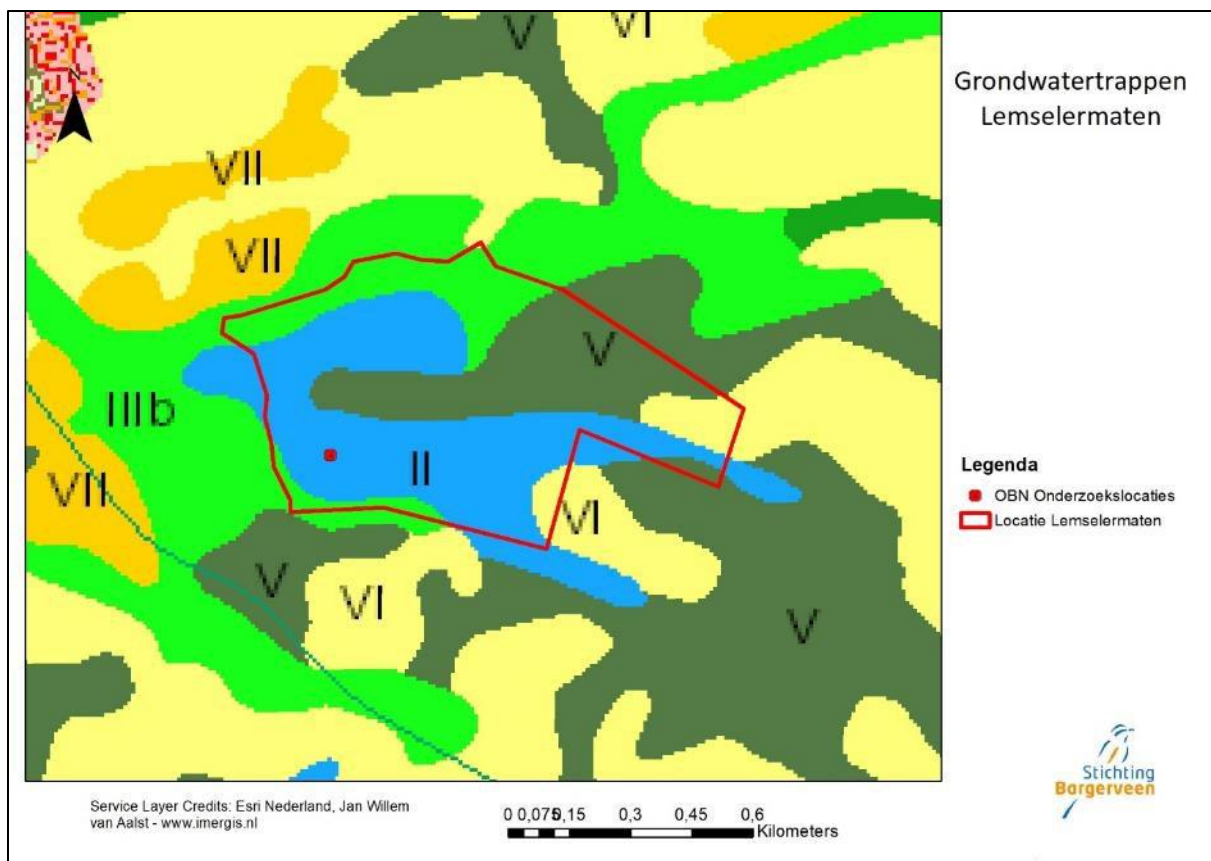
De waterlopen in het gebied zijn niet natuurlijk: oorspronkelijk bestaat het gebied uit afvoerloze kommen waar de beken doorheen zijn gegraven.



Figuur 139 Schematische weergave grondwatersysteem Lemselermaten (Jansen, 1993).

2.12.4.2 Grondwatertrappen

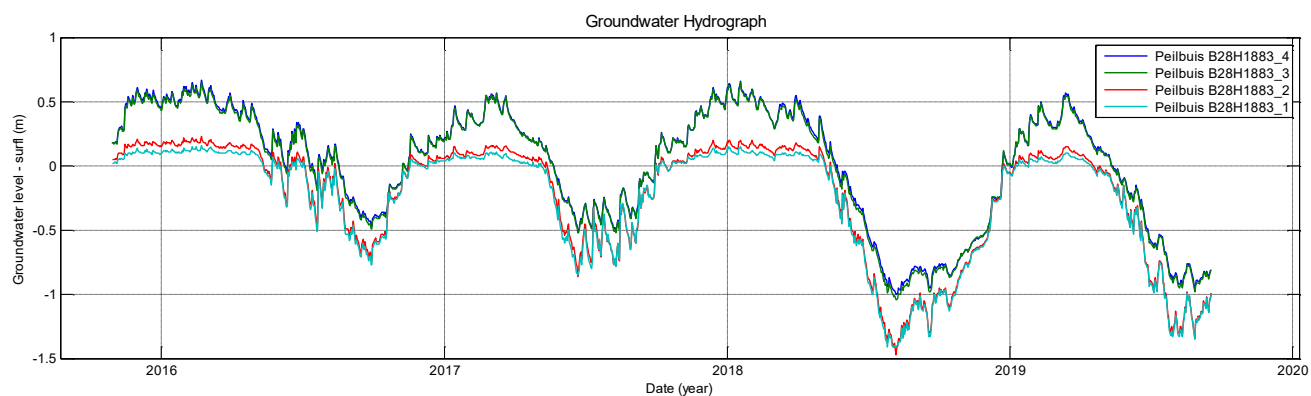
Het gebied bestaat voor het grootste gedeelte uit grondwatertrap II, een klein deel grondwatertrap III en de hogere rug is grondwatertrap V aanwezig (Figuur 140).



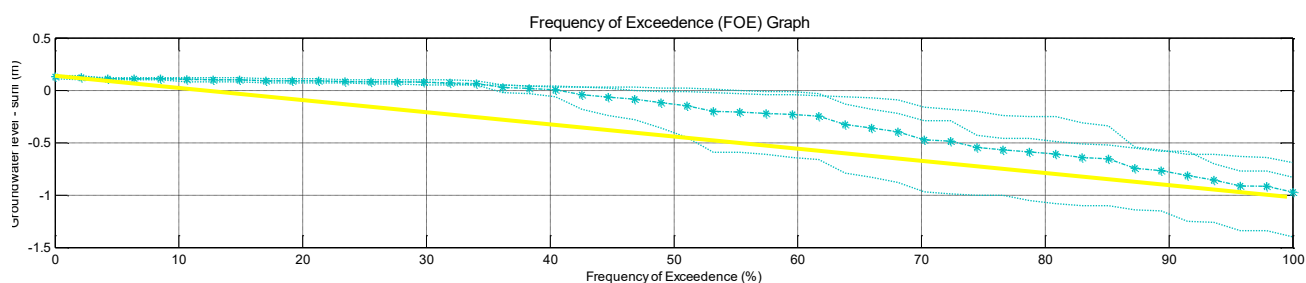
Figuur 140 Grondwatertrappen Lemselermaten, Stibokakaart 1989 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.12.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

De dichtstbijzijnde peilbuis bij de OBN onderzoekslocatie is peilbuis B28H1883 op 18,63 m t.o.v. NAP (Figuur 145). Deze peilbuis bevat vier filters op verschillende dieptes. De diepere filters hebben duidelijk een hogere stijghoogte (Figuur 141), wat duidt op een sterke kweldruk. De bolle duurlijn geeft eenzelfde beeld (Figuur 142). Het bovenste filter duidt op grondwatertrap III en een GLG van 0,83 -mv, een GHG van 0,11 en een GVG van 0,08 m +mv (2016-2020). Alleen staat deze peilbuis niet exact in het verdroogde Vogelkers-Essenbos op 19,22 m t.o.v. NAP, maar in een lager gedeelte circa 40 meter richting de beek. Dit kleine verschil in afstand kan een groot verschil zijn op de plaats op de gradiënt en waarschijnlijk zijn de hydrologische omstandigheden ter plaatse van het Vogelkers-Essenbos minder gunstig.



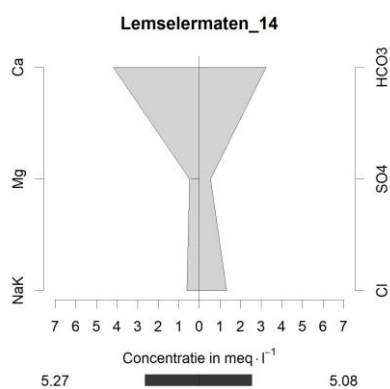
Figuur 141 Tijdstijghoogtelijnen van peilbuis B28H1883 met filters op 4 verschillende dieptes.



Figuur 142 Duurlijn van het bovenste filter van peilbuis B28H1883 (2016-2019) met een gele hulplijn.

2.12.4.4 Waterkwaliteit

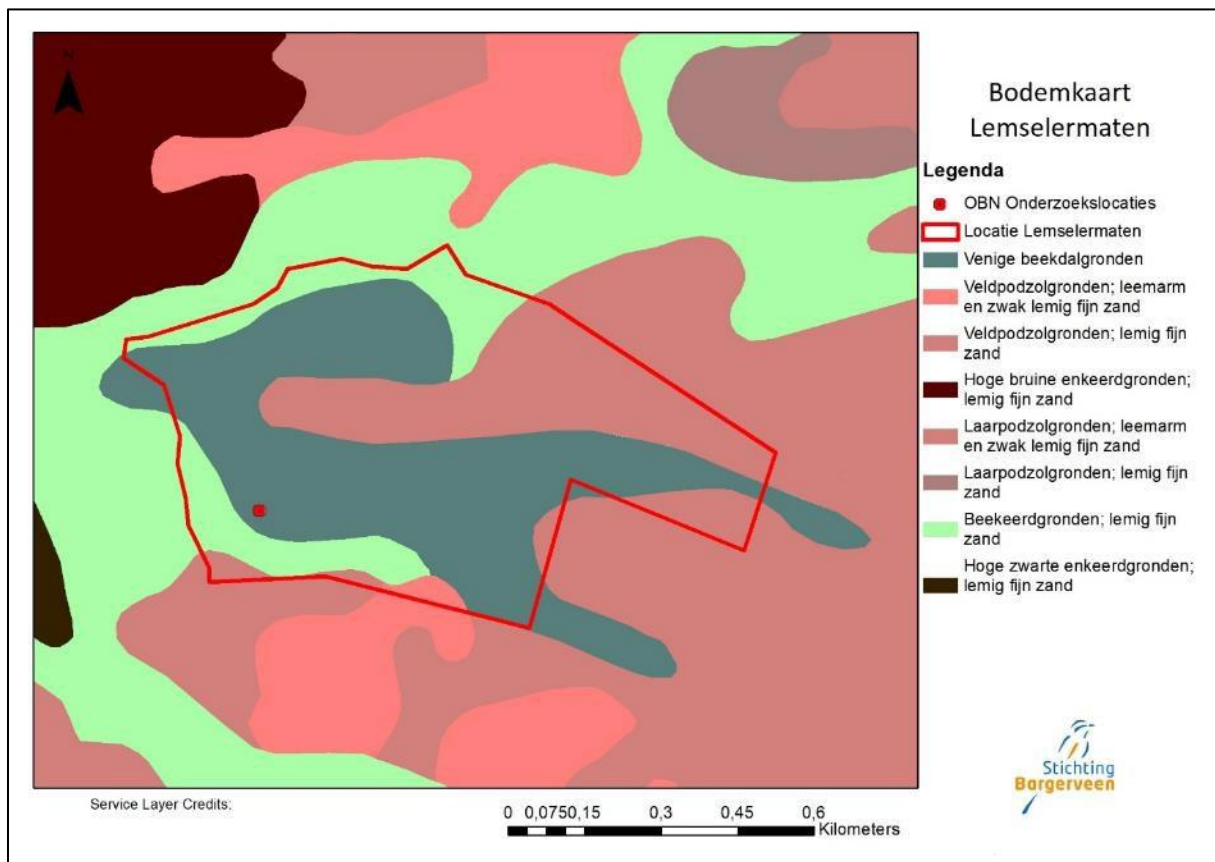
In de Lemselermaten is een grondwatermonster genomen uit peilbuis B28H1883. Het bijbehorende Stiffdiagram en duidt op basenrijk grondwater (Figuur 143).



Figuur 143 Stiffdiagram Lemselermaten.

2.12.5 Bodem

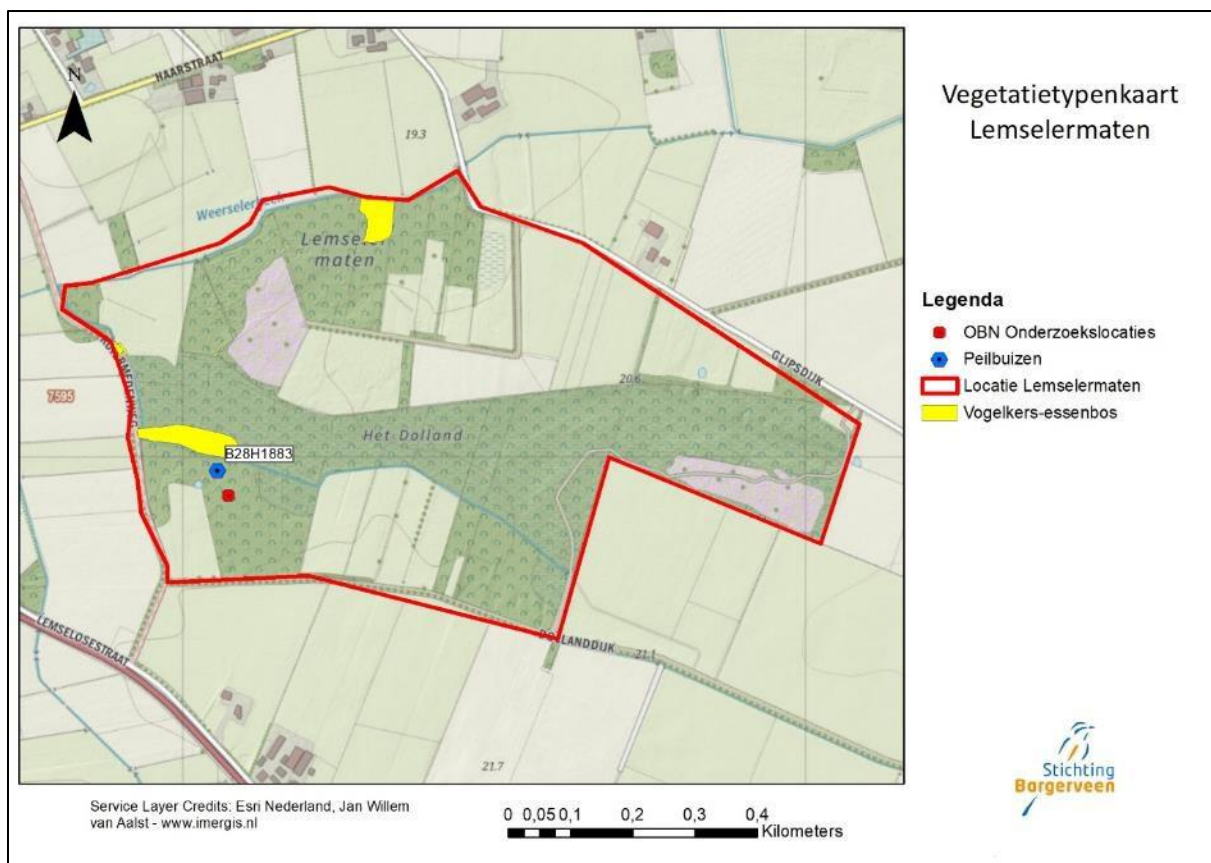
Volgens de 1:50.000 bodemkaart bevinden zich binnen het gebied in de beekdalen voornamelijk venige beekdalgronden. Verder zijn er lemige, fijnzandige beekerdgronden aanwezig. Op de dekzandrug hebben zich lemige, fijnzandige veldpodzolgronden ontwikkeld (Figuur 144).



Figuur 144 1:50.000 bodemkaart van Lemselermaten (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.12.6 Vegetatie en flora

In de beekdalen van de Lemselermaten komen beekbegeleidende bossen voor van matig tot goede kwaliteit (Natura 2000 habitattypen H91E0C). Deze beslaan 1,58 hectare. Het habitattypen is afhankelijk van basenrijk grondwater en zijn in kwaliteit achteruit gegaan door verzuring en eutrofiering (Provincie Overijssel, 2016). Een groot gedeelte van het bos in de Lemselermaten bestaat uit Elzenbroekbos en verdroogd Elzenbroekbos. Volgens de vegetatiekartering is er 0,8 hectare Vogelkers-Essenbos aanwezig (Figuur 145). Van nature is er geen Vogelkers-Essenbos aanwezig in de Lemselermaten, maar groeit op plaatsen waar het originele Elzenbroekbos is verdroogd. Het Vogelkers-Essenbos komt met name voor langs de gegraven Dollardbeek. Langs deze beek zijn oeverwalletjes ontstaan, waarop het Vogelkers-Essenbos voorkomt.

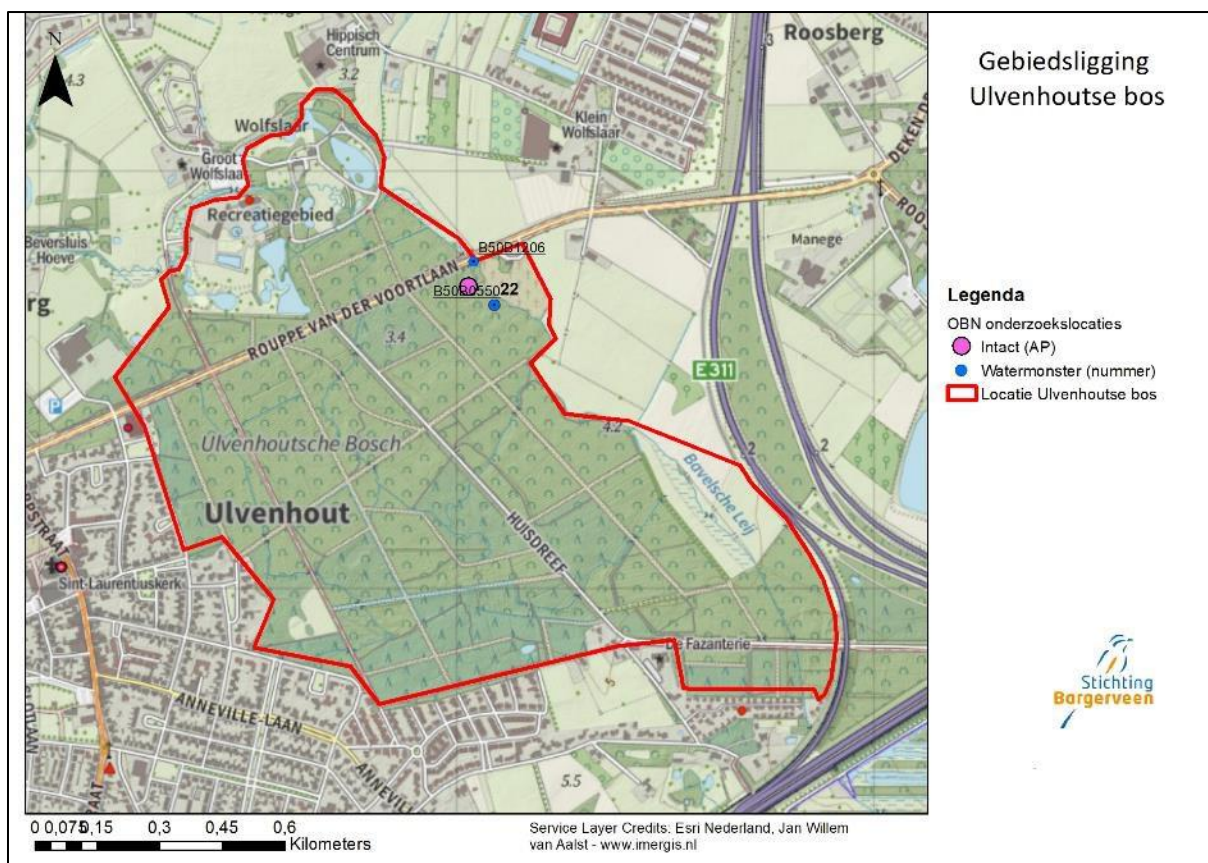


Figuur 145 Vegetatietypenkaart Lemselermaten.

2.13 Ulvenhoutse bos

2.13.1 Algemeen

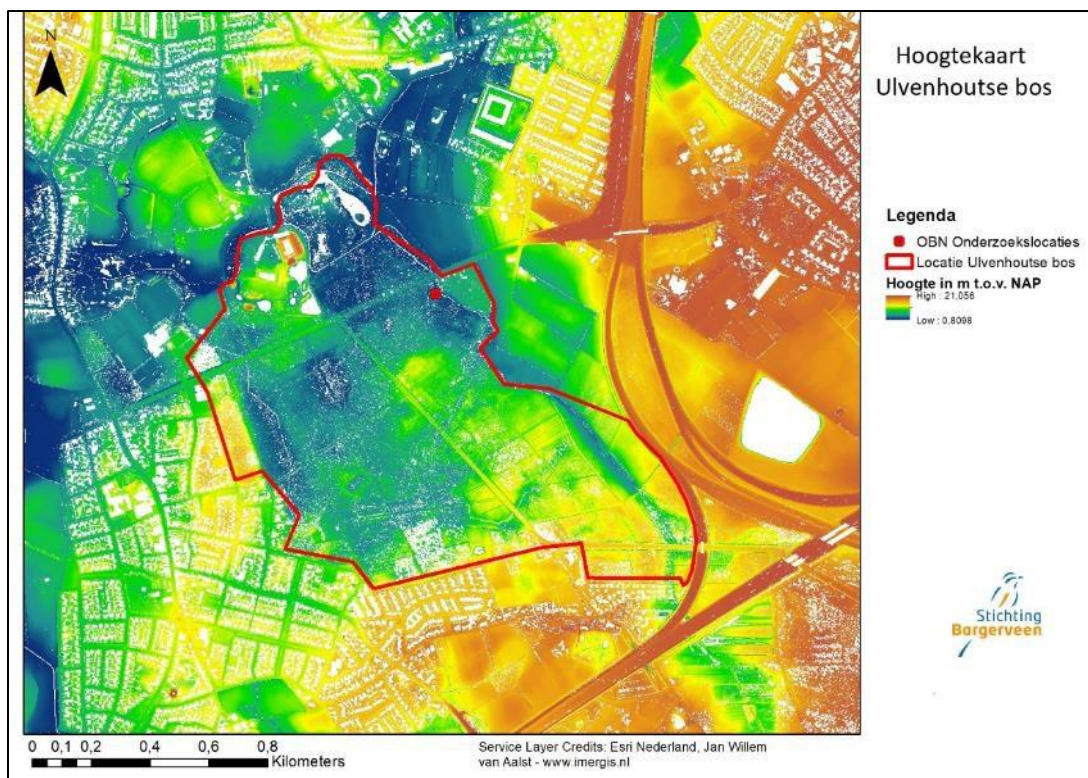
Het Ulvenhoutse bos, aangrenzend aan de oostkant van Ulvenhout, is een Natura 2000-gebied van circa 112 hectare en in het bezit van Staatsbosbeheer. Het gebied omvat een van de oudste bossen van Nederland. Door de variatie in bodem, voedselrijkdom en waterregime zijn er verschillende bostypen aanwezig. In het gebied ligt een onderzoekslocatie die bestaat uit "intact *Alno-Padion*" (Figuur 146).



Figuur 146 Gebiedsligging Ulvenhoutse bos met OBN onderzoekslocatie en peilbuislocaties, waar ook een grondwatermonster genomen is (22).

2.13.2 Reliëf

Regionaal gezien bevindt het Ulvenhoutse bos zich aan de noordflank van het West-Brabants Plateau. Het gebied ligt in een laagte en hier varieert het maaiveldniveau van 2,5 m +NAP in de laagste gedeelten tot circa 6 m +NAP aan de hogere randen (Figuur 147; Figuur 146) (Provincie Noord-Brabant, 2016).

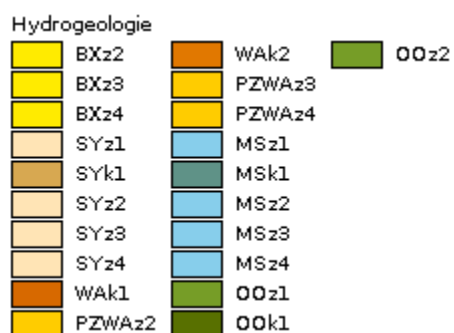
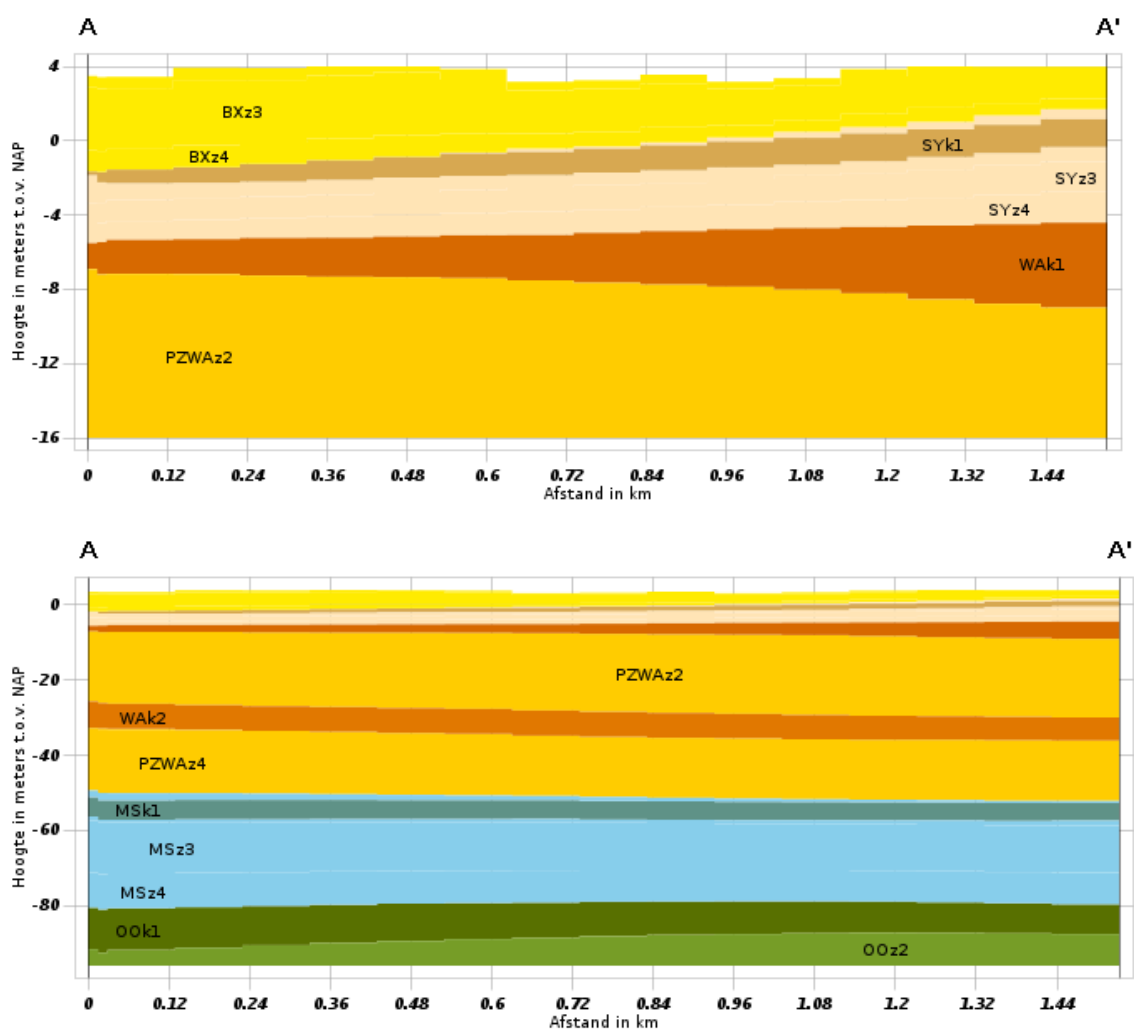


Figuur 147 Hoogtekaart Ulvenhoutse bos (AHN3, 2021).

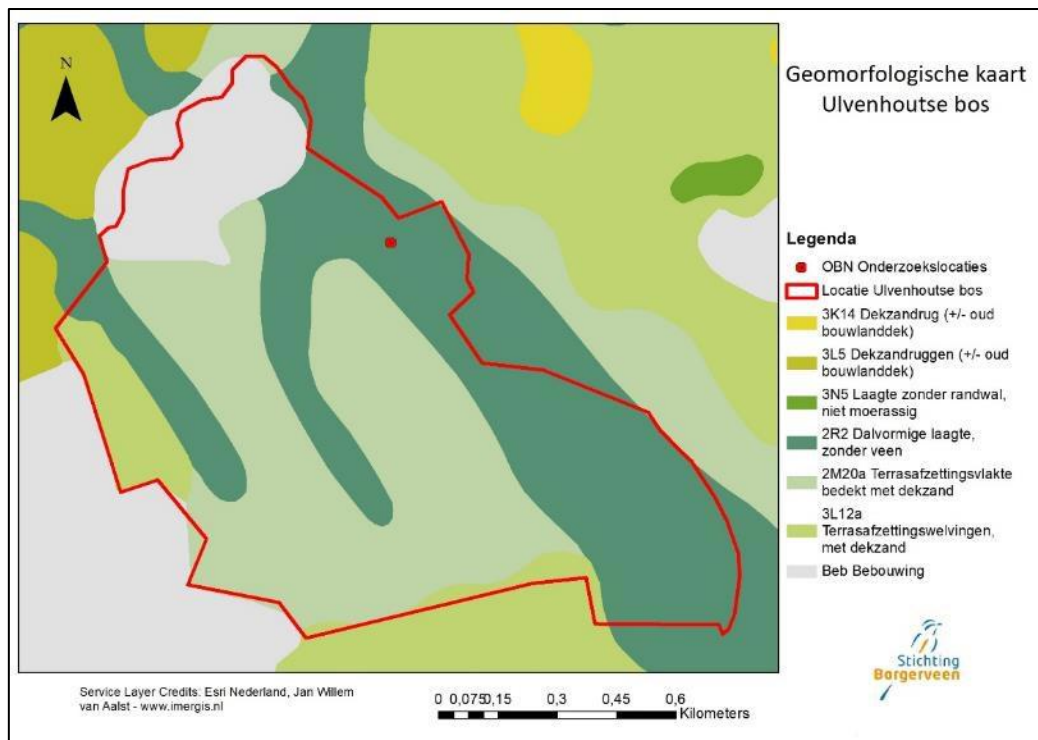
2.13.3 Geologie en geomorfologie

Aan het oppervlakte bevindt zich een deklaag die bestaat uit een afwisseling van zand- en leemlagen (Formatie van Boxtel, BXz). De eerste slechtdoorlatende laag bevindt zich tussen circa 2,5 m tot 0 +NAP en is circa 2 m dik (Formatie van Stamproy, (SYk1)). Hieronder bevindt zich een dun watervoerend pakket van 4-5 m dik (Formatie van Stamproy, SYz). Daaronder ligt een dikke kleilaag (Formatie van Waarle, eerste kleiige eenheid, WAK1), gevolgd door verschillende dikke zand- en kleilagen van de Formaties van Peize (PZWAz) en Waarle (WAK) en vervolgens van de Formaties van Maasluis (MSk en MSz), Oosterhout (Ook, OOz) en Breda (niet weergegeven op de doorsnede) (REGIS II, Dinoloket, 2021).

Geomorfologisch bevindt het Ulvenhoutse bos zich op de overgang van het hoge zandlandschap naar het lage rivierenlandschap. Een deel van het bos heeft het karakter van een komvormige laagte en wordt omgeven door hogere gronden (Figuur 148) (Basisregister Ondergrond, 2021).



Figuur 148 Hydrogeologische doorsnede van het Ulvenhoutse bos met het REGISII model (Dinoloket, 2021).

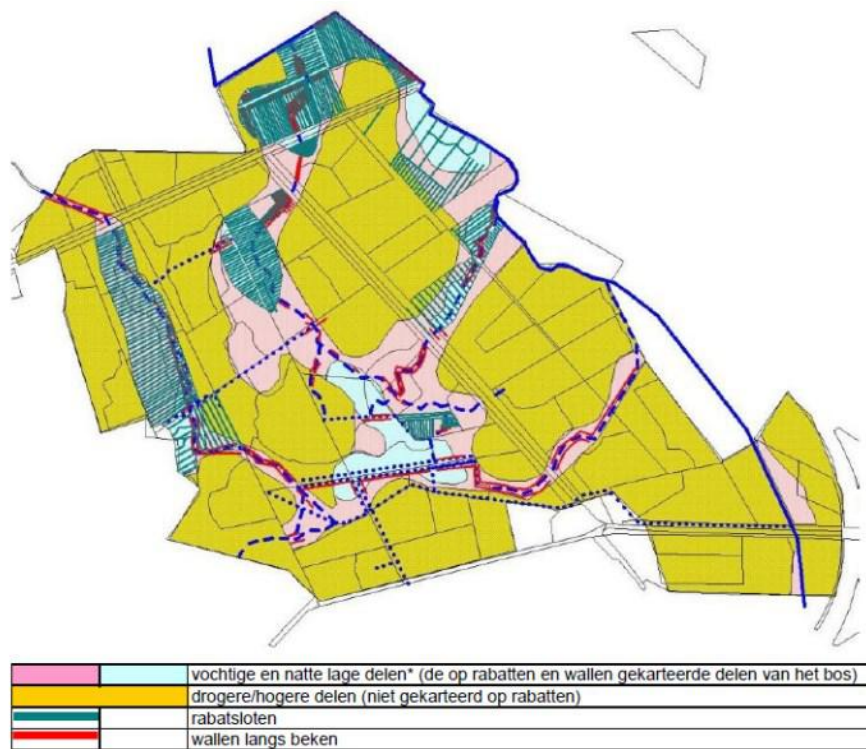


Figuur 149 Gemorfologische kaart Ulvenhoutse bos (Basisregister Ondergrond, 2021).

2.13.4 Hydrologie

2.13.4.1 Hydrologisch systeem

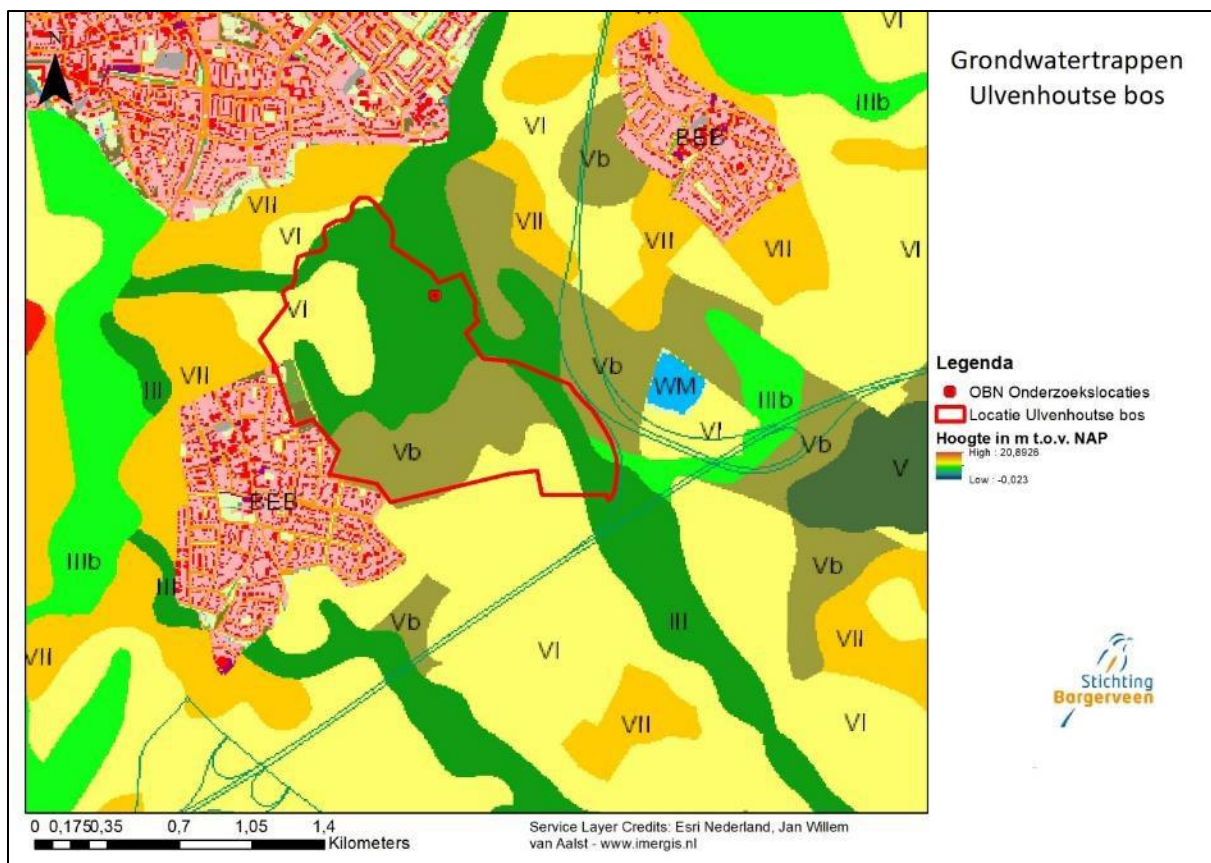
Het Ulvenhoutse bos ligt in een kom, met hierin kleine beekdalletjes en afvoerloze laagtes (Figuur 150). Het aanwezige grondwatersysteem is een lokaal systeem en wordt sterk beïnvloed door de ondiepe leemlagen. Bovendien ligt het systeem als geheel op een kleilaag op circa 10 m diepte. Water infiltreert in de hogere dekzandruggen tussen de waterlopen en stroomt over de ondiepe slecht doorlatende lagen naar de lagere delen. Het infiltratiegebied ligt voornamelijk op de hogere gronden, onder de nieuwe woonwijk van Ulvenhout. Het is niet bekend of basenrijk grondwater uit het eerste watervoerend pakket invloed heeft op het Ulvenhoutse bos. Er is een afwateringsstelsel aanwezig die bestaat uit rabatten, greppels, sloten en beeklopen. De belangrijkste beekloop door het gebied is de Bavelse Leij (Provincie Noord-Brabant, 2016).



Figuur 150 Oppervlaktewatersysteem van het Ulvenhoutse bos (Provincie Noord-Brabant, 2016).

2.13.4.2 Grondwatertrappen

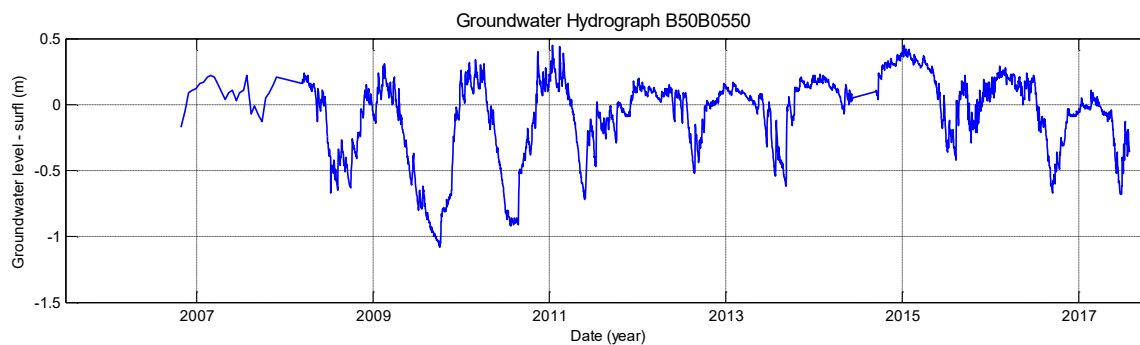
Binnen het Ulvenhoutse bos komen verschillende grondwatertrappen voor. Het grootste gedeelte bestaat uit grondwatertrap III. Daarnaast is grondwatertrap VI aanwezig in het westen en zuiden van het gebied en grondwatertrap Vb in het zuiden van het gebied (Figuur 151).



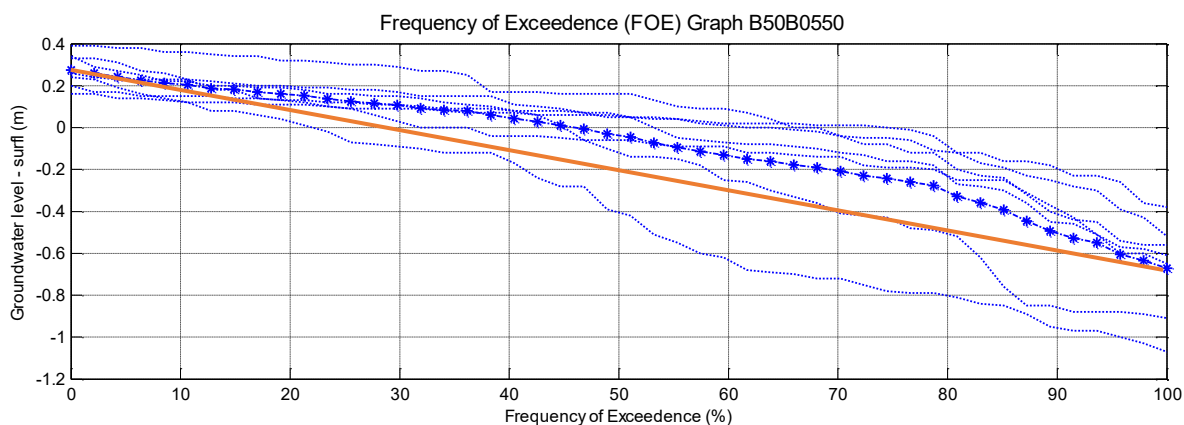
Figuur 151 Grondwatertrappenkaart Ulvenhoutse bos, Stibokakaart 1964 (Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021).

2.13.4.3 Tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen

In het onderzoeksgebied ligt peilbuis B50B0550 vlakbij de OBN onderzoekslocatie op 2,70 m t.o.v. NAP en ligt in een gedeelte dat is gekarteerd als habitattypen alluviale bossen (Figuur 157). Deze locatie heeft een GLG 0,56 en GVG 0,01 m -mv en een GHG van 0,23m +mv, met een grondwatertrap van II (2007-2017) (Figuur 152). De gemiddelde duurlijn heeft een bolle vorm, wat betekent dat de netto aanvoer van grondwater groter is dan de netto afvoer.



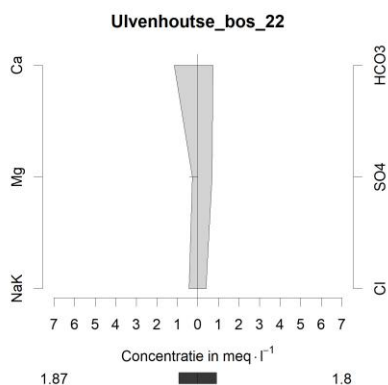
Figuur 152 Tijdstijghoogtelijn peilbuis B50B0550.



Figuur 153 Duurlijnen jaren 2007-2017 en gemiddelde duurlijn voor peilbuis B50B0550, met oranje hulplijn.

2.13.4.4 Waterkwaliteit

In het Ulvenhoutse bos is op een locatie een grondwatermonster genomen. Deze Stiffdiagram heeft een klein aambeeld (Figuur 154), wat duidt op matig basenrijk grondwater.



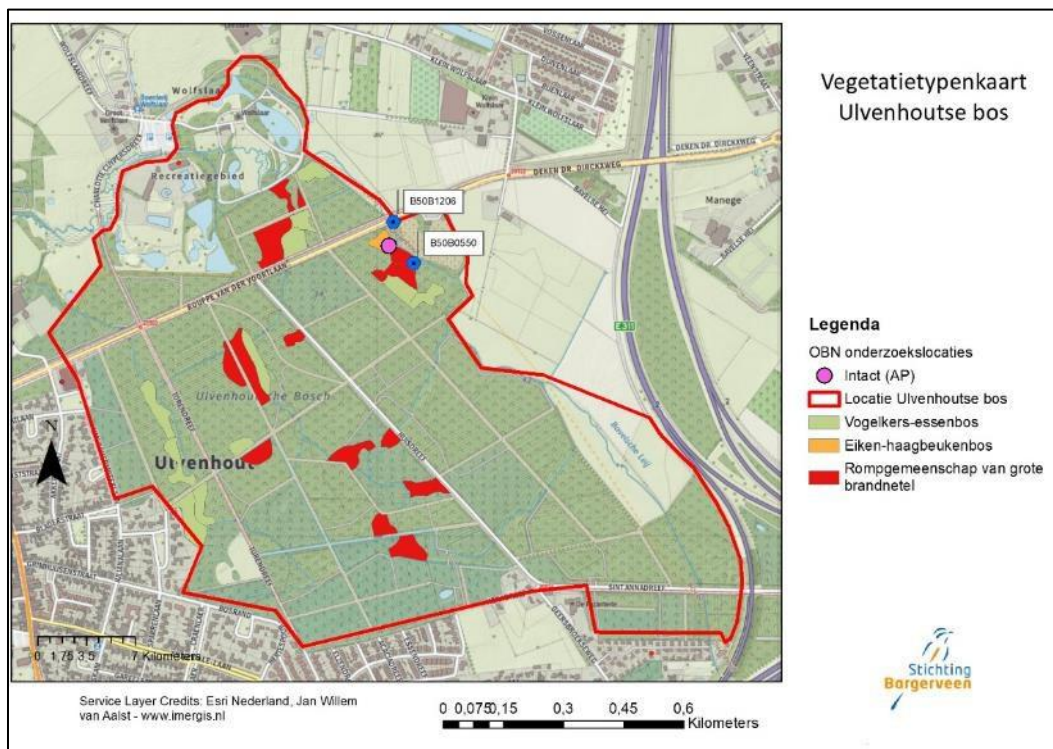
Figuur 154 Stiffdiagram Ulvenhoutse bos.

2.13.5 Bodem

Volgens de 1:10.000 bodemkaart bestaat een groot gedeelte van het Ulvenhoutse bos uit beekgronden (leemarm en zwak lemig fijn zand) en gooreerdgronden (lemig fijn zand). In hogere delen, aan de rand van het gebied, komen veldpodzolgronden voor (Figuur 155). Op de meest natte delen zijn broekgronden en veengronden aanwezig. Op veel plaatsen in het gebied komt leem voor in de bodem, variërend in dikte van enkele decimeters tot meer dan een meter (Figuur 156) (Provincie Noord-Brabant, 2016).

2.13.6 Vegetatie en flora

In het Ulvenhoutse bos komt Eiken-Haagbeukenbos en Vogelkers-Essenbos voor. Het Eiken-Haagbeukenbos bestaan grotendeels uit de subassociatie met Witte klaverzuring en hebben een oppervlakte van 6,3 hectare, waarvan 5,7 hectare van goede kwaliteit (Provincie Noord-Brabant, 2016). Echter vertoont het oppervlak en de kwaliteit een negatieve trend. De abundantie van de typische soorten zoals Eenbes (*Paris quadrifolia*), Donkersporig bosviooltje (*Viola reichenbachiana*) en Lievevrouwenbedstro (*Galium odoratum*) is afgenomen. Volgens het Natura 2000-beheerplan is er 4,7 hectare alluviale bossen aanwezig, waarvan 4,1 hectare van goede kwaliteit (Figuur 157). Hiervan is volgens het rapport het merendeel Vogelkers-Essenbos en de rest Elzenbroekbos. Echter gaan de kenmerkende soorten achteruit, zoals Witte rapunzel (*Phyteuma spicatum subsp. Spicatum*) en Knikkend nagelkruid (*Geum rivale*). Verder bestaat een groot gedeelte van het bos (circa 30 ha) uit Beuken-Eikenbossen. Deze bossen staan op de hogere gronden, waar geen grondwaterinvloed is. Daarnaast zijn deze bossen ook aangeplant op gronden die voorheen te nat waren voor dit bostype, maar door ontwatering geschikt zijn geworden (Provincie Noord-Brabant, 2016).

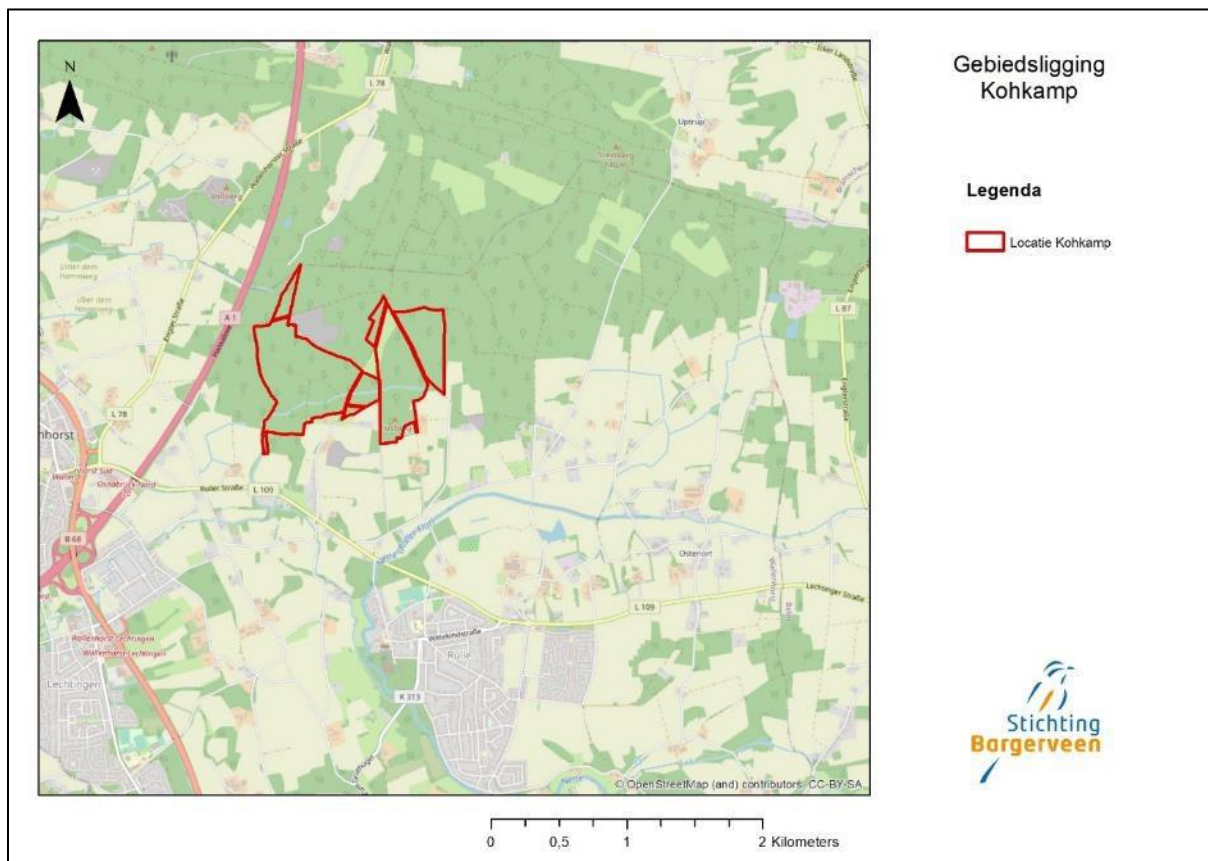


Figuur 157 Vegetatietypenkaart Ulvenhoutse bos.

2.14 Kohkamp

2.14.1 Algemeen

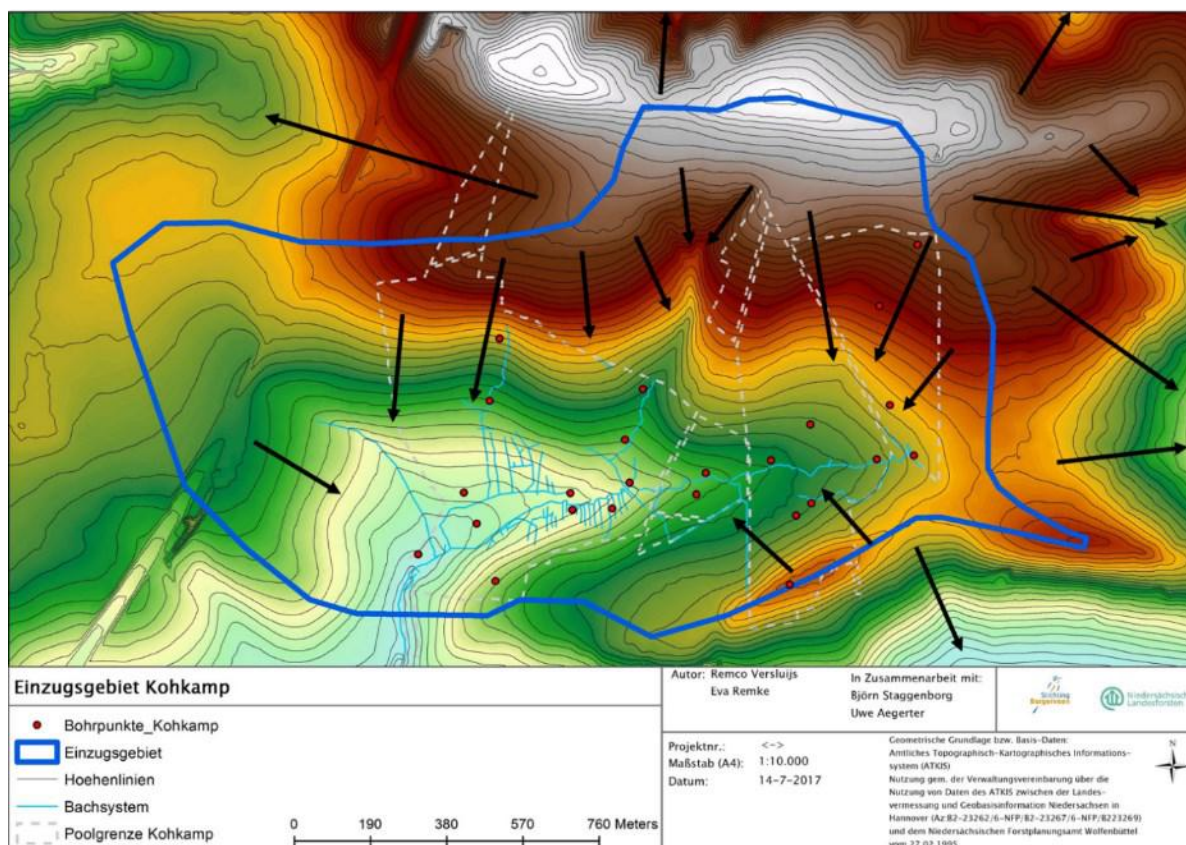
Kohkamp is een natuurgebied in eigendom van de Niedersaksische Landesforeste en ligt bij Wallenhorst, 10 km ten noorden van Osnabrück (Figuur 158). Het gebied is circa 80 hectare groot en ligt in een smeltwatergeul met zijdalen. In het gebied is Vogelkers-Essenbos en Eiken-Haagbeukenbos aanwezig.



Figuur 158 Gebiedsligging Kohkamp.

2.14.2 Reliëf

De Kohkamp ligt in een smeltwatergeul op de zuidflank van het Wiehengebergte. Binnen het gebied loopt het maaiveld van de hogere delen in het noorden af naar het dal in het zuiden. Binnen het gebied is het hoogteverschil 30 meter (Versluijs et al., 2018).



Figuur 159 Hoogtekaart van de Kohkamp met de stromingsrichting van het grondwater vanuit de verschillende inzijsgebieden (Versluys et al., 2018).

2.14.3 Geologie en geomorfologie

Het Wiehengebergte is een lage bergketen. Bij de opheffing van dit gebied zijn de oudere afzettingen uit het Trias en de Jura scheef gezet, waardoor ze direct aan maaiveld zijn komen te liggen. De afzettingen uit de Trias en Jura liggen nu niet meer boven elkaar maar liggen scheef als gevolg van plooiing. ter hoogte van de Kohkamp liggen voornamelijk de afzettingen van het Lias (Onderste Jura) en het Dogger (Midden Jura). De afzettingen uit het Lias bestaan vooral uit donkergrijze kleigesteenten die rijk zijn aan organisch materiaal en de Dogger bestaat vooral uit kleisteen, kalkhoudende kleisteen (mergel) en ijzerhoudende zandsteen. In het Saalien is het gebergte overreden door het landijs en is een laag keileem afgezet. In de laatste ijstijd, het Weichselien, is daaroverheen nog weer een dunne laag zandlöss afgezet. Hoger op de helling van de Wiehenberg dagzomen echter nog altijd de kalkrijke afzettingen uit de Jura (Versluys et al., 2018).

Geomorfologisch ligt de Kohkamp in een smeltwaterdal, waardoor een deel van de glaciële afzettingen zijn weggespoeld. Ook zijn hierdoor sterke hoogteverschillen ontstaan (Versluys et al., 2018).

2.14.4 Hydrologie

2.14.4.1 Hydrologisch systeem

De Kohkamp wordt gekenmerkt door een beekdal die van oost naar west in het gebied ligt. Op de noordflank van het gebergte liggen zijdalen en het beekdal en de zijdalen zijn grondwater gevoed. De watervoerende pakketten in het gebied zijn ondiep (0,5-1 m) en worden gevoed door een relatief klein hydrologisch systeem, waardoor zij in de zomer op een natuurlijke wijze droogvallen. De waterhuishouding is dus neerslagwater gestuurd en het water wordt door de oppervlakkige leem

aangerijkt. Regenwater kan namelijk niet infiltreren en stroomt vanuit het inrijgsgebied oppervlakkig de helling af door een dun zandpakket (Versluijs et al., 2018).

2.14.4.2 Waterkwaliteit

Het grondwater in de dunne watervoerende pakketten van de zijdalen en het grondwater in de diepere zandbodem in het beekdal heeft een pH van 5.5 – 6.5 (Versluijs et al., 2018). Hoewel geen watermonsters verzameld zijn, geeft de vegetatie aan dat het gaat om basenrijk grondwater.

2.14.5 Bodem

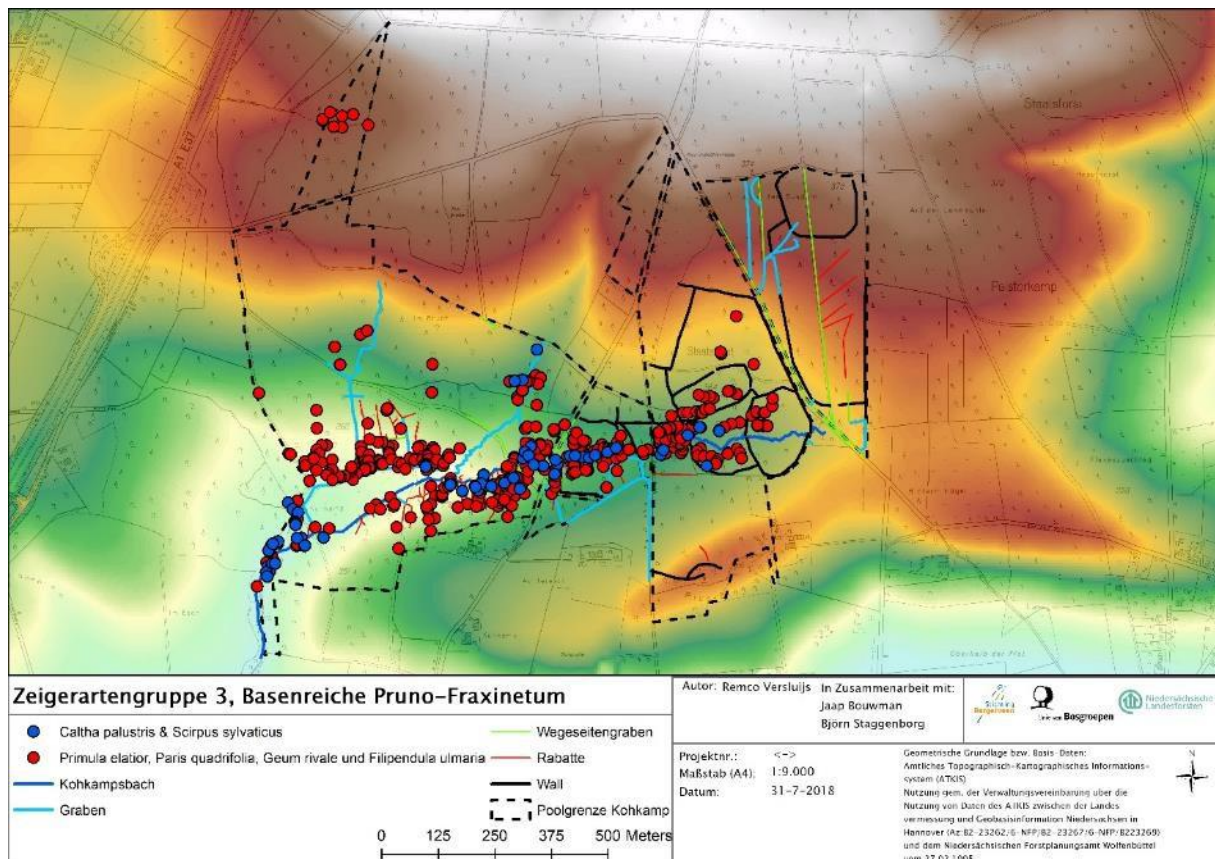
De bovenste meter van de bodem bestaat in een groot gedeelte van het gebied uit kalkloos, fijn tot middel fijn, vaak leemhoudend zand en wordt afgewisseld met dunne, kalkarme leemlaagjes. In het zand zijn stenen en grind aanwezig. Hieronder is op de meeste plaatsen een kalkrijke leemlaag aanwezig. De toplaag van de bodem is vrijwel overal verzuurd en heeft een pH van 4-4,5, wat laat zien dat het basenrijk grondwater niet meer het maaiveld bereikt (Versluijs et al., 2018).

2.14.6 Vegetatie en flora

In het beekdal is Vogelkers-Essenbos aanwezig en op de meest natte plaatsen Elzenbroekbos. Verder zijn er overgangen te vinden naar drogere al dan niet zuurdere standplaatsen met Eiken-Haagbeukenbos en droge, zure Beuken-Eikenbos.

Vogelkers-Essenbos komt voor op de nattere terreindelen rond de Kohkampsbach en lokaal tot hoger op de helling (Figuur 160). De bossen zijn van goede kwaliteit en kenmerkende soorten van het Vogelkers-Essenbos die hier voorkomen zijn o.a. Knikkend nagelkruid, Reuzenzwenkgras, Slanke sleutelbloem, Grote keverorchis, Welriekende nachtorchis, Bleeksporig bosviootje, Muskuskruid, Gevlekte aronskelk, Ruwe smeile, Eenbes, Knopig helmkruid en Bosandoorn.

Eiken-Haagbeukenbossen liggen iets hoger op de helling en vormen een smalle strook tussen de nattere Vogelkers-Essenbossen en drogere Beuken-Eikenbossen. Het gaat hier echter om een basenarm type (*Stellario-Carpinetum oxalidetosum*). De kruidlaag is minder uitgesproken en echte kensoorten ontbreken, soorten als Witte klaverzuring en Bosgierstgras vinden hun optimum in dit bostype. Verder komt hier o.a. Ruwe smeile en Boszegge voor (Versluijs et al., 2018).



Figuur 160 Aanwezigheid van Dotterbloem en Bosbies (blauw) als indicatorsoorten van het Elzenbroekbos en Slanke sleutelbloem, Eenbes, Knikkend nagelkruid en Moerasspirea (rood) al indicator voor Vogelkers-Essenbos.

3 Referenties

AHN. 2021. Algemeen Hoogtebestand Nederland. Online beschikbaar: <http://www.ahn.nl/pagina/apps-en-tools/viewer.html>; Laatste bezocht December 16, 2021.

Basisregister Ondergrond. 2021. Beschikbaar in ArcGIS Online.

Bodemkundig Informatie Systeem Nederland, 2021. Online beschikbaar: <http://maps.bodemdata.nl/>; Laatste geraadpleegd op 05-02-2021.

Bell, J.S. & van 't Hullenaar, J.W. (2015). Ecohydrologische systeemanalyse Lemselermaten.

Bell, J.S. & van 't Hullenaar, J.W. (2015). Ecohydrologische systeemanalyse Voorstonden-Leusveld.

Bodemkundig Informatie Systeem Nederland. 2021. Online beschikbaar: <http://maps.bodemdata.nl/>

De Hoog, J. Jalink, M., Aalders, P., van Wessel, A., Polak, S., Luers, F., Jonkergouw, E. (2006). Systeemanalyse de Scheeken. Waterschap de Dommel. Projectnummer PO16103.

Dinoloket. 2021. Online beschikbaar: www.dinoloket.nl; Laatste bezocht December 16, 2021.

Hunneman, H. & M.H. Jalink, 2007. Ecohydrologische quick-scan natte natuurparels geelders en het elderbroek. . KWR 07.095. Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Jansen, A.J.M., 1993, Verslag van de monitoring effectgerichte maatregelen tegen verzuring in 1992: Lemselermaten, Middelduinen en Reggers Sandervlak, KIWA NV, Nieuwegein.

Kieskamp, A.A.M., van der Burg, R.F., (2016), Hydrologische maatregelen in het Dommeldal.

KIWA (1997). Hydro-ecologische analyse van het Agelerbroek, Voltherbroek en Achter de Voort (Twente).

Provincie Gelderland (2016). Natura 2000-beheerplan Willinks Weust (62). Arnhem, Provincie Gelderland.

Provincie Gelderland (2016) Beheerplan Natura 2000 58 - Landgoederen Brummen.

Provincie Gelderland (2017). Natura 2000-beheerplan Bekendelle (63). Arnhem, Provincie Gelderland.

Provincie Overijssel (2016). Natura 2000 beheerplan. Landgoederen Oldenzaal.

Provincie Overijssel (2017) Natura 2000 Gebiedsanalyse voor de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) Lemselermaten.

Provincie Overijssel (2017). Natura 2000 Gebiedsanalyse voor de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) Landgoederen Oldenzaal.

Provincie Overijssel (2017). Gebiedsanalyse Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek Programmatische Aanpak Stikstof (PAS).

Provincie Noord-Brabant, 2017. Natura 2000 Beheerplan Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux.

Provincie Noord-Brabant, 2017. Natura 2000 Beheerplan Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux

Provincie Noord-Brabant (2016). Natura 2000-beheerplan Ulvenhoutse Bos (129).

Smeenge, H., Kieskamp, A.A.M., Horsthuis, M.A.P. & van Duijn, B. (2017). Landschapsecologische Systeemanalyse Smoddebos. Unie van Bosgroepen, Ede.

STIBOKA, 1969, Bodemkaart van Nederland 1: 50.000 45 West 's-Hertogenbosch, Stiboka, Wageningen

Te Linde, B. & L-J van den Berg (2009); Inventarisatie Natura 2000 gebied Bekendelle, Stichting Berglinde, i.o.v. Provincie Gelderland, concept.

Van den Bosch, M., & Brouwer, F. (2009). Bodemkundig-geologische inventarisatie van de gemeente Winterswijk (No. 1797). Alterra.

Van Delft, B., Brouwer, F., van der Werf, M., Kemmers, R. (2010). Natuurpotentie Willinks Weust; Resultaten van een Ecopedologisch onderzoek. Wageningen, Alterra, Alterra_Natuurpotenties Willinks Weust.

Van den Brand, S. (1995); De plantengroei van Winterswijk, Stichting Uitgeverij Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.

Van der Burg, R.F., Verhoeven, D., van den Berg, L.J.L. & Vergeer, P. (2018). Herstel Biodiversiteit Brabantse Leembossen, gebiedsanalyse en selectie van pilotprojecten. Coöperatieve Bosgroep Zuid-Nederland. Projectnummer 16345180

Versluijs, R., Ten Cate, B.W., & Jansen, A.J.M. (2018). Hydrologisch vooronderzoek Dommeldal. Landschapsecologische systeemanalyse en advies voor natuurherstel in het Dommeldal rond Eindhoven. Stichting Bargerveen.

Versluijs, R., Jansen, A.J.M., Bouwman, J., Staggerborg, B., Aegerter, U., Remke, E., (2018). Basismonitoring von Flora im Kompensationsflächenpool Kohkamp. Mit einer Landschaftsökologische Systemanalyse. Stichting Bargerveen.

Van der Burg, R.F. Jansen, A.J.M., van Rosmalen, E. (2009). Casus Beekdalherstel in de Urkhovense Zeggen. De Levende Natuur, maart 2009.

Van der Burg, R.F., Voerhoeven, D., van den Berg, L.J.L. & Vergeer, P. (2018). Herstel Biodiversiteit Brabantse Leembossen. Gebiedsanalyse en selectie van pilotprojecten. Coöperatieve Bosgroep Zuid-Nederland U.A, augustus '18.

Waal, R.W. de en R.J. Bijlsma. (2003). Bossen van de keileemgronden; Betekenis van stagnerend grondwater voor de ontwikkeling van humusprofiel en vegetatie. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 804.

Waterschap De Dommel (2019). Notitie reikwijdte en detailniveau voor het milieueffectrapport Herinrichting Tongelreep ten behoeve van advies en inspraak.

WENR, 2021. Online beschikbaar: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Projecten/Bosreservaten/Algemene-informatie/Overzicht-Bosreservaten.htm>

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.

**Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door
het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12**

Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 7
3972 NG Driebergen
0343-745250
info@vbne.nl

Alle publicaties en
producten van het
OBN Kennisnetwerk
zijn te vinden op
www.natuurkennis.nl