

KWR 2022.018 | Februari 2022

Kansen en knelpunten voor natuur in het Liefstingsbroek



KWR

Bridging Science to Practice

Kansen en knelpunten voor natuur in het Liefstingsbroek

KWR 2022.018 | Februari 2022

Opdrachtnummer

403133

Projectmanager

Arnaut van Loon (KWR)

Opdrachtgever

Provincie Groningen

Auteurs

Jelmer Nijp, Mark Jalink, Sharon Clevers (KWR)

Emiel Brouwer (B-WARE)

Foto op voorkant: Satellietbeeld Liefstingsbroek 3 juni 2012 © Maxar Technologies (2021)

Kwaliteitsborger

Edu Dorland (KWR, gedelegeerd door Ruud Bartholomeus)

Verzonden naar

Edwin van Hooff, April Fikenscher, Ronnie Vos, Julia Klooker (Provincie Groningen)

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

Ecohydrologie, kwel, Liefstingsbroek, blauwgrasland, Natura 2000, Groningen

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie

dr. Jelmer J. Nijp
T +31 30 606 9630
E jelmer.nijp@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2022 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

Achtergrond en probleemstelling

Het Natura 2000-gebied Liefstingsbroek ligt in het dal van de Ruiten Aa in Oost-Groningen. In het terrein liggen dekzandruggen en lagere delen, waaronder een voormalige beekmeander. Aan de west- en noordzijde ligt het natuurgebied Ellersinghuizerveld, dat bestaat uit geplagde en afgegraven voormalige landbouwgronden. Aan de oostzijde ligt extensieve landbouw, een dekzandrug, en ca. 700 m verderop meandert de Ruiten Aa. Aan de noordoostzijde ligt het Barkeveen. Op de (dek)zandruggen in het Liefstingsbroek zijn loofbossen aanwezig, waarvan een deel behoort tot habitattype H9120 Beuken-Eikenbos en een deel tot H9160A Eiken-Haagbeukenbos. In de lage delen komt ook Elzenbroekbos voor. Op twee schraallandpercelen in het westelijk deel komt H6410 Blauwgrasland voor. De blauwgraslandvegetatie vertoont al langere tijd tekenen van verdroging en verzuring. Ook is de stikstofdepositie hoger dan de kritische depositiewaarde.

Voor de ontwikkeling van de ecologische hoofdstructuur zijn vernattingsmaatregelen getroffen in de omgeving van het Liefstingsbroek, waardoor de achteruitgang van vegetatie niet tot stilstand is gekomen. Uit eerder onderzoek (Van Delft et al., 2017) bleek dat deze terreinen wel natter waren geworden, maar dat er onvoldoende invloed was van basenrijk grondwater. Voor blauwgrasland is een zwak tot matig zure bodem vereist (pH H₂O tussen 5 en 6.5). De zuurgraad wordt op peil gehouden door uitwisseling van zuur met basen (met name calcium en magnesium) aan het adsorptiecomplex. Door uitspoeling met regenwater en afvoer via maaien verdwijnen deze basen uit het systeem, en moeten aangevuld worden. Aanvoer van grondwater met een hoge hardheid kan zorgen voor directe buffering van zuur. Daarnaast kan grondwater, mits het de wortelzone bereikt, de basenvoorraad aanvullen en de zuurgraad op peil houden. Basenhoudend grondwater is dus van belang voor herstel en behoud van blauwgrasland, maar werd in het Liefstingsbroek alleen aangetroffen in enkele peilbuizen op grotere diepte. Tijdens een veldbezoek met leden van het OBN-deskundigenteam Beekdalen in 2019 bleek dat de blauwgraslandvegetatie een verschuiving naar soorten van natte, maar zure omstandigheden vertoonde. In de Elzenbroekbossen rond de schraallanden werden in de vegetatie nog wel tekenen van basenhoudend grondwater aangetroffen. Dit was aanleiding om te onderzoeken waar basenhoudend grondwater in de ondergrond voorkomt, en of er mogelijkheden zijn dat grondwater in de wortelzone van de blauwgraslandjes te krijgen. Uitgaande van de eerdere systeemanalyse (Van Delft *e.a.*, 2017) is specifiek onderzoek gedaan naar de bron en verspreiding van basenrijk grondwater en naar kansen voor de beoogde habitattypen in het Liefstingsbroek, met nadruk op blauwgrasland.

Tot aan het begin van de 20^e eeuw werd het dal van de Ruiten Aa, waarin het Liefstingsbroek ligt, geflankeerd door de uitgestrekte hoogveencomplexen van het Boertangerveen. Dit waren de hogere gronden, waar regenwater infiltreerde dat vervolgens via de zandondergrond naar het beekdal toestroomde en daar zorgde voor kwel. Dit grondwater stroomde door het bovenste zandpakket dat op een zeer slecht doorlatende laag potklei ligt. Er was niet of nauwelijks sprake van kwel vanuit pakketten onder de potklei (Van Delft *e.a.*, 2017). Door het afgraven van de hoogvenen en het ontwateren van de ontgonnen landbouwgronden is de hydrologische situatie sterk veranderd. De voormalige hogere gronden liggen nu lager dan het Liefstingsbroek en het slootstelsel draineert er het grondwatersysteem. Ook zijn de huidige peilen van de Ruiten Aa lager dan in het verleden. Het Liefstingsbroek is daarmee relatief hoog in de omgeving komen liggen. In het Liefstingsbroek gevallen neerslagwater stroomt nu als lokaal grondwater naar de ontwaterde omgeving. Per saldo worden daarmee basen uit het gebied afgevoerd. Alleen vanuit lokale zandruggen kan nog kwel naar de lage delen optreden. De vraag is of deze lokale systemen voldoende basenrijk grondwater kunnen aanleveren en of sprake is van een duurzaam beschikbare bron van basen.

Doel

Om te bepalen of er kansen zijn voor aan basenrijk grondwater gebonden habitattypen, is in 2021 veldonderzoek uitgevoerd, gericht op de onderzoeksvragen:

- Waar kan basenhoudend grondwater de wortelzone bereiken in de huidige situatie, hoe groot is de kwelflux (indicatief), welke kwaliteit heeft het kwelwater, en waar komt het water vandaan?
- Biedt de huidige waterhuishouding en bodem in het Liefstingsbroek perspectief voor N2000 habitattypen blauwgrasland (H6410), Beuken-eikenbos (H9120), Eiken-Haagbeukenbos (H9160A) en beekbegeleidend Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C)?
- Welke hydrologische herstelmaatregelen kunnen bijdragen aan verbetering van de kwaliteit van de in het Liefstingsbroek aanwezige habitattypen en andere grondwaterafhankelijke natuur in met name het aangrenzende natuurontwikkelingsgebied?
- In welke mate biedt de afgegraven bodem in het natuurontwikkelingsgebied Ellersinghuizerveld potenties om de genoemde habitattypen uit te breiden?
- Welke monitoring is noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in lokale gradiënten in hydrologie, chemie en ecologie?

Aanpak

Voor het onderzoek zijn ondiep en diep in het freatisch pakket peilbuizen geplaatst, waarin hoogfrequent grondwaterstanden zijn gemeten (meetfrequentie 15 minuten). Van de boorgaten zijn profielbeschrijvingen gemaakt, is de aanwezigheid van kalk in verschillende lagen onderzocht, en het verloop van de pH in de diepte bepaald. Van de peilbuizen en enkele watergangen en plassen zijn in het voorjaar en nazomer waterkwaliteitsbepalingen gedaan. Op een aantal locaties is de chemie van de bovenste bodemlaag bepaald om te achterhalen of die geschikt is voor de beoogde vegetatietypen. De resultaten van de data-analyse zijn hieronder samengevat.

Resultaten

Bronnen van basen

In vijf van de zes diepe boringen (tot 6 m) is kalkhoudend sediment aangetroffen, beginnend op een diepte tussen 1,5 en 6 meter beneden maaiveld. De hoogste gehalten zijn aangetroffen in de westelijke helft van het Liefstingsbroek en in het Ellersinghuizerveld. Ook in twee ondiepe boringen bleek kalkhoudend sediment aanwezig (op 1,5 m-mv). Oplossing van kalk in het freatisch pakket vormt dus een lokale bron van gebufferd, basenrijk grondwater in het Liefstingsbroek.

Kwel en regenwaterlenzen

De pH van de wortelzone is op alle boorpunten laag (pH 4,0 – 4,5). Dat wijst op regenwaterinvloed en uitspoeling van de bovenste bodemlagen. Onder de hoge ruggen is de pH ook dieper in het profiel laag, doordat de ondergrond is uitgeloogd door inzijsend regenwater. Op de lageregelegen plekken is de pH dieper in het profiel duidelijk hoger. Er is dan sprake van een regenwaterlens met daaronder basenhoudend grondwater. Op een aantal plekken wijst het pH-profiel op kwel maar wordt het kwelwater afgedekt door een regenwaterlens. Op andere plaatsen is geen sprake van kwel, maar stroomt het basenhoudende grondwater waarschijnlijk lateraal af. In de Voorste weide wijst het pH profiel op kwel, maar met een dikke regenwaterlens, terwijl het pH-profiel op het hogergelegen deel van de Paardeweide wijst op een zeer dikke regenwaterlens boven lateraal afstromend basenhoudend grondwater. In de Grote Weide wijzen alle drie profielen op een kwelprofiel met regenwaterlens. In de kwelzone onderaan de Adelaarsvarenbult wijst het profiel op kwel met dikke neerslaglens. In het Eiken-Haagbeukenbos en de beekdalflank aan de oostzijde is sprake van infiltrerend regenwater met daaronder lateraal afstromend basenhoudend grondwater.

Diepte en verspreiding van basenhoudend grondwater

Het grondwater op 6 m diepte is middelmatig tot sterk gebufferd. De gehalten aan Ca, HCO₃ en de pH zijn in het noordwestelijk deel hoog, in het zuidoostelijk deel matig hoog. Het grondwater op 1,5 m diepte verschilt sterk tussen de locaties. Onder de dekzandruggen is het grondwater nauwelijks gebufferd en zuur. In het blauwgrasland is het ondiepe grondwater van de Grote weide matig sterk gebufferd, terwijl dat in het centrum van de Paardeweide nauwelijks gebufferd en zuur is. In het Elzenbroekbos aan de rand van de Paardeweide is het ondiepe grondwater sterk gebufferd. In de Grote weide is het ondiepe grondwater op sommige plekken matig sterk gebufferd, maar soms ook nauwelijks gebufferd en zuur. In de kwelzone onderaan de Adelaarsvarenbult is het ondiepe grondwater matig sterk gebufferd, net als in het Eiken-Haagbeukenbos en de beekdalflank aan de oostzijde. In de drie ondiepe peilbuizen op het Ellersinghuizerveld is het grondwater matig sterk gebufferd.

Op veel plaatsen is het grondwater beïnvloed door het landgebruik in of rond het Liefstingsbroek. Het kaliumgehalte is duidelijk verhoogd in enkele diepe buizen in het westelijk deel, in een ondiepe buis in de Grote weide en in alle buizen in het Ellersinghuizerveld. Dit wijst op (voormalige) bemesting in het intrekgebied. Het nitraatgehalte was in april 2021 hoog in het ondiepe grondwater onder de Adelaarsvarenbult en in de regenwaterlens in de Paardenwei. Dit kan alleen worden verklaard door atmosferische depositie van stikstof. De verhoogde nitraatgehalten in het grondwater zijn een signaal voor te hoge stikstofdepositie, die ook elders in het gebied optreedt en verzurend en vermestend werkt.

Veel grondwatermonsters hebben relatief hoge sulfaatconcentraties. Indirect kan stikstofdepositie, naast zomerdroogten, hier een bijdrage in hebben: door geochemische reacties in de ondergrond reageert uitgespoeld nitraat of zuurstof met ijzersulfiden (zoals pyriet), waarbij sulfaat vrijkomt. Het grondwater bevat op een aantal locaties 'niet-natuurlijke' verhoogde gehalten aan kalium, nitraat, en/of sulfaat. Dat hoeft niet per definitie een knelpunt te vormen voor de beoogde habitattypen. Vanwege de geringe aanvoer van grondwater naar de wortelzone is de extra aanvoer van kalium waarschijnlijk beperkt. Mits het basenrijke grondwater uit de ondergrond weer tot in de wortelzone gebracht kan worden, hebben de genoemde 'verontreinigingen' dus nauwelijks een negatief effect en zullen de positieve effecten van een hogere pH en basenverzadiging overheersen.

Zowel de bermsloot in de zuidoostelijke punt van het Liefstingsbroek, als de oostelijke beek bevatten matig sterk gebufferd water. Dit wijst erop dat deze waterlopen gebufferd grondwater draineren. Bij het westelijke uitstroompunt was er in september geen afvoer. In april was er wel afvoer en betrof het nauwelijks gebufferd, zuur water, dus overwegend regenwater.

Oppervlaktewater

Zowel de bermsloot in de zuidoostelijke punt van het Liefstingsbroek, als de oostelijke beek bevatten matig sterk gebufferd water. Dit wijst erop dat deze waterlopen gebufferd grondwater draineren. Bij het westelijke uitstroompunt was er in september geen afvoer. In april was er wel afvoer en betrof het nauwelijks gebufferd, zuur water. Maar aan de andere kant was er veel ijzer, fosfor, chloride en tamelijk veel calcium aanwezig. Waarschijnlijk zijn door het vasthouden van regenwater over aanzienlijke oppervlakten reductieve bodemomstandigheden ontstaan, waardoor ijzer en fosfor in oplossing zijn gegaan. Door deze reductieve condities wordt er weinig sulfaat meer in het oppervlaktewater gemeten, maar de soms zeer hoge sulfaatgehalten in het ondiepe grondwater doen vermoeden dat dit na droge perioden (2018) waarschijnlijk anders was. Ook lijkt het er op dat het fosfaatrijke water uit het broekbos benedenstrooms tot lokale eutrofiering van de afgeplagde delen heeft geleid.

Grondwaterstanden en grondwaterstroming

De in 2021 gemeten grondwaterstandsreeksen¹ geven een duidelijk beeld van de hydrologische gradiënten in en om het Liefstingsbroek. In het voorjaar waren de grondwaterstanden het hoogst en trad opbolling op in de zandruggen binnen het gebied. Vanaf de Adelaarsvarenbult was er een verhang van ca. 0,4 m naar de Grote weide, de Paardenweide en de oostelijke beekdalflank. In deze periode zal in de zandrug geïnfiltreerd regenwater als lokaal grondwater naar de lagere delen toestromen.

In de zomer daalde de grondwaterstand. Opvallend is dat de grondwaterstand in de Adelaarsvarenbult daalde tot een zelfde of zelfs lager niveau dan in de Grote weide en de Paardenweide. De stromingsrichting kan dan zelfs van richting keren: de opbolling in de zandrug die de motor is achter het lokale kwelsysteem valt geheel weg. Dat is opvallend, aangezien 2021 een relatief natte zomer had. Door de grondwaterstanden te vergelijken met de gemeten grondwaterstanden bij de westelijke bermsloot en met de stuwpeilen in de oostelijke beek de sloot noordelijk daarvan en die van de aan de westzijde van Ellersinghuizerveld gelegen wetting, wordt de oorzaak van de snel en diep wegzakkende grondwaterstanden duidelijk. De bermsloot heeft in voor- en najaar een lager peil dan de Grote weide en de Paardenweide en draineert aan deze zijde het systeem. Met een stuwpeil van NAP+2,88 m draineert de noordoostelijke beek (en daarop aangesloten oostelijke randsloot) het dekzandsysteem. De grondwaterstand in de Adelaarsvarenbult zakt weg tot dit stuwpeil of mogelijk nog wat dieper. De zuidwestelijke bermsloot en de noordoostelijke beek draineren het basenrijke grondwatersysteem in de ondergrond. Samen vangen deze watergangen dus het basenrijke grondwater onder de schraallandjes af. Als gevolg daarvan ontstaan dikkere neerslaglenzen, worden de dekzandruggen gedraineerd, en valt daardoor het lokale kwelsysteem al vroeg in de zomer geheel weg.

Uit de grondwaterstandsreeksen in de zandrug ten noorden van het Liefstingsbroek blijkt dat het drainerend effect van de oostelijke beek en de sloot ten noorden van de stuw aldaar nog groter is. De grondwaterstand zakt er al eerder en dieper weg dan in de Adelaarsvarenbult.

De waterschapsleiding ten zuidwesten van het Ellersinghuizerveld heeft een laag peil en draineert (met name in de natte seizoenen) het grondwatersysteem van het natuurgebied (vooral het Ellersinghuizerveld, maar ook het Liefstingsbroek). De aanwezigheid van de 'kwelindicator' Holpijp wijst erop dat de waterschapsleiding basenrijk grondwater aantrekt uit de omgeving. In het voorjaar zakt de grondwaterstand in het Ellersinghuizerveld sneller en dieper weg door deze watergang en wordt kwelwater afgevangen. Vanwege het hoge zomerpeil kan de stromingsrichting dan omkeren en water vanuit de wetting zijdelings infiltreren naar de ondergrond van het natuurgebied. Dit heeft waarschijnlijk invloed op grondwaterkwaliteit en -standen, maar meetgegevens hieromtrent zijn niet beschikbaar. Het is nog onduidelijk hoe groot het effect van de waterschapsleiding is ter plekke van het Natura 2000-gebied.

De verticale stijghoogteverschillen tussen de diepe en ondiepe peilbuizen geven aanwijzing voor een opwaartse stroming. De verschillen zijn gering, mede doordat de weerstand in het zandpakket gering is. Gegeven de onzekerheden kunnen hieruit (nog) geen kwelfluxen worden afgeleid. Ook grondwaterstandsfluctuaties tussen dag en nacht kunnen een indicatie geven voor toestroom van grondwater. Overdag daalt de grondwaterstand door verdamping. Als de grondwaterstand 's-nachts weer stijgt, wijst dat op toestrooming van grondwater, ofwel vanuit diepere lagen, ofwel vanuit omliggende gronden met hogere grondwaterstand. Op veel meetpunten blijkt uit de tijdreeksen dat er toestroom van grondwater optreedt. Opvallend is dat dit fenomeen zelfs op plekken wordt waargenomen op de dekzandruggen (Adelaarsvarenbult en noordelijke zandrug), waar verwacht mag worden dat wegzijging optreedt en geen water zou toestromen. In plaats van dat vanuit deze ruggen grondwater richting

¹ De doorlooptijd van de metingen aan grondwaterstanden was nog te kort voor het betrouwbaar afleiden van gemiddelde standen (GLG, GHG, GVG).

Alhoewel indicatief, kan er nog geen toetsing plaatsvinden aan de ecologische vereisten van de verschillende habitattypen.

omringende lagere gebieden stroomt, wordt het grondwater in de ruggen dus aangevuld door laterale toestroom van het Natura 2000-gebied.

Wortelzone

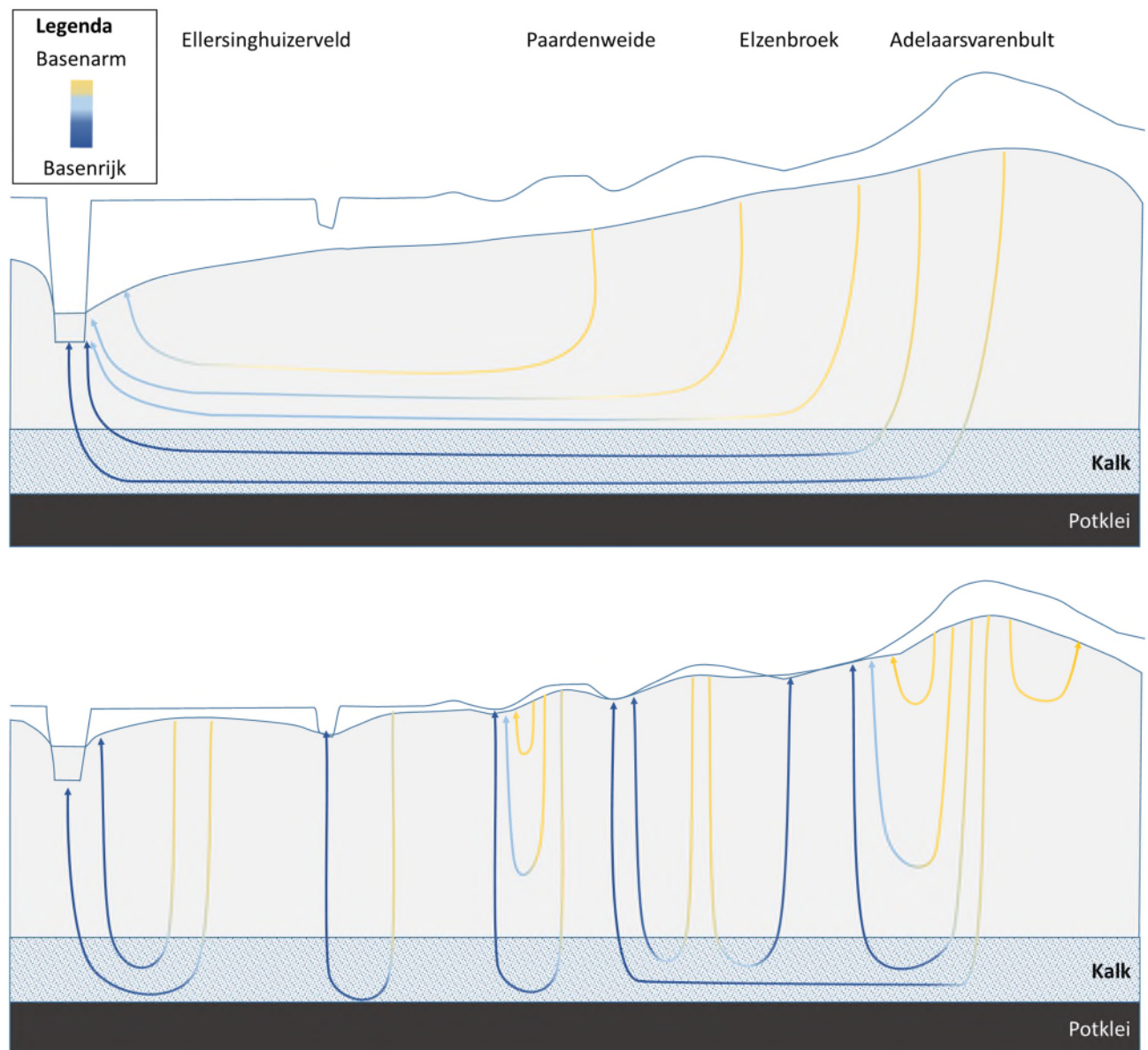
Op 28 juli 2021 zijn monsters van de bovenste bodemlaag verzameld op 7 locaties binnen het Natura 2000-gebied, 3 locaties in het Ellersinghuizerveld, en 2 locaties in het Barkeveen. Deze gegevens geven inzicht in de huidige bodemgeschiktheid² qua zuurbuffering en nutriëntenbeschikbaarheid op deze locaties voor de beoogde habitattypen. Bij de beoordeling zijn de bodemgegevens vergeleken met een referentiedataset. Uit de metingen blijkt dat het grasland op de Paardenweide een te lage pH en basenverzadiging heeft en dat plant-beschikbaar fosfaat (Olsen-P) veel hoger is dan gewenst. Dit laatste bevreemdt, aangezien het perceel al decennialang niet bemest wordt en wel een hooibeheer kent en daarnaast een zeer laagproductieve vegetatie. Deze locatie is thans eerder geschikt voor heischraal grasland dan voor blauwgrasland. De locaties op de Grote weide hebben een gunstigere pH en basenverzadiging. Ook hier is Olsen-P aan de hoge kant in vergelijking tot goed ontwikkeld blauwgrasland in de referentiedataset. Deze locaties lijken geschikt voor ontwikkeling van wat voedselrijkere variant van schraallandvegetatie, zoals de Veldrus-associatie of Dotterbloemhooiland. De locaties op het Ellersinghuizerveld en op het Barkeveen passen qua pH, basenverzadiging en Olsen-P bij Blauwgrasland. De overige bodemonsters zijn genomen in de bossen van het Liefstingsbroek. Deels kunnen de monsters de vegetatiesamenstelling ter plekke verklaren, maar door de grote variatie in standplaatsen en soortensamenstelling binnen de bossen geven ze geen representatief beeld voor de bodemtoestand binnen betreffende habitattypen.

De bodemkwaliteitsgegevens wijzen er dus op dat ook buiten de huidige Natura 2000-begrenzing potenties voor blauwgraslandontwikkeling liggen op het Ellersinghuizerveld en Barkeveen, mits ook het grondwatersysteem voldoet. Voor ontwikkeling op de Grote weide of herstel op de Paardenweide zijn een hogere pH en basenverzadiging nodig. Daartoe is herstel van basenrijke kwel tot in de wortelzone nodig. De relatief hoge fosforbeschikbaarheid is een punt van aandacht, maar mogelijk neemt die ook af bij een hogere pH.

Synthese

Het grondwatersysteem binnen en rond Liefstingsbroek is een lokaal grondwatersysteem. In het verleden werd het gebied gevoed door neerslag die op het Boertangerveen viel en via de zandondergrond als lokaal grondwater toestroomde. Door het afgraven en ontginnen van het veen is de stromingsrichting omgekeerd: het grondwatersysteem wordt nu alleen gevoed door neerslagwater dat in de zandruggen binnen het gebied infiltreert. In het onderste deel van het freatisch pakket is kalk aanwezig, doordat deze afzettingen (nog) niet zijn ontkalkt. Als het inzijgende jonge basenarme grondwater in contact komt met deze lagen, lost kalk op en ontstaat matig sterk tot sterk gebufferd grondwater (Figuur A). In de huidige situatie wordt het lokale grondwatersysteem sterk gedraineerd door de oostelijke beek en sloten, de bermsloot in de zuidoostpunt van het gebied, en de zuidwestelijke waterschapsleiding. Al deze waterlopen onttrekken (matig) sterk gebufferd grondwater aan het systeem (Figuur A). Daarnaast is de kweldruk sterk verminderd, doordat de opbolling in dekzandruggen sterk is verlaagd door sloten die deze ruggen doorsnijden en draineren. In de huidige situatie komt alleen zeer lokaal, in de korte gradiënten naar het laag gelegen Elzenbroek, nog basenrijk grondwater tot ondiep in het profiel. Op de overige laag liggende plekken komt het basenrijke grondwater niet meer hoog in het profiel en wordt afgedekt door een dikke regenwaterlens. Door uitloging van het adsorptiecomplex heeft de bovengrond hier haar bufferende werking verloren en is verzuurd. De verzuring wordt versterkt door stikstofdepositie. Deze leidt ook tot eutrofiëring en verandering van de soortensamenstelling in bossen en graslanden. Op sommige delen is de overmaat aan stikstof zo groot, dat uitspoeling naar het grondwater optreedt in de vorm van nitraat. Deels verdwijnt dat uit beeld doordat denitrificatie optreedt. Denitrificatie kan overigens leiden tot verhoogde sulfaatconcentraties, wat ongunstig is voor vegetaties van voedselarme standplaatsen (zoals blauwgrasland).

² Of deze standplaatscondities op langere termijn ook geborgd worden door het hydrologisch/hydrochemisch systeem is er niet uit af te leiden



Figuur A: Conceptuele dwarsdoorsnede van zuidwestelijke waterloop (links) naar de Adelaarsvarenbult (rechts) met overdreven weergave van effecten van oppervlaktepeilbeheer op waterhuishouding in het Liefstingsbroek. Boven: wintersituatie met diepe drainagebasis (huidige situatie). Onder: potentiële effecten van verminderen ontwatering in de omgeving van het Liefstingsbroek op de lokale opbolling, grondwaterstroming, en grondwaterkwaliteit. Donkerblauw = zeer basenrijk en gebufferd grondwater, lichtblauw is matig gebufferd en matig basenrijk grondwater, geel is basenarm, en niet gebufferd grondwater (neigend naar regenwaterkwaliteit).

Kansen en oplossingsrichtingen

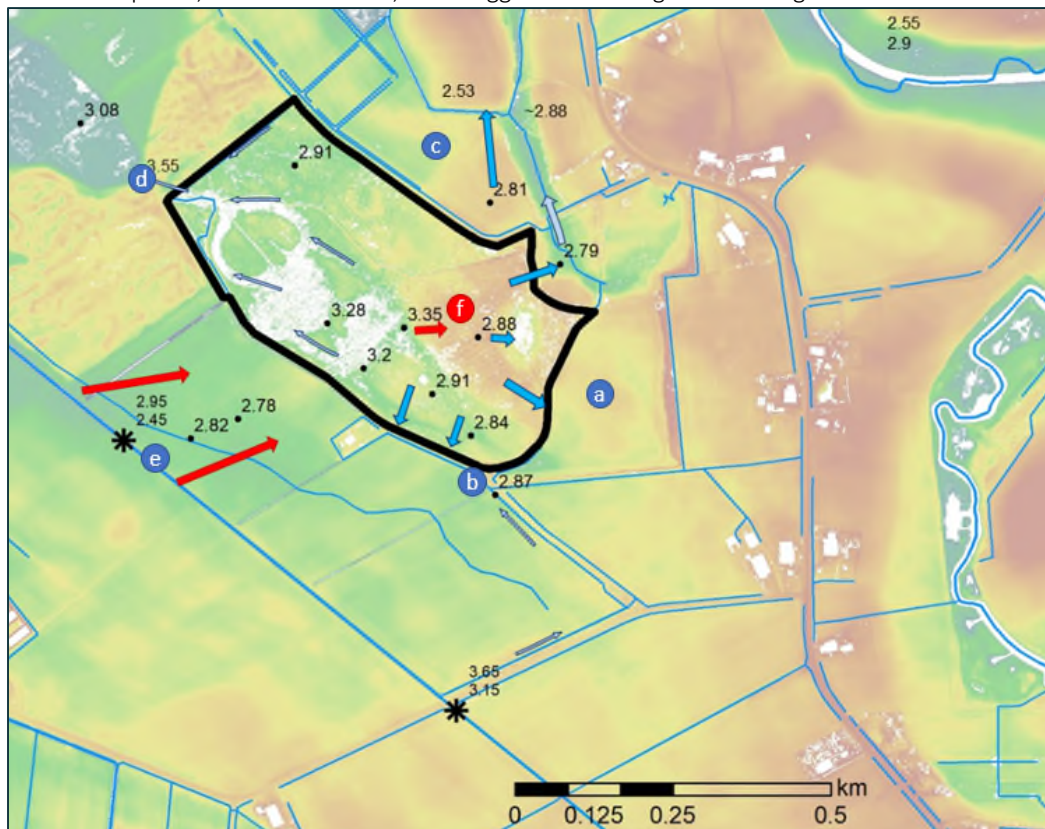
Om H6410 Blauwgrasland binnen Natura 2000-gebied Liefstingsbroek te behouden is herstel van de kwel van basenrijk grondwater naar de wortelzone noodzakelijk (Figuur A, onder). Kwelherstel is ook gunstig voor habitattypen H91E0c Alluviale bossen en H9160A Eiken-Haagbeukenbossen. De aanwezigheid van kalk in de ondiepe ondergrond als bron voor basenrijk water en de omvang en aaneengesloten eigendomssituatie bieden potenties voor herstel van kwel van basenrijk grondwater naar de wortelzone in laagten in het gebied. Door de drainage door diepe watergangen sterk te verminderen of geheel weg te nemen, zullen de lokale kwelsystemen zich verleggen naar laagten met een meer natuurlijke afvoer over maaiveld. Dit zal leiden tot gradiënten van droog naar nat en zuur naar zwak zuur of neutraal. Binnen die gradiënt passen de standplaatsen voor blauwgrasland, veldrusschraalland en andere soortenrijke graslandtypen en van elzenbroekbos, eiken-haagbeukenbos en beuken-eikenbos. Naar

verwachting liggen deze kansen binnen het Natura 2000-gebied (Grote weide, Paardenweide en Voorste weide), maar zeker ook daarbuiten in de betrekkelijk recent tot natuurgebied afgeplagde en verschaalde deelgebieden Ellersinghuizerveld en Barkeveen. Verondieping (tot dicht aan maaiveld) van de schouwsloot langs de zuidoostelijke begrenzing van het Liefstingsbroek zal ook in het Ellersinghuizerveld leiden tot kwel van gebufferd water naar maaiveld. Gezien de huidige vegetatie is dit voldoende om ook daar schraallandvegetaties (bijvoorbeeld van de veldrusassociatie) te ontwikkelen. Na herstel van het grondwatersysteem is voor de beheersing van neerslaglenzen fijn regulering nodig. Hiertoe kan de ligging van drempels die de afvoer beperken worden beoordeeld en zo nodig kunnen regelbare stuwtejes worden geplaatst. Een deel van de effecten van de hoge N-depositie op de lagere delen kan worden gemitigeerd door herstel van kwel naar de wortelzone.

Advies voor maatregelen

Voor het stimuleren van kwel uit het lokale systeem van het Liefstingsbroek is het noodzakelijk de drainage van het basenrijke grondwatersysteem door sloten en de waterschapsleiding sterk te verminderen. Het advies is om maatregelen te treffen voor in ieder geval de volgende watergangen (zie figuur B):

- De 'beek' aan de oostzijde, de randsloot aan de oostzijde, de sloten die de dekzandrug (zuid)oostelijk van het Natura 2000-gebied doorsnijden;
- De diepe bermsloot langs het pad aan de zuidoostzijde van het Natura 2000-gebied
- De diepe sloten, die de dekzandrug ten noorden van het Natura 2000-gebied doorsnijden plus (zo nodig) de sloten langs de noordostrand (bermsloten) en in het lage gebied aan de noordzijde;
- Fijn-regulering van de afvoer uit het Natura 2000-gebied, gericht op het voorkomen van te natte omstandigheden, vorming van neerslaglenzen en het bevorderen van grondwateraanvoer naar het maaiveld. Deze maatregel is pas kansrijk nadat de maatregelen a t/m c zijn uitgevoerd.
- De waterschapsleiding aan de zuidwestzijde: tegengaan drainerende werking door forse verhoging winterpeilen, afdichten bodem, of verleggen verder weg van Ellersinghuizerveld



Figuur B. Overzicht van hydrologische maatregelen in en om het Liefstingsbroek om de potentie voor de beoogde Natura 2000 habitattypen in het Liefstingsbroek te vergroten.

De maatregelen a, b, c en e (zie Figuur B) zijn vanuit natuurbeschermingsoogpunt sowieso gunstig en dienen zo snel mogelijk uitgevoerd te worden. Het is raadzaam de effecten te monitoren, zowel wat betreft waterkwantiteit (tijdreeksen grondwater) als waterkwaliteit (bemonstering grond- en oppervlaktewater). In verband met effecten van veranderingen in de waterhuishouding op de omgeving is het raadzaam een voldoende gedetailleerd grondwatermodel te gebruiken voor het onderzoeken van de effecten van ingrepen op natuur en omgeving. Naast de maatregelen in de waterhuishouding is het van belang brongerichte stikstofreductie in het gebied door te voeren om de verzurende en eutrofiërende effecten van stikstofdepositie te verminderen (zie f in Figuur B).

De huidige onderzoeken in het Liefstinghsbroek hebben geleid tot belangrijke nieuwe inzichten omtrent het ecohydrologisch functioneren van het Liefstinghsbroek en de knelpunten voor de beoogde habitattypen. Desalniettemin bestaan er een aantal belangrijke kennisleemtes en is continuering van monitoring benodigd: (1) om te bepalen wat het effect is van toekomstige hydrologische herstelmaatregelen op standplaatscondities (2) het meetjaar was nat en daarmee niet representatief voor het huidige klimaat; om die reden wordt het sterk aanbevolen de huidige meetreeksen voort te zetten. Specifiek is het advies om

- De stijghoogte metingen in het huidige meetnet peilbuizen voort te zetten om ook de waterhuishouding in het winterseizoen en in minder natte jaren in beeld te krijgen; deze metingen zijn onderdeel van het in kaart brengen van de huidige situatie. Dat is noodzakelijk om effecten van de voorgestelde maatregelen te kunnen monitoren;
- Periodiek metingen van EGV en pH te verrichten in de peilbuizen, en bij duidelijke veranderingen volledige kwaliteitsanalyses om die veranderingen te kunnen duiden;
- Aanvullend afvoermetingen te verrichten om grip te krijgen op de balans tussen vasthouden en afvoeren van basenarm regenwater;
- Nader onderzoek te doen naar in de gradiënten waar in de huidige situatie basenrijk grondwater tot in de wortelzone lijkt voor te komen (kwelzones elzenbroeken en randen schraallanden). Dit is van belang om de werking van het systeem te bevestigen (zowel in ruimte als in tijd), en potenties in de huidige situatie beter in kaart te brengen, waarvan het areaal in de toekomst vergroot kan worden.

Eindconclusie

De aanwezigheid van kalk in de ondergrond, het feit dat het een lokaal grondwatersysteem betreft waarvan de intrekgebieden in het natuurgebied zelf liggen en de omvang van het aaneengesloten gebied dat in eigendom/beheer is van Natuurmonumenten maken het herstel van het grondwatersysteem met lokale kwel van basenrijk grondwater kansrijk. In combinatie met maatregelen om de stikstofdepositie te verlagen lijkt het goed mogelijk de Natura 2000-doelstellingen binnen het Liefstinghsbroek te realiseren. Daarnaast zijn er goede mogelijkheden om ook buiten de huidige Natura-2000 begrenzing, in het Ellersinghuizerveld en Barkeveen, waardevolle (Natura 2000-waardige) schraallandvegetaties te ontwikkelen.

Inhoud

Samenvatting	3
Inhoud	11
1 Inleiding	14
1.1 Aanleiding	14
1.2 Doel	15
1.3 Leeswijzer	15
2 Gebiedsbeschrijving	16
2.1.1 Naamgeving onderzoekslocaties	16
2.1.2 Waterlopen	17
2.1.3 Geohydrologie	18
2.2 Inrichting grondwatermeetnet	20
2.2.1 Meetdoelen	20
2.2.2 Meetnet	20
2.2.3 Kalkgehalte en zuurgraad diepere ondergrond	22
3 Resultaten	24
3.1 Kalk in de ondergrond	24
3.2 pH-profielen	25
3.3 Waterhuishouding	27
3.3.1 Grondwaterstroming op landschapsniveau	27
3.3.2 Lokale grondwaterstroming	29
3.3.3 Kwelpotenties in het Liefstingsbroek	33
3.4 GLG en GVG in relatie tot ecologische vereisten van vegetatie	44
3.5 Grondwaterchemie	44
3.5.1 Bemonstering en uitwerking van de waterkwaliteitsgegevens	44
3.5.2 Basenrijkdom en zuurgraad	45
3.5.3 Beïnvloeding door bemesting en N-depositie	49
3.5.4 Fosfor en ijzer	52
3.6 Kwaliteit oppervlaktewater	53
3.7 Bodemchemie	54
3.7.1 Sturende processen voor de bodemsamenstelling in de toplaag	54
3.7.2 Bodemsamenstelling voor Natura2000 doelen in vergelijking met referentie	57
4 Kenschets Liefstingsbroek	61
4.1 Algemene schets voor het Liefstingsbroek	61
4.2 Kenschets per deelgebied	62
4.2.1 Paardeweide	62

4.2.2	Grote weide	63
4.2.3	Voorste weide	63
4.2.4	Elzenbroekbos	63
4.2.5	Noordoostelijk beekdal	64
4.2.6	Eiken-haagbeukenbos	64
4.2.7	Ellersinghuizerveld	64
4.2.8	Barkerveen	65
4.2.9	Adelaarsvarenbult	65
5	Knelpunten	66
5.1	Knelpunten op landschapsniveau	66
5.2	Knelpunten per deelgebied	67
5.2.1	Paardeweide	67
5.2.2	Grote weide	67
5.2.3	Voorste weide	67
5.2.4	Elzenbroekbos	67
5.2.5	Eiken-haagbeukenbos	68
5.2.6	Ellersinghuizerveld	68
6	Maatregelen	69
6.1	Externe maatregelen	70
6.1.1	Verondiepen / dempen ontwatering in noorden en oosten (a,c,d,f,j,k)	71
6.1.2	Verondiepen, beduikeren, of dempen van zuidelijke schouwsloot (b)	72
6.1.3	Verhogen stuwpeilen waterschapsleiding (g)	72
6.1.4	Reductie stikstofdepositie (i)	73
6.2	Interne maatregelen (e,h,i)	73
6.2.1	Afstellen stuwpeilen (e)	73
6.2.2	Begreppeling en connectiviteit stagnerend regenwater (h)	73
6.2.3	Lokaal afgraven toplaag	74
6.3	Benutten kansen buiten het huidige Liefstingsbroek	74
7	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	76
7.1	Hydrologische modellering	76
7.2	Voortzetting huidige meetnet	76
7.3	Aanvullende metingen	76
7.3.1	Debietmetingen	76
7.3.2	Kalk in de ondergrond	77
7.3.3	Hydrochemie porievocht	77
7.3.4	In kaart brengen van Peelo klei	77
8	Beantwoording onderzoeksvragen	78
9	Literatuur	80
10	Bijlagen	81
I	Methoden	82

10.1	Grondwaterchemie	82
10.1.1	Monsternamen en analyse	82
10.1.2	Afleiden eigenschappen grondwater	82
10.2	Bodemchemie	84
10.2.1	Drooggewicht en organisch stofgehalte	84
10.2.2	Deconstructie	84
10.2.3	Olsenextractie	84
10.2.4	Zoutextractie	84
10.3	Grondwaterregime	85
10.4	Kwelpotentie	86
10.4.1	Kwelflux afgeleid uit stijghoogteverschillen	86
10.4.2	Elektrisch geleidend vermogen	86
10.4.3	Kwelflux afgeleid uit dag-nachtfluctuaties	86
II	Grondwatertrappenkaart uit van Delft (2017)	88
III	Bodemkaart uit van Delft e.a. (2017)	89
IV	Boorstaten potklei omgeving Liefstingsbroek	90
V	Metadata geplaatst meetnet	91
VI	Informatie stikstofdepositie	92
VII	Neerslagtekort 2021	94
VIII	Boorprofielen	95
IX	Eigendomskaart Natuurmonumenten	109
X	Tijdreeksen grondwaterstanden t.o.v. maaiveld	110
XI	Tijdreeks temperatuur grondwater locatie 14	112
XII	Grondwaterregime per habitatype	115
XIII	Kaarten grondwaterchemie	117
XIV	Berekening spreidingslengte	124
XV	Simulaties grondwaterstroming	126

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Liefstingsbroek is een Natura 2000 (N2000) gebied in het oosten van Groningen, met de habitattypen blauwgrasland (H6410), Beuken-eikenbos (H9120), Eiken-Haagbeukenbos (H9160A) en beekbegeleitend bos, in potentie behorend tot het Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C). Volgens het veegbesluit heeft het Liefstingsbroek geen N2000-doelstelling meer voor H91E0C, omdat dit niet aan de criteria voldeed. Door veranderingen in hydrologie door het afgraven van hoogvenen in de vorige eeuw en het ontwateren van de vrijgekomen landbouwgronden, en recenter door ingrepen gericht op het vasthouden van water in het gebied en de nabije omgeving, is de hydrologie van het gebied veranderd. Hierdoor zijn ook standplaatscondities voor de betreffende N2000 habitattypen veranderd. Onderzoek door van Delft *e.a.* (2017) heeft aangetoond dat deze verandering niet altijd gunstig heeft uitgepakt voor het behalen van de in 2013 opgestelde N2000-doelstellingen. De recente vernatting lijkt bevorderlijk te zijn voor alluviaal elzenbroekbos, maar het N2000 doel voor instandhouding en verbetering van kwaliteit van blauwgrasland tegen te werken. Waarschijnlijk is verzuring hiervan de oorzaak, die op zijn beurt weer teweeg wordt gebracht door een afgenomen invloed van basenhoudend grondwater in de wortelzone. Daarnaast is onduidelijk welke grondwaterafhankelijke natuur potentie heeft in de delen in het Liefstingsbroek gebieden waar nu nog geen habitatype aanwezig is. Hierdoor bestaat de indruk dat aanvullende waterhuishoudkundige maatregelen nodig zijn om de ontwikkelpotenties vollediger te benutten en de N2000-doelstellingen te realiseren. Om deze maatregelen te kunnen selecteren en ontwerpen is beter inzicht nodig in de waterhuishouding van het Liefstingsbroek en het aangrenzende Ellersinghuizerveld en de mechanismen achter de zuurbuffering van de genoemde habitattypen.

Voorgaand onderzoek (van Delft *e.a.*, 2017) heeft laten zien dat het om een systeem gaat dat voor grote delen afhankelijk is van lokale kwel met sterke seizoensdynamiek. Het detailniveau van dit onderzoek leverde echter onvoldoende inzicht op de volgende aspecten:

- Het is nog onduidelijk waar het grondwater vandaan komt en of er lokaal en/of tijdelijk kwel kan optreden. De oostelijke dekzandruggen lijken potentie voor lokale kwel te bieden, maar gereconstrueerde isohypsen patronen (van Delft *e.a.*, 2017) geven aan dat grondwaterstroming de bovenlokale hoogtegradiënt van zuidoost naar noordwest zou kunnen volgen.
- In hoeverre is de kwaliteit van het lokale grondwater aangetast? Zo kan door stikstofinvang een sterke nitraatuitspoeling plaatsvinden vanuit het bos, wat ook weer ijzertekorten, verzuring en zwavelmobilisatie kan veroorzaken. Ook verdroging en vernatting hebben vaak grote effecten op de kwaliteit van grondwater.
- Waar en in hoeverre er potenties zijn voor verbetering van de kwaliteit van grondwaterafhankelijke natuur (met name blauwgrasland en alluviaal elzenbroekbos), en of de kwaliteit van het drogere Eiken-Haagbeukenbos behouden en verbeterd kan worden.
- Wat de belangrijkste knelpunten zijn, en of deze op te lossen zijn met herstelmaatregelen binnen het natuurgebied zelf of dat daar maatregelen in de omgeving voor nodig zijn.

Belangrijkste oorzaak voor deze kennisleemten is het ontbreken van inzicht in het hydrologisch functioneren van het Liefstingsbroek als geheel, en langs lokale gradiënten. Daarnaast is er een aantal ontwikkelingen in het kader van het Nationaal Natuur Netwerk (NNN) gaande in de omgeving van het Liefstingsbroek waarvan het effect op ecohydrologie in het gebied onbekend is. In dit project worden de inzichten in de waterhuishouding en ecohydrologie van het Liefstingsbroek verdiept, zodat aanknopingspunten worden verkregen voor effectief herstel van de waterhuishouding. Dit draagt bij aan het vormgeven van een maatregelenpakket voor anti-verdroging en mitigatie van stikstofdepositie ten behoeve van het realiseren van de N2000-instandhoudings- en uitbreidingsdoelen. Dit project is daarmee leverend aan de evaluatie en actualisatie van het N2000-beheerplan.

1.2 Doel

Het doel van het voorliggende onderzoek is om (1) aanknopingspunten te identificeren voor behoud en herstel van habitattypen in het Liefstingsbroek, (2) de belangrijkste hydrologische knelpunten in kaart te brengen en (3) een beeld te vormen van de ontwikkelpotentie buiten habitattypen met een focus op grondwaterafhankelijke natuur. De reikwijdte van dit project is beperkt tot het vaststellen van zoekrichtingen en –gebieden. Fine-tuning van het waterbeheer en het ontwerpen van maatregelen vallen buiten de reikwijdte van deze opdracht, maar relevante aanbevelingen zullen voor zo ver mogelijk worden meegenomen.

Dit onderzoek geeft antwoord op de volgende onderzoeksvragen:

- Waar kan basenhoudend grondwater de wortelzone bereiken in de huidige situatie, hoe groot is de kwelflux (indicatief), welke kwaliteit heeft het kwelwater, en waar komt het water vandaan?
- Biedt de huidige waterhuishouding in het Liefstingsbroek perspectief voor N2000 habitattypen blauwgrasland (H6410), Beuken-eikenbos (H9120), Eiken-Haagbeukenbos (H9160A) en beekbegeleidend Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C)?
- Welke hydrologische herstelmaatregelen kunnen bijdragen aan verbetering van de kwaliteit van de in het Liefstingsbroek aanwezige habitattypen en andere grondwaterafhankelijke natuur in met name het aangrenzende natuurontwikkelingsgebied?
- In welke mate biedt de afgegraven bodem in het natuurontwikkelingsgebied Ellersinghuizerveld potenties om de genoemde habitattypen uit te breiden?
- Welke monitoring is noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in lokale gradiënten in hydrologie, chemie en ecologie?

1.3 Leeswijzer

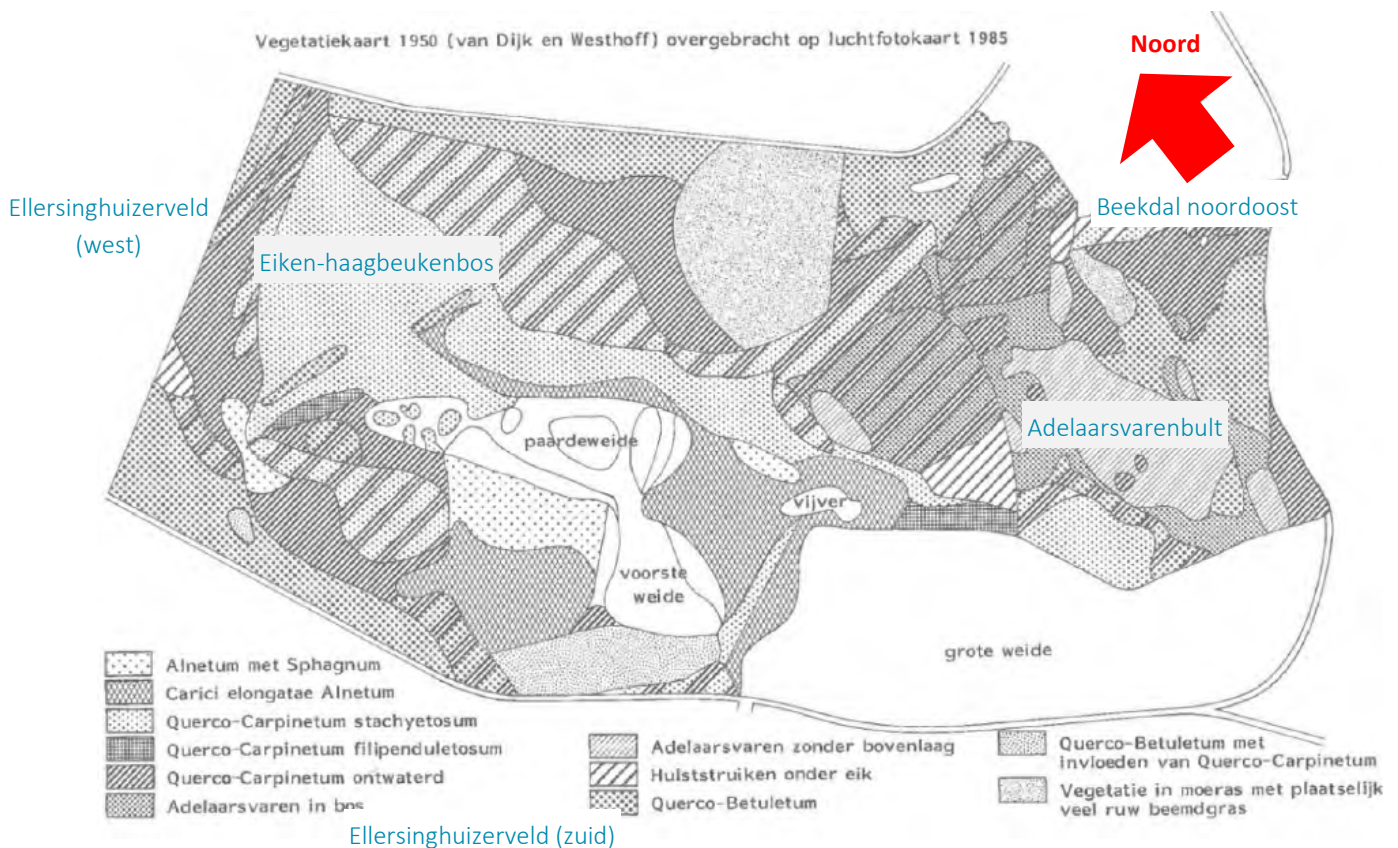
In het volgende hoofdstuk wordt een korte gebiedsbeschrijving gegeven van het Liefstingsbroek. Hierbij ligt de nadruk op nieuwe informatie ten opzichte van eerdere studies en belangrijke informatie om de resultaten te kunnen interpreteren. De totstandkoming van het grondwatermeetnet wordt ook in dit hoofdstuk beschreven. Voor details omtrent meetprotocollen en totstandkoming van resultaten verwijzen wij naar Bijlage I. Veel materiaal is naar de bijlagen geplaatst in een poging de leesbaarheid te vergroten. De resultaten van de metingen komen aan bod in hoofdstuk 3. Per deelgebied worden deze resultaten gebundeld in hoofdstuk 4, op basis waarvan knelpunten worden geïdentificeerd in hoofdstuk 5. Oplossingen van deze knelpunten met hydrologische maatregelen en vervolgonderzoek worden in respectievelijk hoofdstuk 6 en 7 gepresenteerd. De hierboven genoemde onderzoeksvragen worden in hoofdstuk 8 beantwoord.

2 Gebiedsbeschrijving

In eerder onderzoek is het Liefstingsbroek reeds gedegen beschreven. Om deze reden verwijzen wij naar van Delft *e.a.* (2017) en Salomons *e.a.* (2017) voor algemene informatie over het gebied met betrekking tot o.a. historisch landgebruik, landschappelijke ligging, en algemene ecologische en geohydrologische informatie. In deze paragraaf behandelen we een aantal aanvullende aspecten die in voorgaande beschrijvingen onderbelicht zijn gebleven en die van belang zijn om resultaten in perspectief te kunnen plaatsen.

2.1.1 Naamgeving onderzoekslocaties

Voor de leesbaarheid van dit rapport wordt in plaats van enkel getallen van monsternamelocaties gerefereerd naar een toponiem. Deze toponiemen sluiten voor zo ver mogelijk aan bij eerdere naamgeving van de vegetatiekaart zoals in 1950 opgesteld door van Dijk en Westhoff (Figuur 2-1).



Figuur 2-1. Naamgeving van onderzoekslocaties volgens van Dijk en Westhoff en nieuwe 'toponiemen' (in blauw). Let op de richting van de noordpijl.

2.1.2 Waterlopen

Om de resultaten te kunnen duiden en knelpunten te identificeren is inzicht in de waterlopen in en om het Liefstingsbroek essentieel. Waterlopen kunnen namelijk water uit het Liefstingsbroek onttrekken, maar in perioden van droogte ook zorgen voor aanvoer van (vervuild en/of eutroof) oppervlaktewater. Het Liefstingsbroek is voor het grootste gedeelte omringd door randsloten (Figuur 2-2). In de winter is het gebied daardoor in grote mate geïsoleerd van de omgeving. Oppervlaktewater verlaat het gebied via 3 locaties: een stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek, een stuw ten noorden van het Liefstingsbroek, en een schouwsloot in de zuidelijke punt van het Liefstingsbroek. De stuwen in de westpunt en ten noorden van het Liefstingsbroek vallen in beheer van Natuurmonumenten (zie Bijlage IX voor eigendomskaart Natuurmonumenten). Dit is een zeer wenselijke situatie, omdat het de gelegenheid biedt om in grote mate de waterhuishouding van het Liefstingsbroek te sturen.

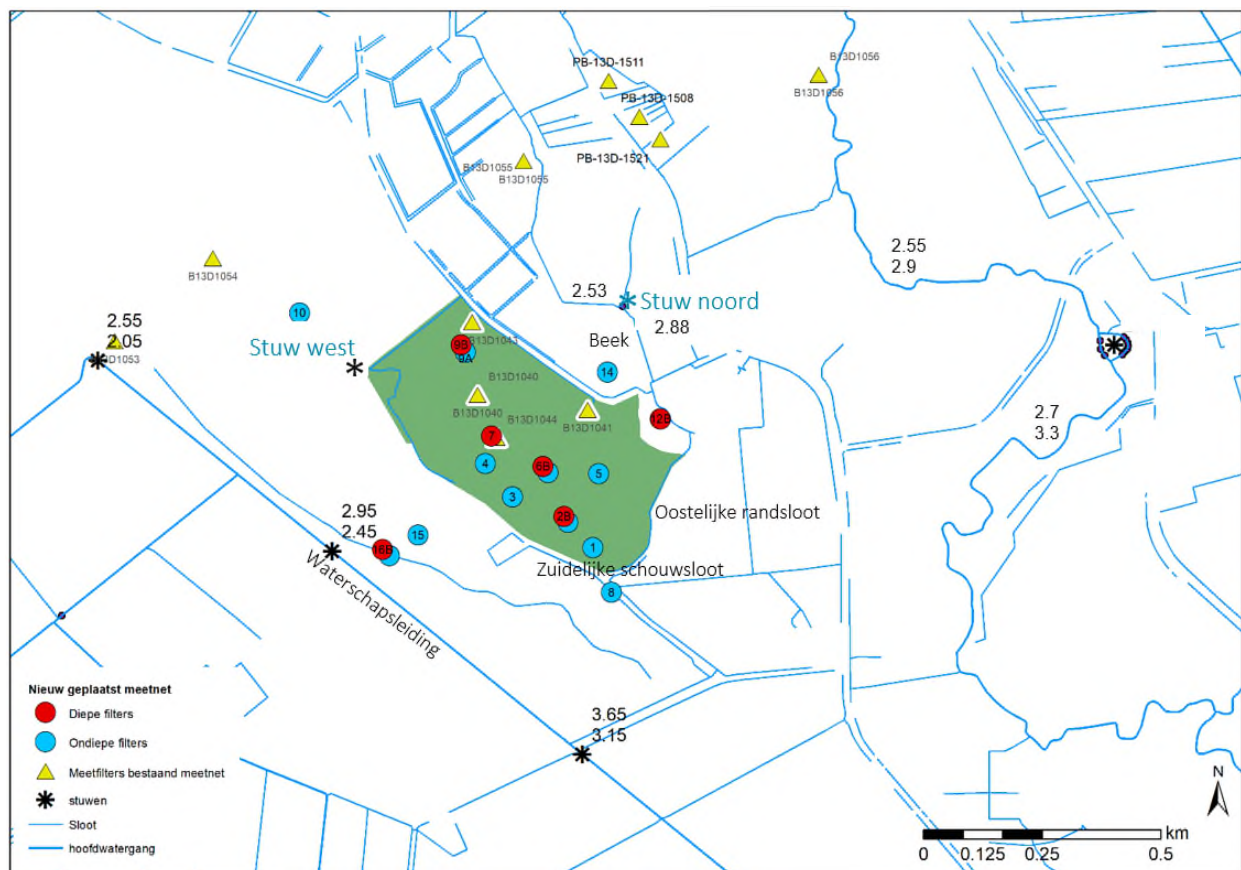
De stuw in de westpunt het Liefstingsbroek is sinds 2018 operationeel, met het doel het gebiedseigen water te conserveren. Het peil van de randsloten aan de noord/zuidwestzijde van het Liefstingsbroek wordt met deze stuw gestuurd. Daarnaast heeft deze stuw effect op het vasthouden en infiltratie van stagnerend regenwater in de Voorste Weide, Paardeweide, en broekbossen in het centrale en westelijk deel van het Liefstingsbroek.

De schouwsloot in de zuidelijke punt van het Liefstingsbroek is aangesloten op de hoofdwaterloop. Deze schouwsloot heeft als hoofdfunctie om het nabijgelegen woonerf droog te houden. Deze sloot draineert waarschijnlijk voornamelijk de Grote weide en een deel van het Ellersinghuizerveld (Figuur 2-2).

De waterlopen aan de noordzijde van het Liefstingsbroek draineren het noordoostelijke beekdal, waarvan de drainagebasis gereguleerd wordt door een stuw. Ook de oostelijke randsloot staat hiermee in verbinding. Daarmee wordt de afwatering van zowel het oostelijk als noordelijk deel met de noordelijke stuw gestuurd. Daarnaast staat het natuuroitbreidingsgebied ten noorden van het Liefstingsbroek (locatie 14) in verbinding met de stuw. Het peil van de sloot stroomafwaarts van deze stuw, die water in noordwestelijke richting het gebied uit voert, wordt geschat op zo'n 2.53 m+NAP. Dat is beduidend lager dan het peil bovenstrooms (2.88 m+NAP; geschat op basis van AHN3). De sloot ten noorden van locatie 14 zal daarmee een flink drainerend effect hebben op het noordelijk deel van het Liefstingsbroek.

Ten zuidwesten van het Liefstingsbroek, ligt op 260 m (kortste afstand) van de reservaatsgrens een forse waterloop, die richting het noordwesten afwatert. Het peil in deze waterloop wordt langs het Liefstingsbroek met een drietal stuwen beheerd. Van deze waterloop wordt verwacht dat deze zowel in de zomer als in de winter het Liefstingsbroek draineert.

Tot slot ligt ten oosten en ten noorden van het Liefstingsbroek de Ruiten Aa (kortste afstand ca 500 m). Hiervan kan niet uitgesloten worden dat deze ook effect heeft op de waterhuishouding in het Liefstingsbroek. Sinds het laatste peilbesluit wordt in De Ruiten Aa een peilfluctuatie in een min-max bereik gehanteerd. Ten zuiden (stroomopwaarts) van de Rennenborgerweg is het peil minimaal 2.7 m+NAP (zomer) tot maximaal 3.3 m+NAP (winter). Stroomafwaarts is het peilbereik 2.55 – 2.9 m+NAP (Figuur 2-2). In tegenstelling tot de stuwpeilen van de sloten rond het Natura 2000-gebied is het peil in de Ruiten Aa dus doorgaans lager in de zomer en hoger in de winter.

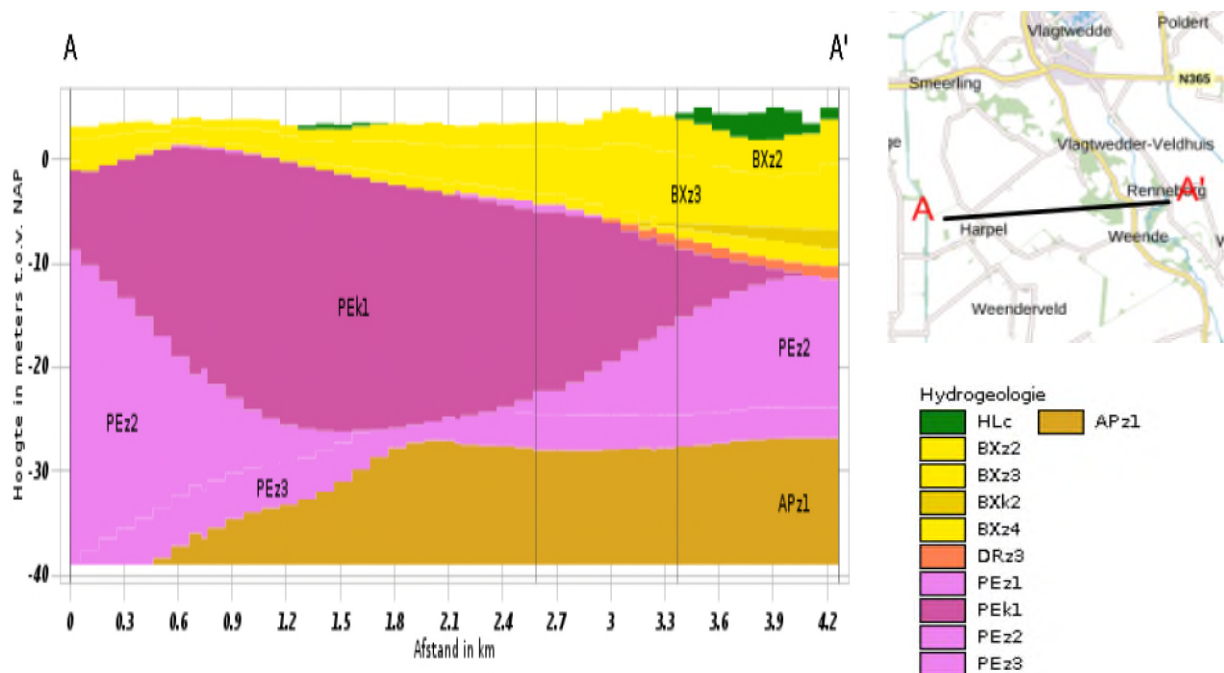


Figuur 2-2. Overzicht van waterlopen in en om het Liefstingsbroek. Het bovenste en onderste getal bij stuwen geven respectievelijk het zomer- en winterpeil weer voor de stuwen in de watergang ten zuidoosten van het Liefstingsbroek. In de Ruiten Aa gaat het om minimaal/maximaal peil. De zwarte woorden zijn aanduidingen waar in de tekst vaak naar verwezen wordt.

2.1.3 Geohydrologie

Ook voor de geohydrologische beschrijving verwijzen wij de lezer naar (van Delft *e.a.*, 2017). Wat volgt is een samenvatting van de belangrijkste aspecten die de kern van de geohydrologie in het Liefstingsbroek beschrijven en een aantal belangrijke aspecten die in eerdere literatuurstudies nog niet aan bod zijn gekomen.

Het freatisch pakket van het Liefstingsbroek bestaat uit dekzanden behorend tot de Formatie van Boxtel (Figuur 2-3). Over het algemeen bestaan deze afzettingen uit matig tot zeer fijn siltig zand, en hebben een doorlatendheid van 5 – 10 m/d (TNO-GDN, 2021). Met een aangetroffen dikte van 6 – 10 m binnen de grenzen van het Liefstingsbroek (BRO REGIS II v2.20) is daarmee het doorlaatvermogen (kD) ca 30 – 100 m²/d. Onder deze afzetting wordt potklei uit de Formatie van Peelo aangetroffen. Potklei heeft een hoog percentage zeer fijne klei, met lutumgehalten tot ca 90%. Volgens het ondergrondmodel komt deze afzetting onder het gehele Liefstingsbroek voor, met een weerstand van 10.000 – 100.000 dagen. Daarmee zou deze potklei een barrière vormen voor aanvoer van kwel vanuit het onderliggende watervoerend pakket, bestaande uit zandige afzettingen uit de Formaties van Peelo, Appelscha, Peize, en Waalre.

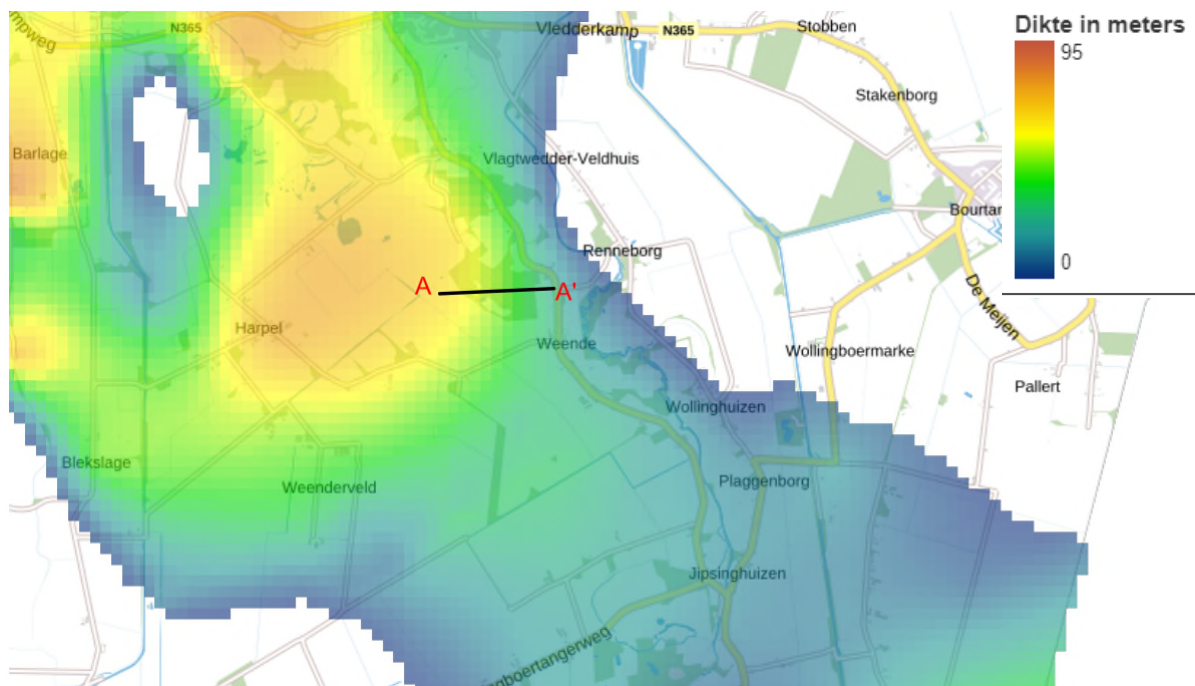


Figuur 2-3. Geohydrologische dwarsdoorsnede in/om het Liefstingsbroek gebaseerd op ondergrondmodel REGIS II v2.20. BX = Formatie van Boxtel; PE = Formatie van Peelo; AP = Formatie van Appelscha. (TNO-GDN, 2021). k = klei, z = zand. De ligging van het Liefstingsbroek is tussen de twee verticale grijze lijnen, op het tracé van ca 2.6 – 3.4 km.

Ondergrondmodellen zijn echter gebaseerd op een schaars aantal metingen die geïnterpoleerd en uitgevlakt worden met geostatistische methoden. Het gevolg daarvan is dat overgangen tussen afzettingen niet de werkelijkheid hoeven te representeren. Over het algemeen zullen grenzen in dergelijke modellen gradueler voorgesteld worden dan ze in werkelijkheid zijn. Bij gebrek aan een voldoende dicht meetnet kunnen bovendien veranderingen in dikte en gaten in dergelijke afzettingen niet goed weergegeven worden. Deze onzekerheden treden vooral op langs randen van afzettingen. Potklei is gevormd in diep uitgesleten tunneldalen onder gletsjers, waardoor de begrenzing van het voorkomen van potklei in de ruimte relatief scherp is. Ondergrondmodellen zullen door deze plotselinge overgangen, zeker met schaarse gegevens en gebieden met weinig boringen, gemoeid zijn met behoorlijke onzekerheid.

Dit is ook het geval van de Peelo klei in/om het Liefstingsbroek, wat op de overgang van aan/afwezigheid van potklei ligt. Deze interpolatie is in de omgeving van het Liefstingsbroek hoofdzakelijk gebaseerd op twee boringen. Net ten noorden van het Liefstingsbroek is nog 25 m potklei aanwezig, maar in de boring bij Renneborg is de potklei reeds verdwenen (Figuur 2-4, Bijlage IV). Binnen een kilometer is de potklei dus niet meer aanwezig in de ondergrond. De grens waar de potklei eindigt, bevindt zich dus ergens onder het Liefstingsbroek. Juist dergelijke overgangen kunnen echter potentie bieden voor aanvoer van kwel uit diepere watervoerende pakketten (in dit geval zandige afzetting uit Formatie van Peelo en Appelscha (PEz3 en APz1 in Figuur 2-3).

De bodem van het Liefstingsbroek is gevormd in de periode dat de ligging van de Ruiten Aa nog niet vast lag, maar door het landschap meanderde en door de tijd van ligging veranderde. Hierdoor treedt in de toplaag van het Liefstingsbroek een fijnschalige heterogeniteit op in bodemtypen: klei, leem, en zand wisselen elkaar zowel in het horizontale vlak als in de diepte (tot maximaal ca 1 m-mv) sterk af. Dit is van belang, omdat vooral klei (doorlatendheid ca 0.001 – 0.05 m/d) een slecht doorlatende laag kan vormen. Daardoor infiltreert regenwater niet gemakkelijk in de bodem en vult het grondwater niet aan, maar stagneert op het maaiveld. Vanaf daar kan het water stagneren en/of over het oppervlak afgevoerd worden door laagtes in het landschap. Hoe deze laagtes met elkaar verbonden liggen, bepaalt de mate van stagnatie van regenwater en in hoeverre het wordt afgevoerd naar waterlopen in de omgeving.



Figuur 2-4. Ruimtelijke verbreiding en dikte van de kleiige afzetting in de Formatie van Peelo (potklei), zoals geostatistisch geïnterpoleerd in ondergrondmodel REGIS II v2.2.

2.2 Inrichting grondwatermeetnet

2.2.1 Meetdoelen

Het opgestelde grondwatermeetnet is ingericht met de volgende meetdoelen:

- Vergroten inzicht in functioneren van het grondwatersysteem in en om het Liefstingsbroek. Waar liggen kwelpotenties, en waar komt de kwel vandaan? Hierbij zijn zowel grondwaterstroming (kwantiteit) als kwaliteit aan de orde.
- Bepalen potentie Natura 2000 habitattypen. De nadruk ligt daarbij op het kwelafhankelijke blauwgrasland.
- Optimalisatie: Balanceren meetdoelen van grondwaterstand, grondwaterkwaliteit en stijghoogte.

Bij het opstellen van het meetnet is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande en oude peilbuislocaties (Borren, 2020). De uitkomsten van dit onderzoek bieden een onderbouwing voor het opstellen van het beheerplan en optimaliseren van de waterhuishouding in en om het Liefstingsbroek. Zo kunnen beheermaatregelen optimaal afgestemd worden voor behoud en herstel van de in het Liefstingsbroek aanwezige N2000 habitattypen blauwgrasland (H6410), Eiken-Haagbeukenbos (H9160A), Beuken-eikenbos (H9120) en beekbegeleidend Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C). Aanvullend bieden de uitkomsten inzicht in de kansrijkdom van habitattypen voor de deelgebieden in het Liefstingsbroek waar (nog) geen habitatype aanwezig is en voor de nieuwe natuurgebieden buiten de N2000-begrenzing.

2.2.2 Meetnet

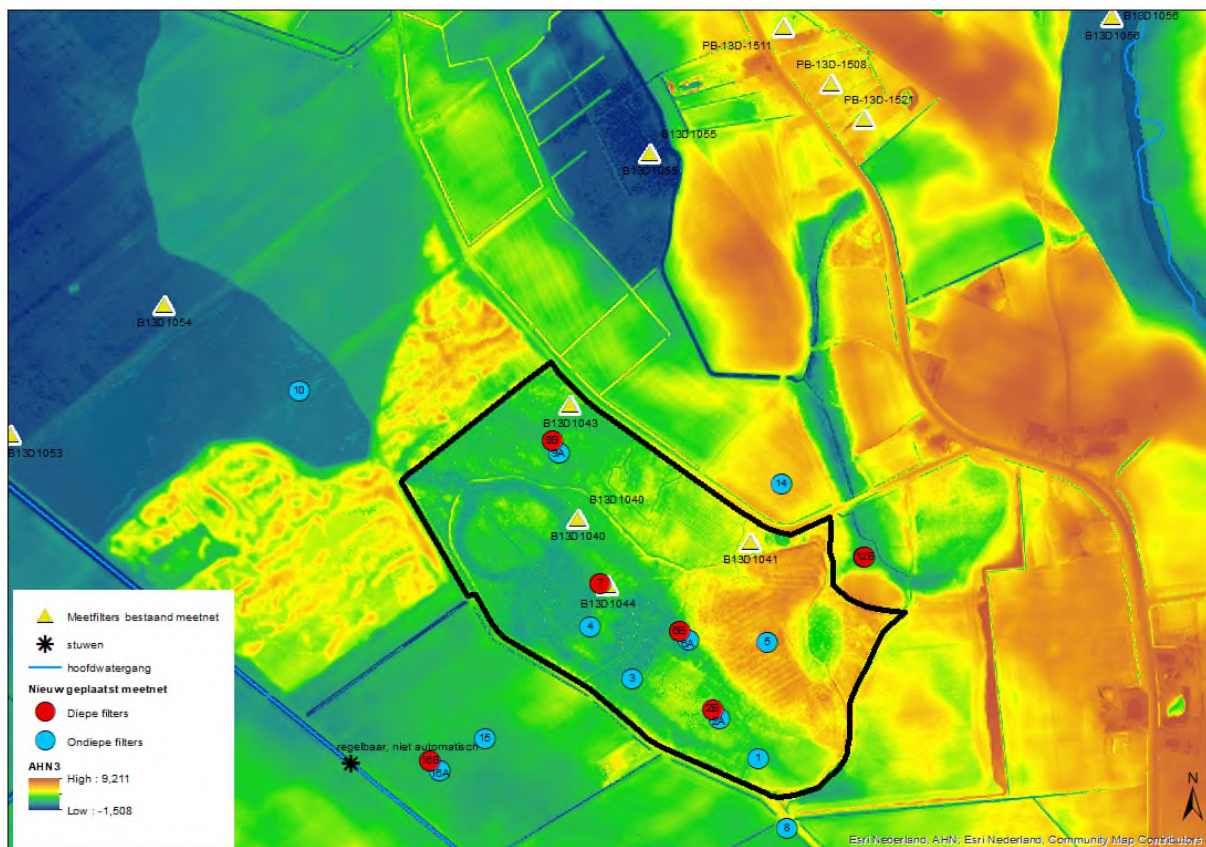
In Figuur 2-5 zijn de bestaande en nieuw geplaatste meetpunten weergegeven. Om zowel de ondiepe als diepe filters zichtbaar te maken, zijn voor de peilbuizen met meerdere filters de cirkels van de ondiepe filters iets verschoven op de kaart. De daadwerkelijke locaties van deze peilbuizen betreffen de locaties van de diepe filters op de kaart. Voor de leesbaarheid zijn de volledige (lokale) meetpuntnamen afgekort tot cijfers (bijvoorbeeld 5 = LIEF005_1 in Bijlage V). Locaties van bodemonsters hebben voorvoegsel 'bod-'.

Het bestaande grondwatermeetnet is aangevuld met filters in en in de omgeving van het Liefstinghsbroek. De lokatiekeuze is gebaseerd op informatie uit eerdere rapportages, eerder geplaatste meetnetten, en bestaande gegevens zoals hoogteligging (AHN), bodemtype en de vegetatie. Daarnaast is een veldbezoek uitgevoerd met de provincie, het waterschap en natuurmonumenten om de geschiktheid van beoogde locaties te beoordelen. Tijdens het veldbezoek zijn de volgende relevante observaties gedaan:

Het grondwatermeetnet is zodanig opgezet dat (1) lokale natuurpotenties kunnen worden ingeschat op basis van grondwaterdynamiek (2) een beeld verkregen kan worden van stromingsrichting van het grondwater. Daarvoor zijn een aantal peilbuisraaien aangebracht in het Liefstinghsbroek. De eerste raai is aangelegd langs de gradiënt van lokale dekzandruggen via elzenbroekbos naar het blauwgrasland in de Paardeweide (5-6-4-7). Een tweede 'raai' bestaat uit de dekzandrug en het noordoostelijk beekdal (14-12). Verder is een raai geplaatst parallel aan de verwachte dominante noordwestelijke stromingsrichting (1-2-3-4-9-10) (van Delft *e.a.*, 2017). De eerste raai, van adelaarsvarenbult naar blauwgrasland ligt praktisch haaks op deze stromingsrichting. Verder is een raai geplaatst van de waterschapsleiding, ten zuidwesten van het Liefstinghsbroek, tot in het Liefstinghsbroek (16-15-3-6).

Voor de kwantificatie van het grondwaterregime en bemonstering van ondiep grondwater zijn op 13 locaties filters geplaatst op een diepte van ca 1.6 m-mv. De filterstelling was zodanig dat de filters naar verwachting niet droog zouden vallen en de stijghoogte representatief is voor altijd dezelfde laag, en dezelfde laag bemonsterd wordt. De diepste grondwaterstand (GLG) en plaatsing van de filters is gebaseerd op de grondwatertrappenkaart van van Delft *e.a.* (2017) (Bijlage 0). Bemonstering voor waterkwaliteit dieper in het watervoerend pakket is gerealiseerd door op zes locaties peilbuizen dieper (ca 6 m-mv) te plaatsen. De filterlengte voor de ondiepe buizen was 0.3 m, voor diepe buizen 0.5 m. Potentiaal verschillen tussen boven elkaar geplaatste filters geven een indicatie van kwel indien voldoende weerstand tussen de filters aanwezig is. Zie bijlage V voor metadata van de geplaatste filters.

Om de aanwezigheid van kwel en variatie door te tijd te identificeren en verder te onderbouwen, is op drie strategisch gekozen locaties een EGV-tijdreeks verzameld met Keller-CTD loggers (zie paragraaf I.IV voor meer informatie). Met de aanname dat de invloed van basenrijk grondwater zich laat kenmerken door een hoger EGV, kan zo in theorie bepaald worden in welke perioden basenrijke kwel het filter passeerde. De CTD loggers zijn geplaatst in ondiepe filters op locaties 2, 6, en 16.



Figuur 2-5. Gerealiseerde meetnet met diepe en ondiep geplaatste filters. Diepe filters betreffen doorgaans 5.5 m-mv, ondiepe filters 1.6 m-mv. Zie bijlage V voor metadata van de geplaatste filters. NB: voor de leesbaarheid zijn de volledige (lokale) meetpuntnamen afgekort tot cijfers (bijvoorbeeld 5 = LIEF005_1 in Bijlage V).

2.2.3 Kalkgehalte en zuurgraad diepere ondergrond

Voor alle boringen is een profielbeschrijving, bruistest en zuurgraadbepaling uitgevoerd. De bruistest heeft als doel om een inschatting te kunnen maken van de aanwezigheid van kalk in de ondergrond. Op verschillende diepten is daartoe een oplossing van 10% zoutzuur op opgeboord materiaal gedruppeld. Op basis van gehoor en mate van zichtbare bruising kan een inschatting worden gemaakt van het kalkgehalte van de betreffende bodemlaag. Hiervoor hebben wij een classificatie met vier categorieën gebruikt (Tabel 2-1), die oorspronkelijk voor duinbodems is ontwikkeld. Ten opzichte van een indeling met 3 klassen (voor heel Nederland), heeft dit als voordeel dat meer nuance in het kalkgehalte gemaakt kan worden. Nadeel is dat de indeling gericht is op de duinen en de bruiscategorieën gerelateerd zijn aan andere kalkvormen (namelijk jonge, vaak grove schelpkalk). Naar verwachting is daardoor het kalkgehalte in Tabel 2-1 een overschatting. De bijbehorende kalkgehalten zijn daarom indicatief en dient deze test vooral om een kwalitatief ruimtelijk beeld te verkrijgen.

Tabel 2-1. Bruistest classificatie naar Stuyfzand e.a. (2019). Het kalkgehalte is gebaseerd op monsters afkomstig van duinbodems in de Kennemerduinen, west Nederland, en daarom slechts (zeer) indicatief voor overige bodems.

Bruisklasse	Audiovisuele reactie	Kwalitatieve kalkbeschrijving	CaCO ₃ gehalte (% m/m)
1	Niet zichtbaar, niet hoorbaar	Zeër kalkarm	0 - 0.2
2	Niet zichtbaar maar hoorbaar	Licht kalkhoudend	0.2 - 0.5
3	Visueel zwak bruisend	Matig kalkhoudend	0.8 – 2.2
4	Visueel sterk bruisend	Zeër kalkhoudend	1.2 – 11.0

Met behulp van pH-strookjes is op dezelfde diepten als de bruistest een indicatie van de zuurgraad verkregen. Uit het verloop van zuurgraad met diepte (pH-profielen) kan een inschatting gemaakt worden van de aanwezigheid van kwel(potentie) (Tabel 2-2). Zowel de bruistest als de pH-infiltratieprofielen leveren grove indicaties, maar geven eenvoudig en met lage kosten een ruimtelijk beeld van de potenties in het Liefstingsbroek.

Tabel 2-2. pH waarden voor classificatie van pH-profieltypen naar van Delft e.a. (2017). Gebaseerd op pH indicatie tot een diepte van 155 cm beneden maaiveld.

Maximale pH in dieptetraject			pH-profieltype	
Dieper dan 20 cm	20 cm tot GLG	0 – 20 cm	Code	Omschrijving
≥ 5.5	≥ 5.5	≥ 5.0	Kw	Kwelinvloed in wortelzone
		< 5.0	Ro	Kwelinvloed aanwezig, ondiepe regenwaterlens
	< 5.5		Rd	Kwelinvloed aanwezig, diepe regenwaterlens
< 5.5	≥ 5.0		Lo	Mogelijk lokaal kwelwater, zwak gebufferd
	4.5 – 5.0		InA	Basenarm infiltratieprofiel
	< 4.5		InZ	Zuur infiltratieprofiel

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden per paragraaf de resultaten voor afzonderlijke variabelen besproken. Voor de leesbaarheid zijn de peilbuislocaties afgekort tot een cijfer (b.v. LIEF005 wordt 5). Bodembemonsteringslocaties worden weergegeven met voorvoegsel 'bod-'.

3.1 Kalk in de ondergrond

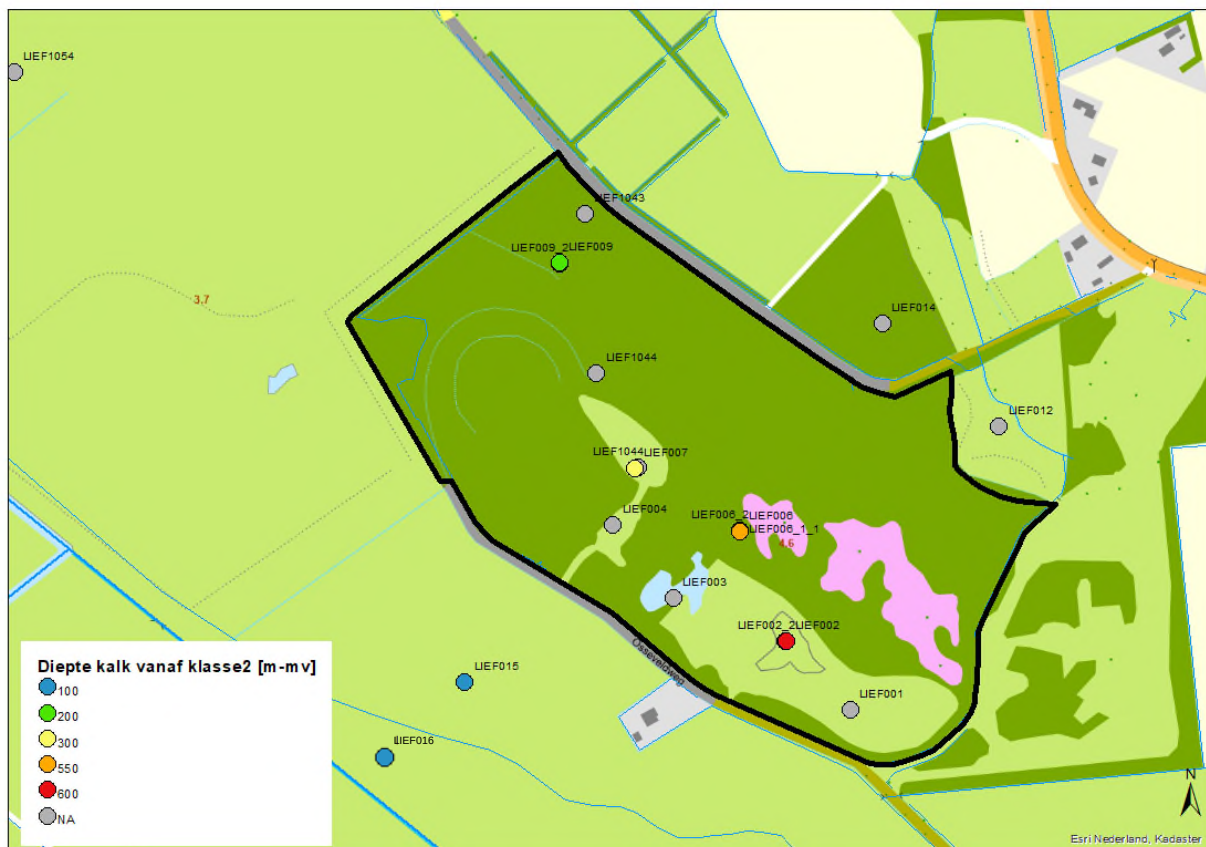
Samengevat

In vijf van de zes diepe boringen (tot 6 m-mv) is kalk aangetroffen, beginnend op een diepte tussen 1,5 en 6 meter beneden maaiveld (Figuur 3-1 en Figuur 3-2). De hoogste gehalten zijn aangetroffen in de westelijke helft van het Liefstingsbroek en in het Ellersinghuizerveld (7, 9 en 16). Ook in een van de ondiepe boringen bleek kalk aanwezig (op 1,5 m-mv). Oplossing van kalk in het freatisch pakket vormt dus een bron van basenrijk grondwater.

Uit de bruistest en pH profielen komt naar voren dat er in de ondiepe ondergrond (< 1 m-mv) geen kalk voorkomt in het Liefstingsbroek en omgeving (Figuur 3-2). Locatie 15 en 16 in het Ellersinghuizerveld zijn daarop een uitzondering. Daar is wel een hoger kalkgehalte genoteerd op 1 m diepte beneden maaiveld, maar dat komt niet overeen met de lage pH en betreft mogelijk een foutieve observatie (in open veld met veel wind is het notoir lastig om bij de bruistest op gehoor de kalkaanwezigheid vast te stellen).

In de diepere ondergrond is op een aantal locaties kalk in de ondergrond aangetroffen. Vooral vanaf de Paardeweide tot de noordwestzijde in het gebied, bij het eiken-haagbeukenbos en het Ellersinghuizerveld (locatie 9 en 10) is kalk vanaf ca 2 m beneden maaiveld aangetroffen. Ook in de Paardeweide (locatie 7) is kalk aanwezig, vanaf ca 3 m beneden maaiveld.

Opvallend is de grote heterogeniteit van kalkgehalten. Locatie 6 en 7 zijn slechts ca 100 m van elkaar verwijderd, maar op locatie 7 wordt beduidend meer kalkhoudend materiaal aangetroffen. Dit kan mogelijk worden verklaard doordat (zuur) water op de Adelaarsvarenbult infiltreert (locatie 5), dat de ondergrond reeds heeft uitgeloogd op locatie 6. Het ontkalkingsfront heeft daarbij kennelijk nog niet locatie 7 bereikt. Op een diepte van ca 6 m-mv is potklei aangetroffen (locatie 2 en 16). Vlak boven die klei wordt op deze locaties kalk aangetroffen, maar verder is tot grote diepte (6 m-mv) geen kalk aanwezig.



Figuur 3-1. Ruimtelijke verbreiding en diepte ten opzichte van maaiveld (m-mv) van kalk. Plekken waar met de bruistest geen kalk is aangetroffen over het gehele bemonsterde profiel zijn met grijs weergegeven. De gepresenteerde diepten stellen de diepte voor waarop voor het eerst kalk is aangetroffen (klasse 2; licht kalkhoudende bodem).

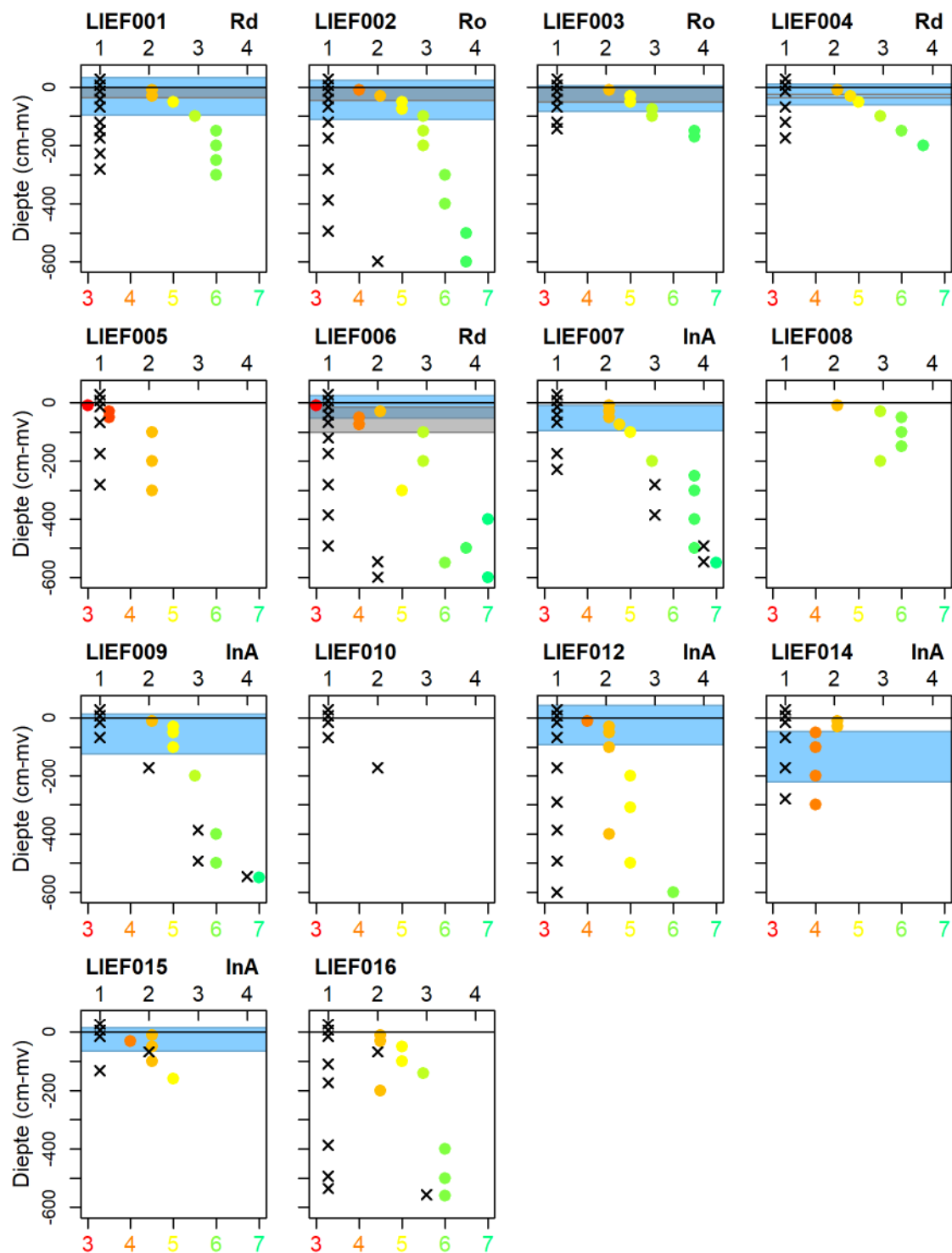
3.2 pH-profielen

Samenvatting

De pH is op alle boorpunten boven in het profiel laag (pH 4,0-4,5). Dat wijst op regenwaterinvloed en uitspoeling van de bovenste bodemlagen. Onder de hoge ruggen is ook dieper in het profiel regenwater aanwezig. Op de lagergelegen plekken is de pH dieper in het profiel duidelijk hoger. Er is dan sprake van een regenwaterlens met daaronder basen-houdend grondwater. Op een aantal plekken wijst het profiel op kwel maar wordt het kwelwater afgedekt door een regenwaterlens. Op andere plaatsen is geen sprake van kwel, maar stroomt het basen-houdende grondwater onder de regenwaterlens door lateraal af.

Op basis van de pH-profielen (Figuur 3-2) kan met de systematiek uit Tabel 2-2 een inschatting worden gemaakt van de kwelinvloed. Voor de bepaling is een schatting van de GLG nodig, die niet voor alle locaties bepaald kon worden. Hierdoor ontbreekt voor een aantal locaties een infiltratieprofiel. Op geen van de bemonsterde locaties is er een duidelijke kwelinvloed aanwezig: kwelprofielen ontbreken. Zowel in de Grote weide (1, 2, 3), de Voorste weide (4) en de elzenzeggezone (6) is een regenwaterlens aanwezig. Voor locatie 2 en 3 is de regenwaterlens ondiep. Op deze locaties zou in potentie kwel naar de wortelzone kunnen optreden, maar wordt die tegengegaan doordat te veel regenwater kan infiltreren. Op zijn beurt kan dat weer verklaard worden door te sterke ontwatering.

Ondanks de hoge pH vanaf ca 4 m-mv in het elzenbroekbos (6), kon met de bruistest geen aanwezigheid van kalk worden vastgesteld. De kleilaag in de bovenste 85 cm van het bodemprofiel op deze locatie heeft een zeer lage pH. Onder de kleilaag is de zuurgraad beduidend hoger. In het hoger gelegen deel van de Paardeweide (locatie 7) is een basenarm infiltratieprofiel aanwezig.



Figuur 3-2. Diepteprofielen van zuurgraad (gekleurde cirkels) en bruistest-klasse (x-symbool) per locatie. De onderste gekleurde x-as geeft de pH weer, de x-as boven de figuren de bruistestklassenindeling (Tabel 2-1) naar Stuyfzand e.a. (2019). Blauwe en grijze vlakken geven respectievelijk het grondwaterregime (bereik GLG en GHG) en kleilagen weer. De codering rechtsboven de grafieken is een classificatie van het pH-profiel. Ro = Kwel-invloed aanwezig, ondiepe regenwaterlens; Rd = kwel-invloed aanwezig, diepe regenwaterlens; InA = basenarm infiltratieprofiel; InZ = zuur infiltratieprofiel (Zie Tabel 2-2). Alleen voor locaties waarvoor een betrouwbaar tijdreeksmodel kon worden opgesteld, zijn het grondwaterregime en de pH-profielen bepaald. De horizontale zwarte lijn geeft de maaiveldpositie weer.

3.3 Waterhuishouding

Samengevat

De in 2021 gemeten grondwaterstandsreeksen geven een duidelijk beeld van de hydrologische gradiënten in en om het Liefstingsbroek. In het voorjaar waren de grondwaterstanden het hoogst en trad opbolling op in de zandruggen binnen het gebied. Vanaf de Adelaarsvarenbult was er een verhang van ca. 0,4 m naar de Grote weide, de Paardenweide en de oostelijke beekdalflank. In deze periode zal in de zandrug geïnfiltreerd regenwater als lokaal grondwater naar de lagere delen toestromen.

In de zomer daalde de grondwaterstand. Opvallend is dat de grondwaterstand in de Adelaarsvarenbult daalde tot een zelfde of zelfs lager niveau dan in de Grote weide en de Paardenweide. De stromingsrichting kan dan zelfs van richting keren: de opbolling in de zandrug, die de motor is achter het lokale kwelsysteem, valt geheel weg. Dat is opvallend, aangezien 2021 een relatief natte zomer had.

Op basis van grondwaterstandsreeksen en stuwpeilen kan geconcludeerd worden geworden dat het Liefstingsbroek door omliggende waterlopen gedraineerd wordt, waardoor basenrijk en gebufferd grondwater wordt afgevoerd en dikkere neerslaglenzen ontstaan.

In deze paragraaf wordt eerst een beeld geschetst van de waterhuishouding op landschapsniveau. Vervolgens wordt in meer detail ingegaan op specifieke peilbuisraaien die belangrijke informatie geven over waterhuishouding van het Liefstingsbroek.

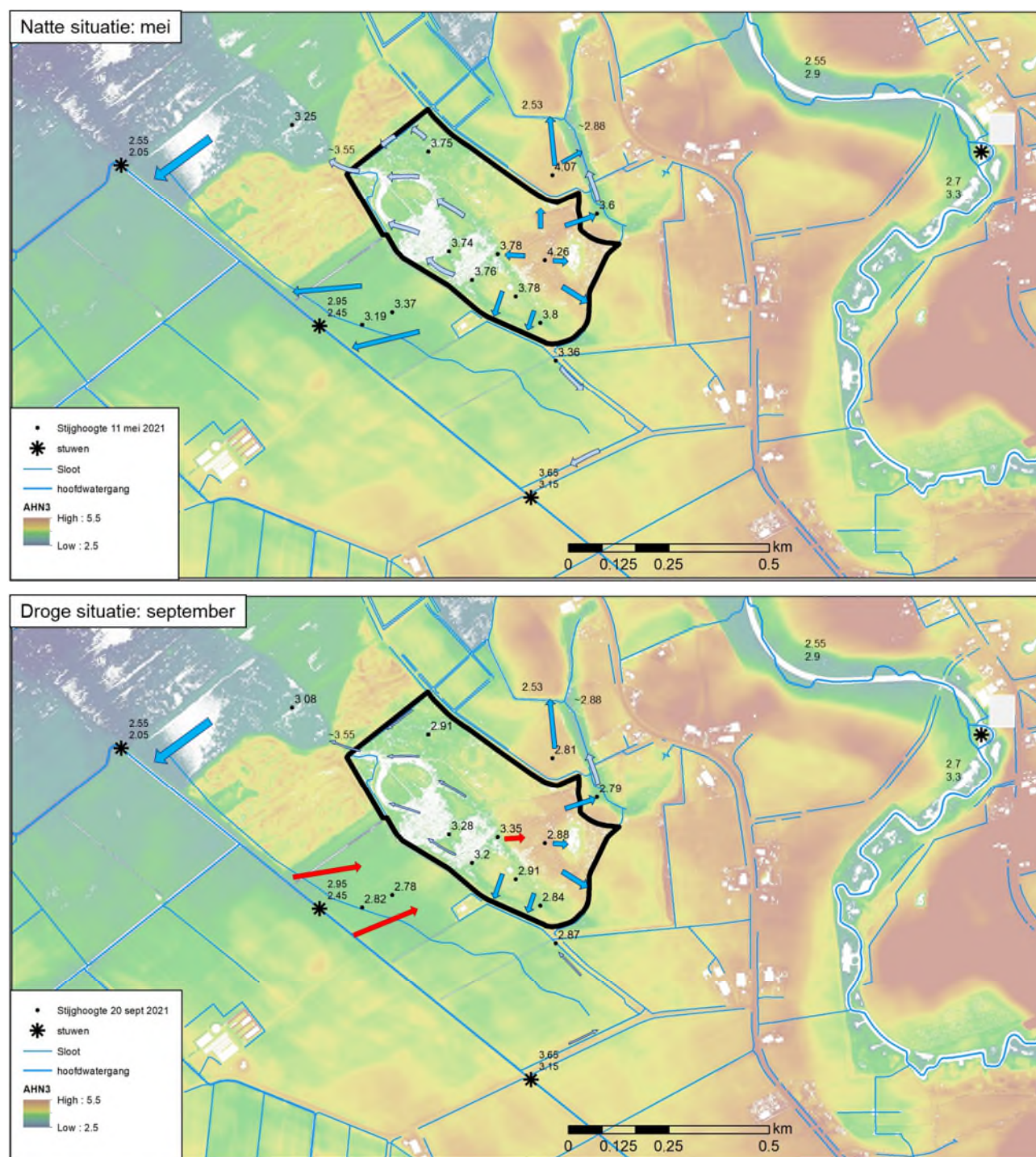
3.3.1 Grondwaterstroming op landschapsniveau

Op basis van de tijdreeksen van stijghoogte is een reconstructie gemaakt van grondwaterstroming in het Liefstingsbroek (Figuur 3-3). Dit is gedaan voor zowel een natte als een droge periode, omdat in sommige delen van het gebied de stromingsrichting in deze perioden van elkaar verschilt. De momentopnamen zijn bepaald op basis van het cumulatief potentieel neerslagoverschot (Figuur 3-9) en tijdreeksen, waarbij 11 mei 2021 als natste en 20 september 2021 als droogste dagen naar voren kwamen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de zomer van 2021 uitzonderlijk nat was. Het verkregen beeld van grondwaterstroming in droge perioden is daarmee niet representatief voor 'gemiddeld' klimaat, laat staan voor droge jaren als 2018. Desondanks geeft dit een beeld van grondwaterstroming in relatief droge perioden. Net als in de rest van het rapport geven de getallen tussen haakjes de peilbuislocaties weer (b.v. (5) betreft peilbuis LIEF005).

Natte periode (mei 2021)

Uit het ruimtelijk beeld van stijghoogteverschillen komt naar voren dat in de wintersituatie de lokale dekzandwelvingen in het Liefstingsbroek een hogere stijghoogte hebben dan de omgeving. Daarmee fungeren ze als motor achter lokale kwel (Figuur 3-3). Vanaf de Adelaarsvarenbult (5) stroomt grondwater – in natte situaties – naar alle omringende laagten, onder andere de Grote weide (1,2) en de Paardeweide (7). Ook de hoge stijghoogte in de natuuruitbreiding ten noorden van het Liefstingsbroek laat zien dat er opbolling is en water dat in deze dekzandrug infiltreert elders in het gebied kan opkwellen.

De stijghoogte in de watergang ten noorden van het Liefstingsbroek door de dekzandrug (2.53 m+NAP) is ruim 1.5 meter lager dan de stijghoogte in de dekzandrug ten zuiden van deze waterloop (4 m+NAP). Daarmee heeft deze waterloop een sterk drainerende werking op in ieder geval de dekzandrug in het natuurontwikkelingsgebied ten noorden van het Liefstingsbroek. Waarschijnlijk werkt die invloed verder door binnen de begrenzing van het Liefstingsbroek, maar dat is op basis van de beschikbare tijdreeksen niet goed vast te stellen.



Figuur 3-3. Ruimtelijk beeld van waarschijnlijke grondwaterstroming in het Liefstingsbroek tijdens natte perioden (boven; 11 mei 2021) en relatief droge perioden (onder; 20 september 2021). De getallen vertegenwoordigen stijghoogtes op de betreffende datums, stuwpeilen (bovenste is zomer, onderste is winter), en minimum en maximum peil (Ruiten Aa) in m+NAP (minimum in zomer). Donkerblauwe pijlen geven grondwaterstroming weer, dunne pijlen oppervlakkige afvoer. Rode pijlen in de droge situatie geven belangrijke veranderingen weer ten opzichte van de natte situatie. De oppervlaktepeilen voorafgaand door een ‘~’ zijn een ruwe schatting. Met name het peil in de westpunt van het Liefstingsbroek is onzeker.

De ruimtelijke stijghoogteverschillen geven aan dat de Grote weide in de winter wordt gedraineerd door de zuidelijke schouwsloot (Figuur 3-4). Ook verzorgt de oostelijke randsloot (peil ~2.88 m+NAP op basis van AHN3) naar verwachting een groot deel van de ontwatering van de Grote weide.

In de winter zijn grondwaterpeilen dermate hoog, dat regenwater stagneert en afgevoerd wordt naar de stuw in de westelijke punt van het Liefstingsbroek. Een groot deel van de peilbuislocaties in het Liefstingsbroek heeft nagenoeg dezelfde stijghoogte van ca. 3.74 – 3.78 m+NAP. Het betreft het centrale en westelijk deel van de Grote weide (locatie 2, 3), de Voorste weide (4), het elzenbroekbos (6) en het eiken-haagbeukenbos (9). Dit geeft aan dat de plassen aan maaiveld waarschijnlijk onderling verbonden zijn, en onderhevig zijn aan dezelfde sturing van ontwateringsmiddelen (stuw in westpunt van het Liefstingsbroek). De stijghoogte in het Ellersinghuizerveld is hoger dan de stuwpeilen in de waterschapsleiding, wat aangeeft dat deze laatste het Ellersinghuizerveld draineert.

Droge periode (september 2021)

De dekzandrug van de Adelaarsvarenbult heeft een beperkte omvang ten opzichte van de omringende laagten, en de doorlatendheid van het watervoerend pakket is behoorlijk (5 – 10 m/d). Hierdoor kan worden verwacht dat de grondwaterstand snel diep wegzakt. Dit blijkt inderdaad het geval: de grondwaterstand daalt van 4.3 m+NAP naar ca. 2.9 m+NAP (Figuur 3-5). Bij aanvang van dit onderzoek was echter niet voorzien dat de stijghoogte zelfs dieper dan de omliggende laagten geraakt (Figuur 3-3). Dit is ook het geval in de dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek (locatie 14). Dit geeft aan dat deze zandruggen in belangrijke mate gedraineerd worden door nabijgelegen noordelijke en oostelijke waterlopen.

Een verschil ten opzichte van de wintersituatie is dat de stromingsrichting in het Ellersinghuizerveld in de zomer omkeert: in de winter draineert deze leiding, maar in de zomermaanden infiltreert water het Ellersinghuizerveld in, mede door het hogere stuwpeil in de zomer.

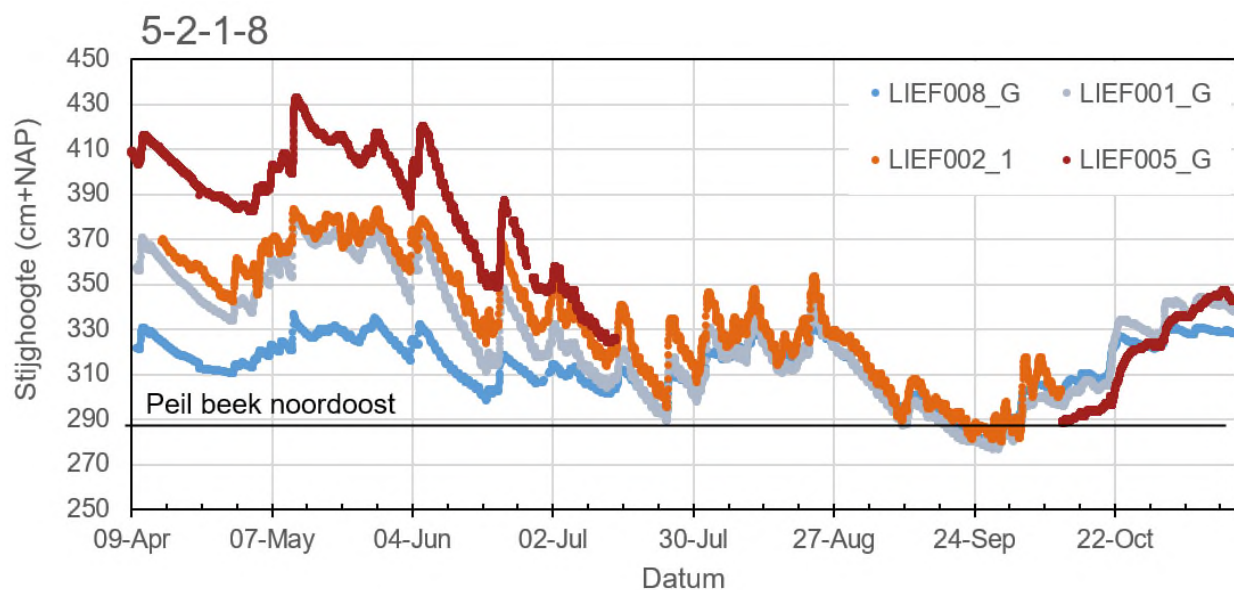
Een ander verschil met de natte periode is dat de stijghoogten van de Grote weide, Voorste weide, Eiken-haagbeukenbos en het elzenbroekbos meer van elkaar verschillen. Het stagnerende regenwater is op een deel van de locaties verdwenen, en de connectiviteit tussen de plassen is verloren gegaan. Dit komt ook tot uiting van het uitblijven van afvoer uit het gebied in de droge periode (veldobservatie).

3.3.2 Lokale grondwaterstroming

Adelaarsvarenbult naar Grote weide en drainage door de zuidelijke randsloot

In het voorjaar is er een behoorlijke opbolling in de Adelaarsvarenbult, waar de stijghoogte ca. 40 cm boven het peil van de Grote weide ligt. Van de Adelaarsvarenbult (5) via de Grote weide (1,2) naar de zuidelijke randsloot (8) neemt de stijghoogte in die periode duidelijk af (Figuur 3-4). Grondwater vanuit de Adelaarsvarenbult zou dus die kant op kunnen stromen. In de periode juli – oktober is het stijghoogteverschil tussen de Adelaarsvarenbult en omgeving slechts beperkt, en stroomt er dus geen grondwater lateraal van de Adelaarsvarenbult naar de Grote weide.

Heel duidelijk komt naar voren dat de Grote weide gedraineerd wordt door de zuidelijke schouwsloot draineert. In natte perioden is de stijghoogte in de Grote weide nog hoger dan de schouwsloot. Tijdens drogere perioden, naarmate het seizoen vordert, neemt het peilverschil af. Er is dan minder grondwateraanvulling, en wordt het peil in de Grote weide gecontroleerd door het peil van de nabijgelegen zuidelijke schouwsloot. Het stijghoogteverschil tussen de Grote weide en de schouwsloot is dan klein.



Figuur 3-4. Tijdreeksen stijghoogte langs transect van Adelaarsvarenbult naar Grote weide. De logger op locatie 5 was defect in juli t/m september, waardoor een deel van de meetreeks ontbreekt.

Adelaarsvarenbult naar Voorste Weide en Paardeweide

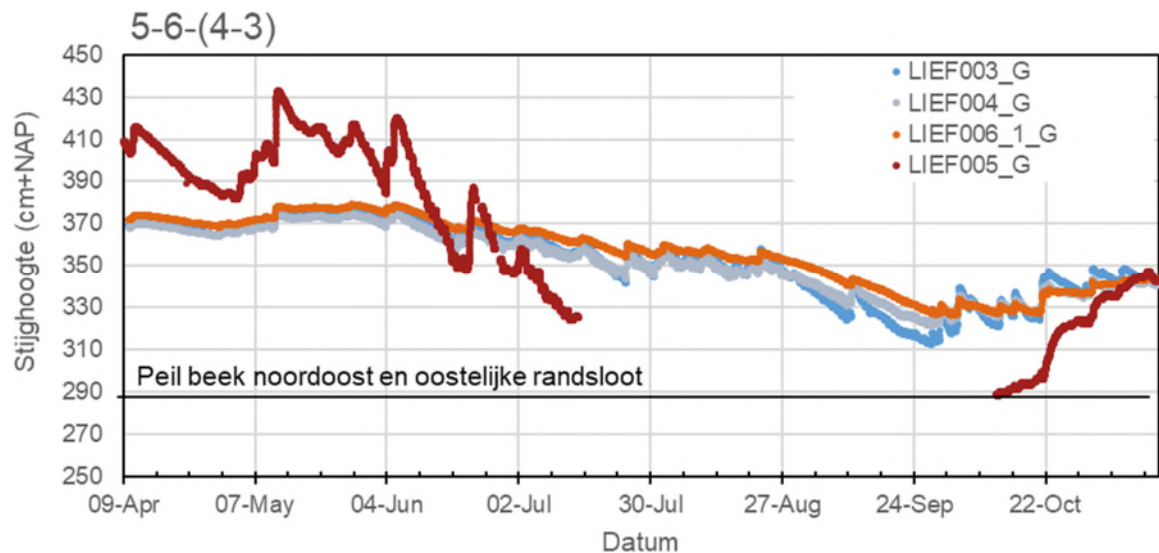
Op basis van laterale stijghoogteverschillen blijkt dat er in 2021 tot halverwege juni een opbolling van de grondwaterstand was in de Adelaarsvarenbult (locatie 5) (Figuur 3-5). In deze periode is er een lokale kwelstroom vanuit de dekzandkop naar de omgeving. Net zoals dat het geval was voor de Grote weide, was de stijghoogte ca 40 cm hoger dan het naastgelegen elzenbroekbos (6) en de Voorste Weide en Paardeweide (4). Zeer opvallend is dat de stijghoogte in de Adelaarsvarenbult in de zomer dieper wegzakt dan de omliggende locaties die in het voorjaar kwel ontvangen (Figuur 3-5). Dat is te verklaren door drainage van de Adelaarsvarenbult door ontwateringsmiddelen, waarschijnlijk met name door de nabij gelegen oostelijke randsloot, maar ook de zuidelijke schouwsloot en beek ten noorden van het Liefstingsbroek.

De meetfilters op locaties 3, 4 en 6 bevinden zich onder de kleilaag, dus bemeten niet het freatische grondwater maar de stijghoogte in het watervoerende pakket daaronder dat onder spanning staat. Dit verklaart ook waarom de stijghoogtes bij 3, 4 en 6 (zie Figuur 10-1) altijd of een deel van het jaar boven maaiveldniveau liggen. Al met al lijkt hier sprake van opwaartse stroming in het pakket onder de kleilaag (Figuur 3-4), wat overigens niet uitsluit dat er ook sprake is van stagnerend regenwater boven de kleilaag. Dat is niet gemeten met de peilbuizen (de stijghoogte in de waterlaag boven de klei is onbekend), maar komt wel naar voren in de pH-profielen (regenwaterlenzen in Figuur 3-2). Wellicht houdt de kleilaag dus een regionale kwelstroom (deels) tegen en komt het basenrijke water niet altijd hoog genoeg in het profiel terecht.

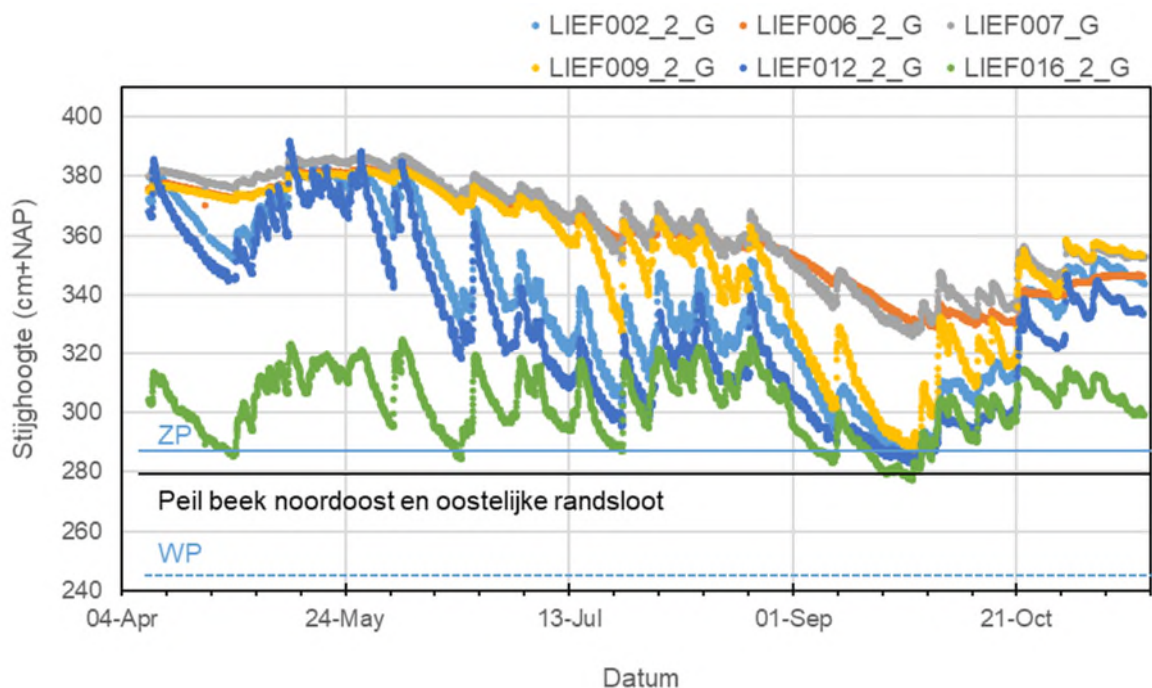
Je verwacht dat de drainage ook de stijghoogtes bij 3, 4 en 6 naar beneden zou trekken, maar dat lijkt niet heel sterk het geval. Bij 3, 4 en 6 zou dan een flinke aanvulling van onderaf moeten plaatsvinden door een forse regionale kwelstroom, tegen de onderkant van de kleilaag. Het is daarom niet uit te sluiten dat er een kwelvenster in de potklei aanwezig is. Deze locaties liggen daarnaast ook meer geïsoleerd van ontwateringsmiddelen, waardoor de grondwaterstand hoger ligt en deze minder gevoelig is voor drainage.

Kijken we naar de stijghoogte in de diep geplaatste filters (ca 5.5 m-mv), dan komt naar voren dat er ruimtelijk behoorlijke variatie aanwezig is (Figuur 3-6). In het Ellersinghuizerveld (16) is de stijghoogte diep in het watervoerend pakket zowel in de winter als in de zomer het laagst van alle locaties. Dit wordt veroorzaakt door de drainerende werking van de waterschapsleiding. In het centrum van het Liefstingsbroek, rondom de Paardeweide (6, 7), zijn de diepe stijghoogten stabiel en hoog. Dit kan worden veroorzaakt door (1) de aanvoer van kwelwater, (2) de geïsoleerde

ligging van waterlopen door grote afstand en weerstandbiedende lagen en/of (3) inzijging van gestagneerd regenwater. Het is zonder aanvullende berekeningen of grondwatermodellering niet vast te stellen wat de hogere stijghoogte onder de kleilagen van locaties 3, 4, 6 veroorzaakt.



Figuur 3-5. Tijdreeksen stijghoogte langs transect van Adelaarsvarenbult (5) via Elzenbroekbos (6) naar Voorste weide (4). De logger op locatie 5 was defect in juli t/m september, waardoor een deel van de meetreeks ontbreekt.

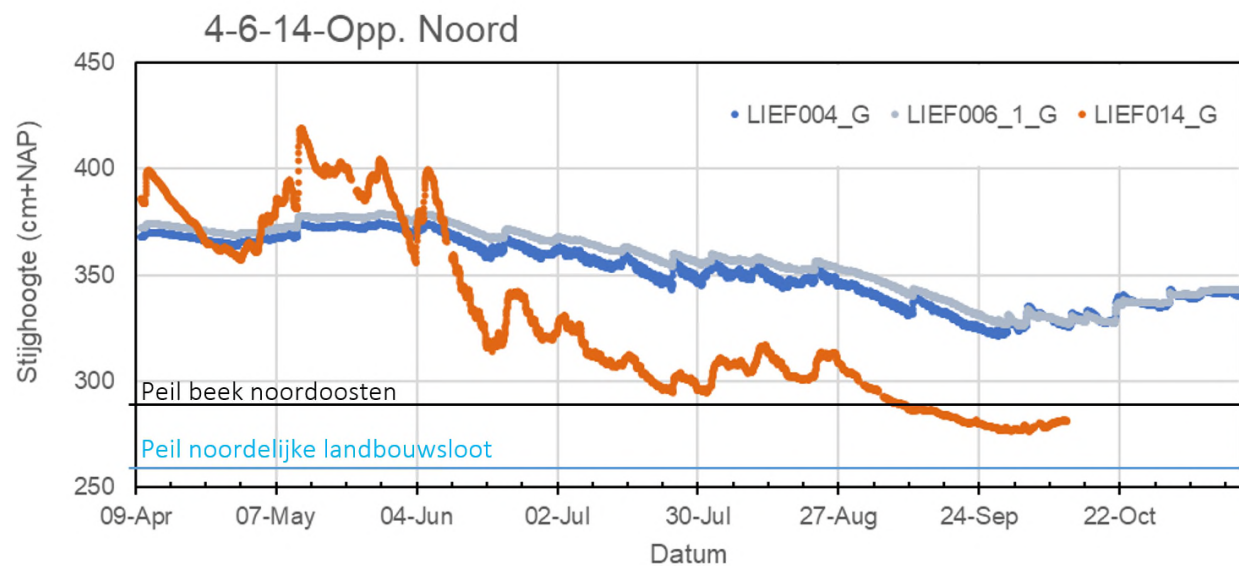


Figuur 3-6. Tijdreeksen stijghoogte in diepe filters (ca 6 m-mv) in het Liefstingsbroek. De lijnen ZP en WP geven respectievelijk het zomerpeil en winterpeil van de waterschapsleiding weer.

Drainerende werking landbouwsloot ten noorden van het Liefstingsbroek

In Figuur 3-7 zijn de stijghoogten van een transect van de Paardeweide naar de noordelijke / noordoostelijke waterlopen weergegeven. Hieruit komt naar voren dat de dekzandrug op locatie 14 (natuurontwikkelingsbos ten noorden van Liefstingsbroek; freatisch) in de winter een hogere stijghoogte heeft ten opzichte van de omgeving. Daarmee fungeert deze dekzandrug in potentie als motor achter lokale kwel. Echter, de waterstand zakt in juni

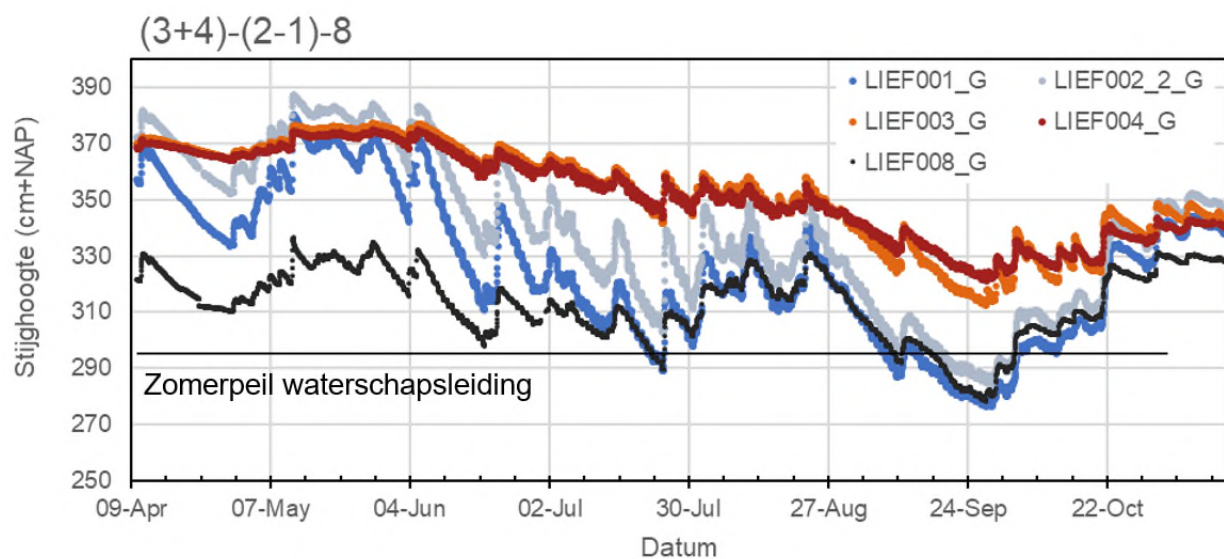
bijzonder snel uit. De zomer in 2021 was zeer nat, wat dieper uitzakken heeft voorkomen. Pas in de periode dat een langdurige droogte optreedt, blijkt dat de waterstand dieper wegzakt beneden het (op AHN3 geschatte) peil van het beekje in het noordoosten. De noordelijke landbouwsloot (afwatering richting Barkeveen) heeft een peil van ca 2.53 m+NAP, en het lijkt er op dat de grondwaterstand in periode zonder neerslag (september) naar die waarde uitzakt. Dit geeft een sterke aanwijzing dat deze landbouwsloot de dekzandrug draineert en daarmee de 'kwelmotor' in dit deel van het gebied 'hapert'. De verbinding van de bermsloot ten noorden van de ringweg met andere sloten is niet onderzocht bij veldbezoeken en onduidelijk op waarde te schatten op basis van kaartmateriaal. Daarmee is ook het peil onbekend. Het kan zijn dat ook deze bermsloot nog een drainerende werking heeft op locatie 14. Daarentegen staat deze sloot in de zomer vrijwel altijd droog (veldobservatie).



Figuur 3-7. Tijdreeksen stijghoogte van Paardeweide naar noordelijke afwatering. De logger op locatie 14 was defect vanaf eind september, waardoor een deel van de meetreeks ontbreekt.

Drainerende werking schouwsloot zuid

Eerder in sectie 3.3.2 kwam al naar voren dat de zuidelijke schouwsloot de Grote weide draineert. Om te bepalen of deze schouwsloot ook een drainerende werking heeft op de Voorste weide, zijn de stijghoogten in de nabij gelegen Grote weide (1, 2, 3) en Voorste weide (4) vergeleken met het de stijghoogte in de schouwsloot (Figuur 3-8). Bij deze vergelijking komt wederom duidelijk naar voren dat de Grote weide in sterkere mate gedraineerd wordt door de schouwsloot. Locatie 1 ligt het dichtst bij, en heeft daarmee ook de laagste stijghoogte van alle reeksen. Locatie 1 wordt gevolgd door locatie 2, die iets verderop ligt en daarmee ook een wat hoger peil vertoont. Daarentegen blijkt ook zeer duidelijk dat locatie 3 en 4 een veel kleinere samenhang vertonen met het peil in de schouwsloot. Deze locaties liggen veel verder weg van deze sloot, die bovendien slechts doorloopt tot locatie 2 (Figuur 2-2). Daarnaast komen locatie 3 en 4 meer in de invloedssfeer van de westzijde van het gebied, dat (in de winter) een hoger stuwpeil heeft en waar oppervlakkig water herverdeeld kan worden. Van locaties 3 en 4 ligt locatie 3 het dichtst bij de schouwsloot en zakt het diepst uit, wat verder de drainerende werking van deze locatie bevestigt.



Figuur 3-8. Tijdreeksen om drainerende werking van schouwsloot (8) te bepalen op Grote weide (1,2,3) en Voorste weide (4).

3.3.3 Kwelpotenties in het Liefstingsbroek

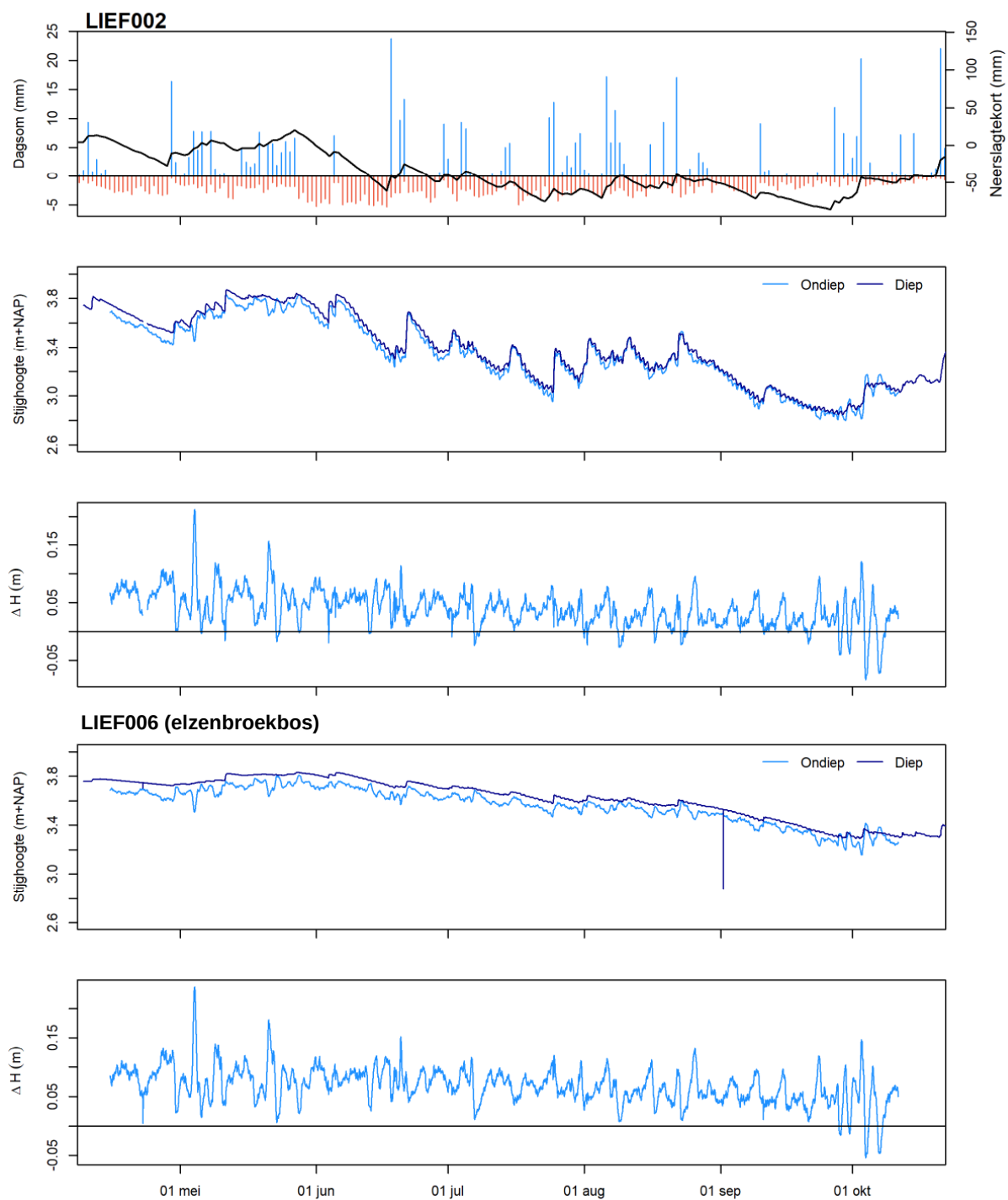
Samengevat

Verticale stijghoogteverschillen en dag-nachtfluctuaties van grondwaterstanden indiceren toestroming van grondwater. Overdag daalt de grondwaterstand door verdamping. Als de grondwaterstand 's-nachts weer stijgt, wijst dat op toestroming van grondwater, ofwel vanuit dieper lagen, ofwel vanuit omliggende gronden met hogere grondwaterstand. Opvallend is dat dit fenomeen zelfs onder de dekzandruggen wordt waargenomen. In plaats van dat vanuit deze rug grondwater naar de westelijk gelegen gronden afstroomt, wordt het grondwater in de rug aangevuld door laterale toestroom van het Natura 2000-gebied.

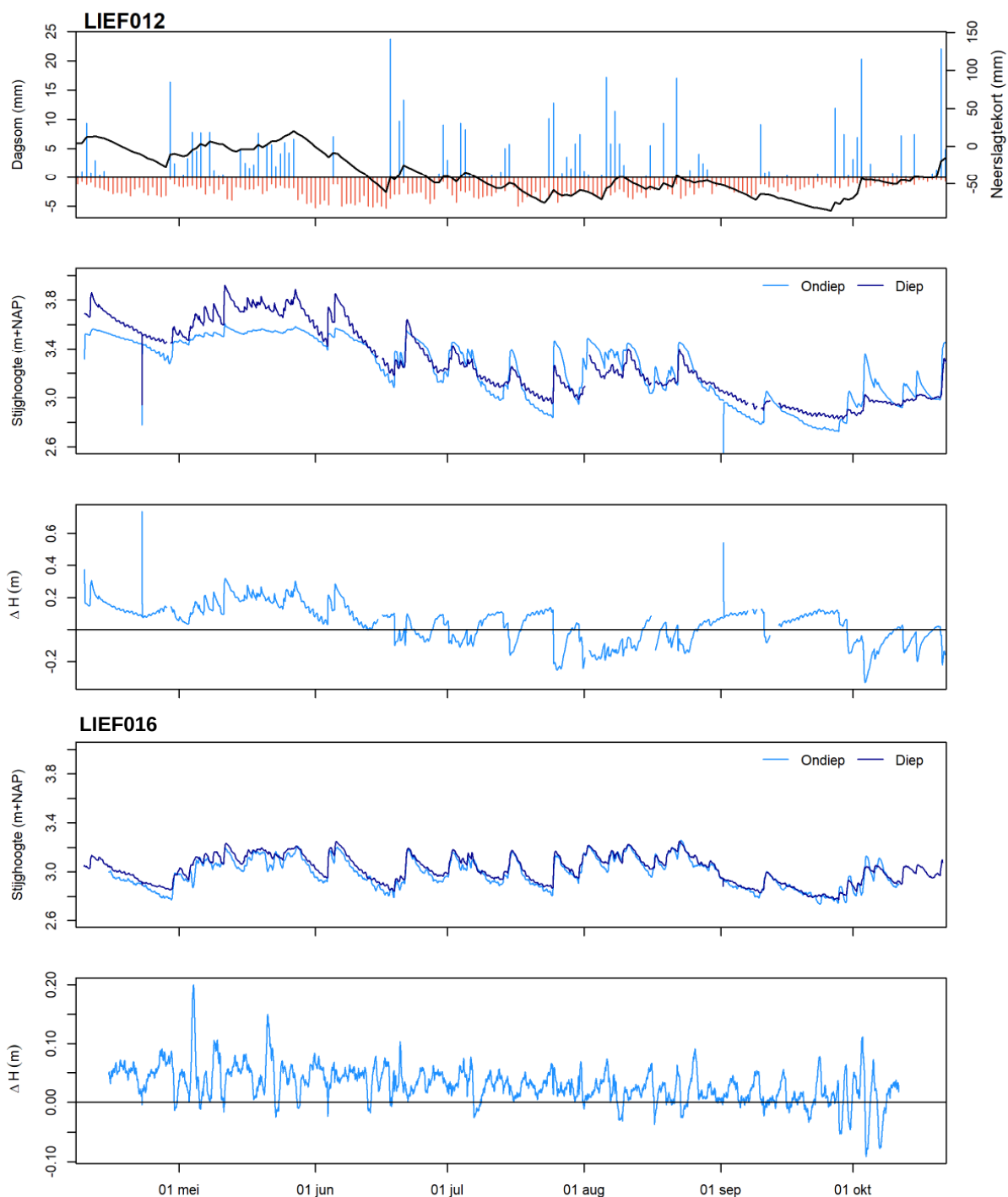
3.3.3.1 Verticale stijghoogteverschillen

Op basis van de verticale stijghoogteverschillen blijkt op alle meetpunten sprake te zijn van een opwaartse grondwaterstroming tussen de filters geplaatst op een diepte van ca 6 m-mv tot 1.5 m-mv (Figuur 3-9, Figuur 3-10, Figuur 3-12). Dit is een aanwijzing voor kwel. Voor de meeste tijdreeksen is het stijghoogteverschil echter veelal kleiner dan 6 cm (Figuur 3-9). Dit is ongeveer gelijk aan de nauwkeurigheid waarmee stijghoogteverschillen kunnen worden gemeten en geeft aan dat het stijghoogteverschil in principe niet meetbaar zou zijn. Daarentegen is, consistent voor alle locaties, de ondiepe stijghoogte kleiner dan de diepe stijghoogte. Deze consistentie vergroot de kans dat opwaartse stroming op de betreffende locaties aanwezig is, alhoewel dit geen hard bewijs is.

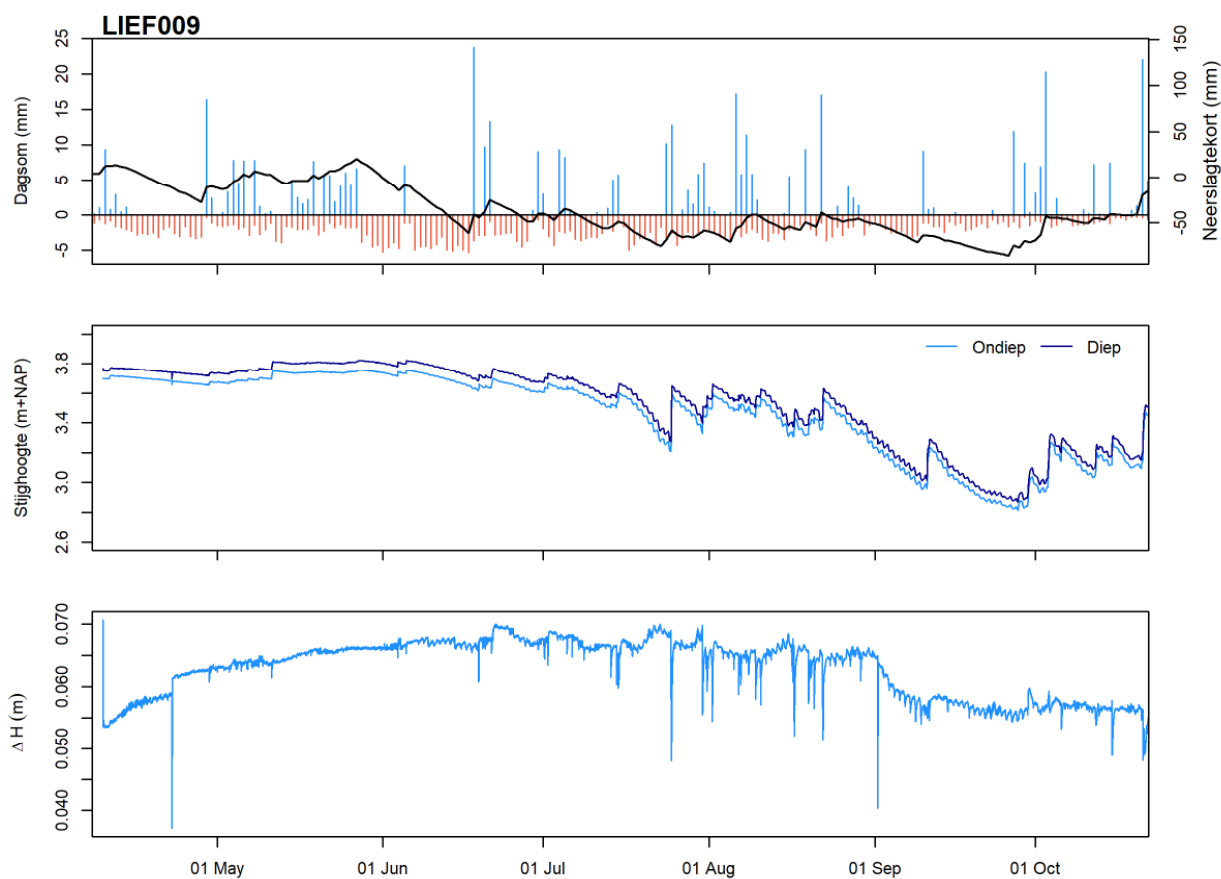
Op alle locaties volgt de peildynamiek het neerslagoverschot, en voor diepe buizen is die respons wat gedempter. Op locatie 12 een slecht doorlatende leemlaag aanwezig. Deze leemlaag zorgt voor een duidelijk stijghoogteverschil tussen het diepe en ondiepe filter. Ook neemt het stijghoogteverschil voor alle locaties geleidelijk af naarmate het seizoen vordert. Dit geeft aan dat de kwelflux naarmate het seizoen vordert kleiner zou worden. Bij meetpunt 12 (noordoostelijke beekdal) treedt overduidelijk een omslag op van kwel in de winterperiode naar wegzijging in de zomerperiode.



Figuur 3-9. Tijdreeksen van weer (boven), stijghoogten in ondiepe en diepe filters (midden), en stijghoogteverschillen (ΔH ondiep - diep; onder) voor locatie 2 (Paardeweide; boven) en 6 (elzenbroek; onder). In het bovenste figuur zijn de rode balken de dagsom potentiële verdamping van een referentiegewas volgens Makkink (mm), blauwe balken de dagsom neerslag (mm). Het neerslagtekort (zwarte lijn) is het doorlopend potentieel neerslagtekort, waarbij positieve waarden een neerslagoverschot weergeven. Weersgegevens zijn afkomstig van meetstation Eelde. Een positief en negatief stijghoogteverschil in het onderste figuur geven respectievelijk kwel en wegzijging weer.



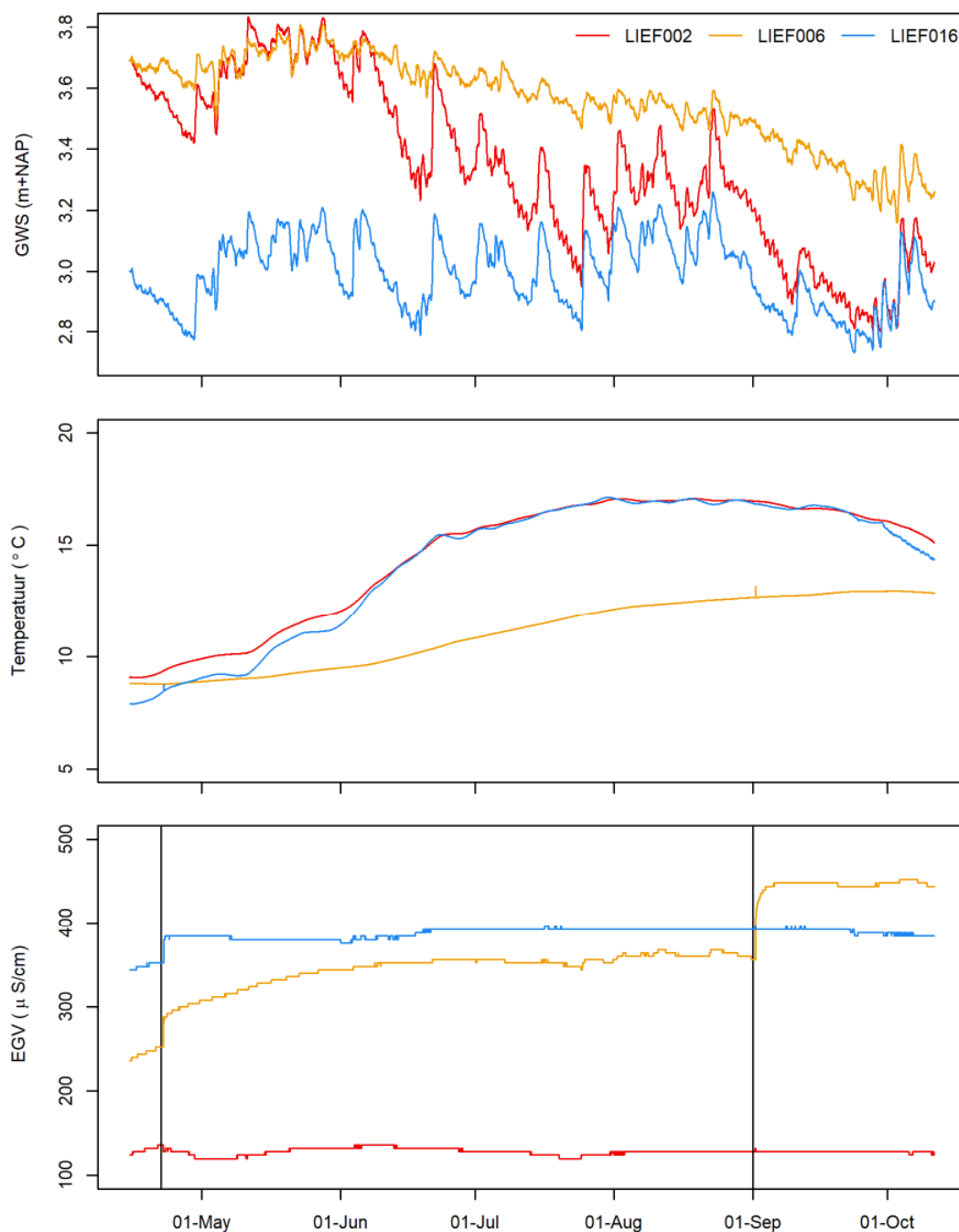
Figuur 3-10. Tijdreeksen van weer (boven), stijghoogten in ondiepe en diepe filters (midden), en stijghoogteverschillen (ΔH ondiep - diep; onder) voor locatie 12 (boven; beekdal noordoost) en 16 (onder; Ellersinghuizerveld). In het bovenste figuur zijn de rode balken de dagsom potentiële verdamping van een referentiegewas volgens Makkink (mm), blauwe balken de dagsom neerslag (mm). Het neerslagtekort (zwarte lijn) is het doorlopend potentieel neerslagtekort, waarbij positieve waarden een neerslagoverschot weergeven. Weersgegevens zijn afkomstig van meetstation Eelde. Een positief en negatief stijghoogteverschil in het onderste figuur geven respectievelijk kwel en wegzijsing weer.



Figuur 3-11. Tijdreeksen van weer (boven), stijghoogten in ondiepe en diepe filters, en stijghoogteverschillen (ΔH ondiep – diep; onder) voor locatie 9 (Eiken-haagbeukenbos). In het bovenste figuur zijn de rode balken de dagsom potentiële verdamping van een referentiegewas volgens Makkink (mm), blauwe balken de dagsom neerslag (mm). Het neerslagtekort (zwarte lijn) is het doorlopend potentieel neerslagtekort, waarbij positieve waarden een neerslagoverschot weergeven. Weersgegevens zijn afkomstig van meetstation Eelde. Een positief en negatief stijghoogteverschil in het onderste figuur geven respectievelijk kwel en wegzijging weer.

3.3.3.2 Periodieke kwel op basis van temperatuur en EGV

In de ondiepe filters van de Grote weide (2), het elzenbroekbos (6) en het Ellersinghuizerveld (16) zijn CTD-drukopnemers geplaatst. Hiermee wordt, naast de waterdruk, ook het elektrisch geleidend vermogen (EGV) en de temperatuur geregistreerd. Bij een grotere kwelinvloed zou warmte afgevoerd worden, en dicht bij de jaargemiddelde temperatuur komen. Naarmate het seizoen vordert, neemt de temperatuur van het grondwater op ca 1.5 m-mv op alle locaties toe als gevolg van de toenemende luchttemperatuur in het seizoen (Figuur 3-12). Het temperatuurverloop op locatie 2 en 16 is vergelijkbaar, en neemt nog behoorlijk toe. Dit geeft aan dat warmte de bodem in kan dringen en de invloed van kwel waarschijnlijk beperkt is. Locatie 6 vertoont een behoorlijk lagere temperatuur. Dit kan een indicatie zijn dat kwel op deze locatie een groter aandeel in het temperatuurverloop heeft.



Figuur 3-12. Tijdreeksen van grondwaterstand (boven), watertemperatuur (midden) en elektrisch geleidend vermogen (onder) voor de drie locaties waar een CTD-logger geïnstalleerd was. De sprongen in EGV zijn veroorzaakt door bemonstering (zie tekst).

3.3.3.3 Periodieke kwel op basis van dag-nacht oscillaties

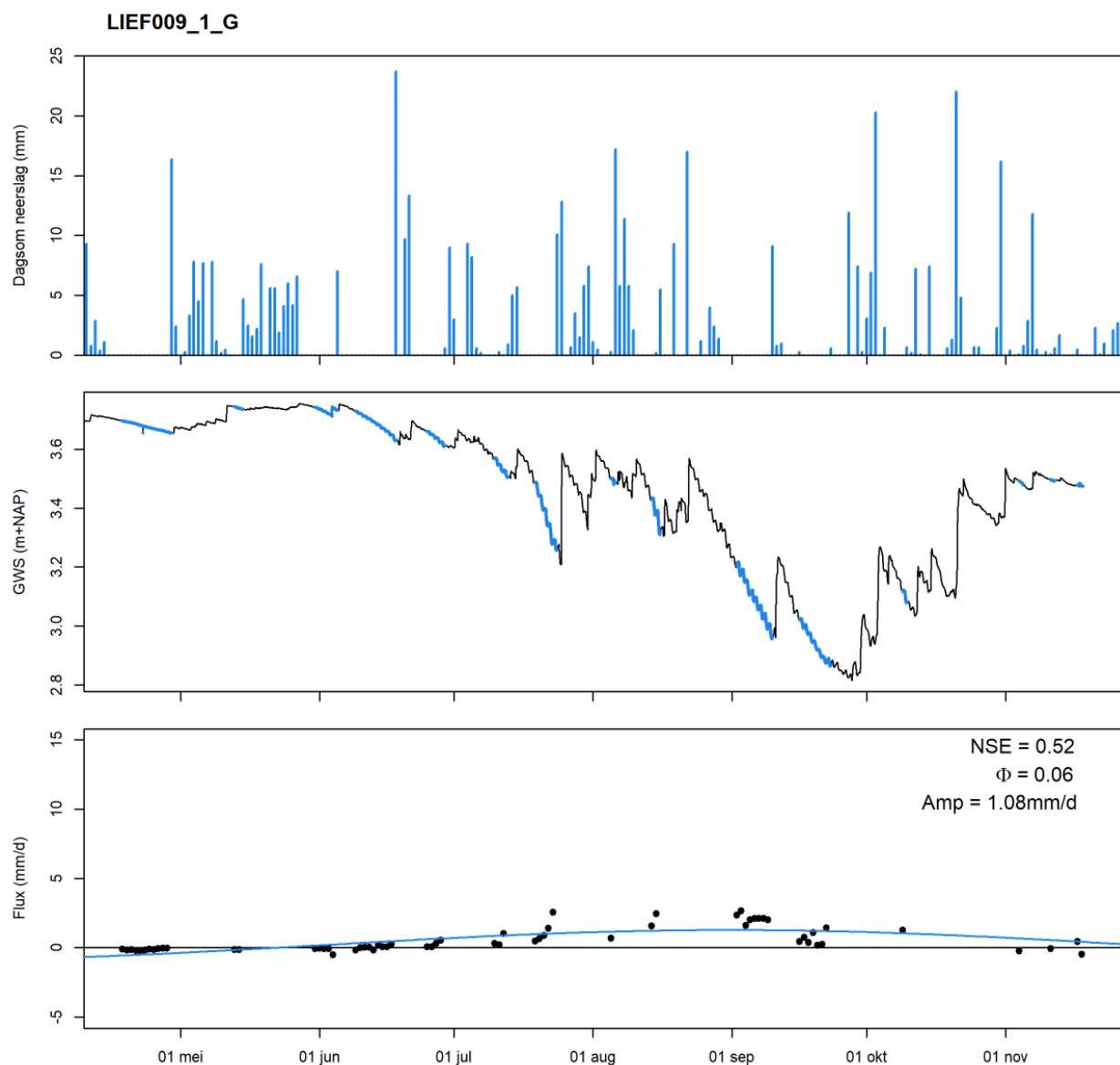
Op basis van de analyse van dag-nacht oscillaties van stijghoogten kan een globaal beeld verkregen worden van de periode waarin kwel zou kunnen optreden. Hierbij dient in acht te worden genomen dat de precieze fluxen geen betrouwbare informatie geven omdat niet gecorrigeerd is voor de locatie-specifieke bergingscoëfficiënt en de schattingen onzeker zijn. Per locatie kunnen relatieve verschillen geduid worden, maar verschillende locaties zijn niet met elkaar te vergelijken. In de hoofdtekst zijn ter illustratie een aantal tijdreeksen en bijbehorende schattingen van kwel/wegzijging gepresenteerd.

Uit de analyse komt naar voren dat op veel locaties kwel optreedt in de periode van juni tot november (Figuur 3-13 t/m Figuur 3-17). Dit is ook het moment waarin verdamping optreedt, en verdampingsverliezen gecompenseerd kunnen worden met aanvoer van grondwater.

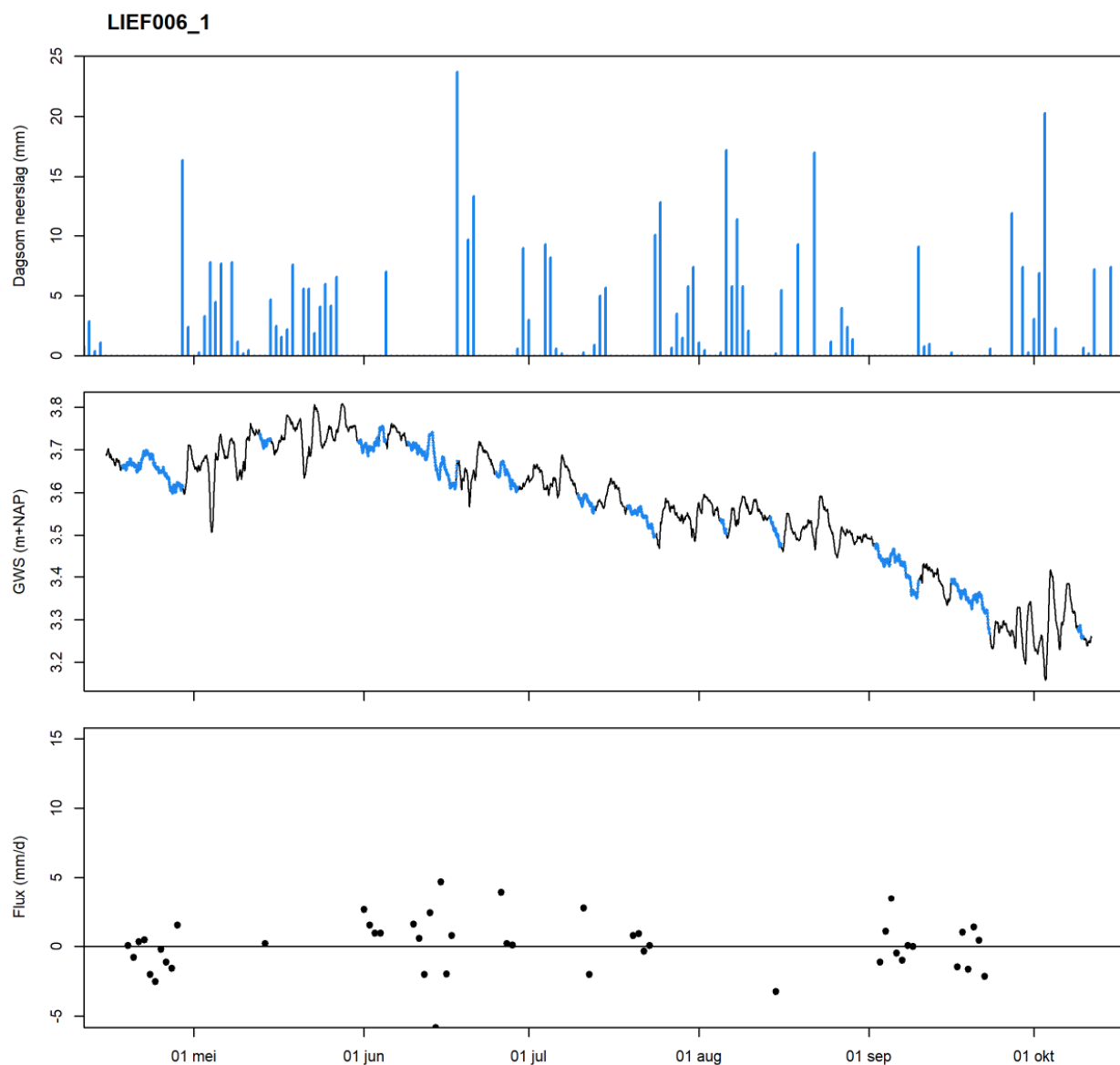
Bijzonder is dat 's nachts de stijghoogte zelfs op de dekzandruggen toeneemt. Voor de dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek (zie Figuur 3-17, locatie 14) treedt in mei nog duidelijk wegzijging op. In de zomermaanden zijn echter momenten aanwezig dat de stijghoogte toeneemt. Dit geeft aan dat er aanvulling van grondwater plaatsvindt. Een verklaring hiervoor kan zijn dat er (1) diepe kwel plaatsvindt vanuit een dieper watervoerend pakket of (2) laterale aanvoer van grondwater plaatsvindt vanuit het oppervlaktewatersysteem of (3) de metingen zijn onbetrouwbaar. Omdat gefilterd is op dagen zonder neerslag, is dat effect uit te sluiten of verwaarloosbaar. Voor optie 1 is te weinig informatie over de ondergrond; er zijn echter aanwijzingen dat de begrenzing van de potklei ergens onder het Liefstingsbroek stopt. Deze optie is dus niet volledig uit te sluiten. Optie 2 lijkt waarschijnlijker: de doorlatendheid van het systeem is voldoende hoog voor laterale aanvoer. Hogere stijghoogte komt voor in het centrum van het Liefstingsbroek. Water stroomt daarom waarschijnlijk (zowel 's nachts als overdag) van het centrum van het Liefstingsbroek richting de afwatering aan het noorden en noordoosten. Dit beeld wordt bevestigd door de laterale stijghoogteverschillen. Daarentegen is de stijghoogte in die perioden hoger ($> 3 \text{ m+NAP}$) dan het waarschijnlijke peil in de noordoostelijke oppervlaktewateren ($\sim 2.88 \text{ m+NAP}$).

3.3.3.4 Synthese kwelpotenties in ruimte en tijd

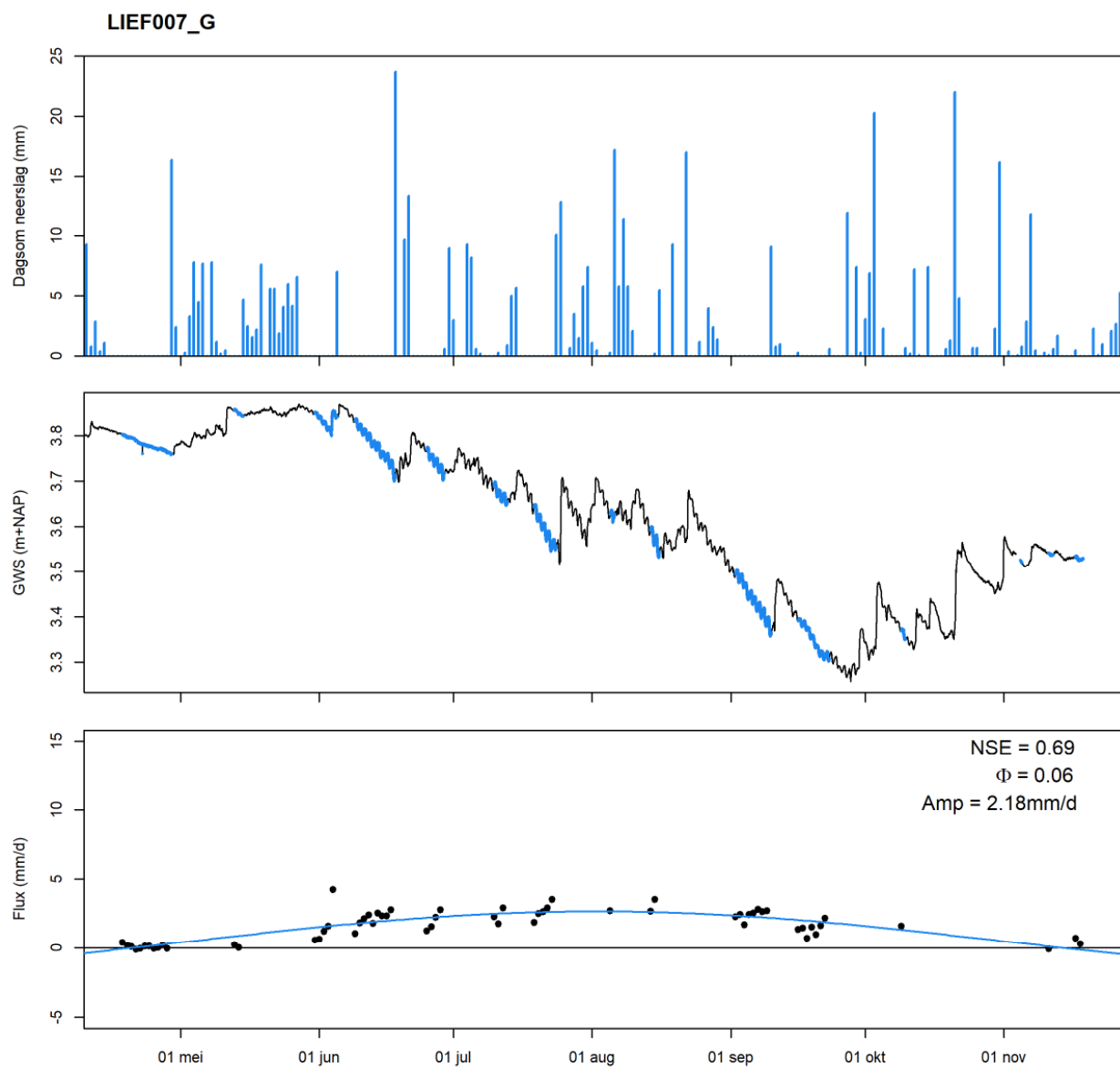
De analyses van stijghoogteverschillen, temperatuur van het grondwater en dag-nachtritmes van stijghoogte geven aanwijzingen voor opwaartse grondwaterstroming in o.a. de Paardeweide en de Grote weide. De laterale en verticale stijghoogtegradiënt in de elzenbroekboszone (locatie 6) zijn respectievelijk 0.004 m/m ($\Delta H/\Delta x = 0.48/118$) en 0.011 m/m ($\Delta H/\Delta z \approx 0.05/4.7$). Dit kan erop duiden dat de verticale stromingscomponent domineert. Anderzijds is die gemoeid met behoorlijke onzekerheid door inmeting van peilbuizen en zou ook 0.002 m/m zijn. Bovendien is de vorm en helling van het freatisch vlak onbekend, waardoor ook de laterale stijghoogtegradiënt groter of kleiner kan zijn. Voor de meeste locaties is deze onzekerheid in stijghoogteverschillen van toepassing, behalve voor locatie 12, waar een slecht doorlatende leemlaag voor verticale stijghoogteverschillen zorgt van ca 20 cm die deze onzekerheid overstijgen (Figuur 3-10). Al met al kan zonder een dichter meetnet met preciezere inmeting niet gekwantificeerd worden of en in welke mate er in de winter lokale kwelsystemen optreden in het Liefstingsbroek.



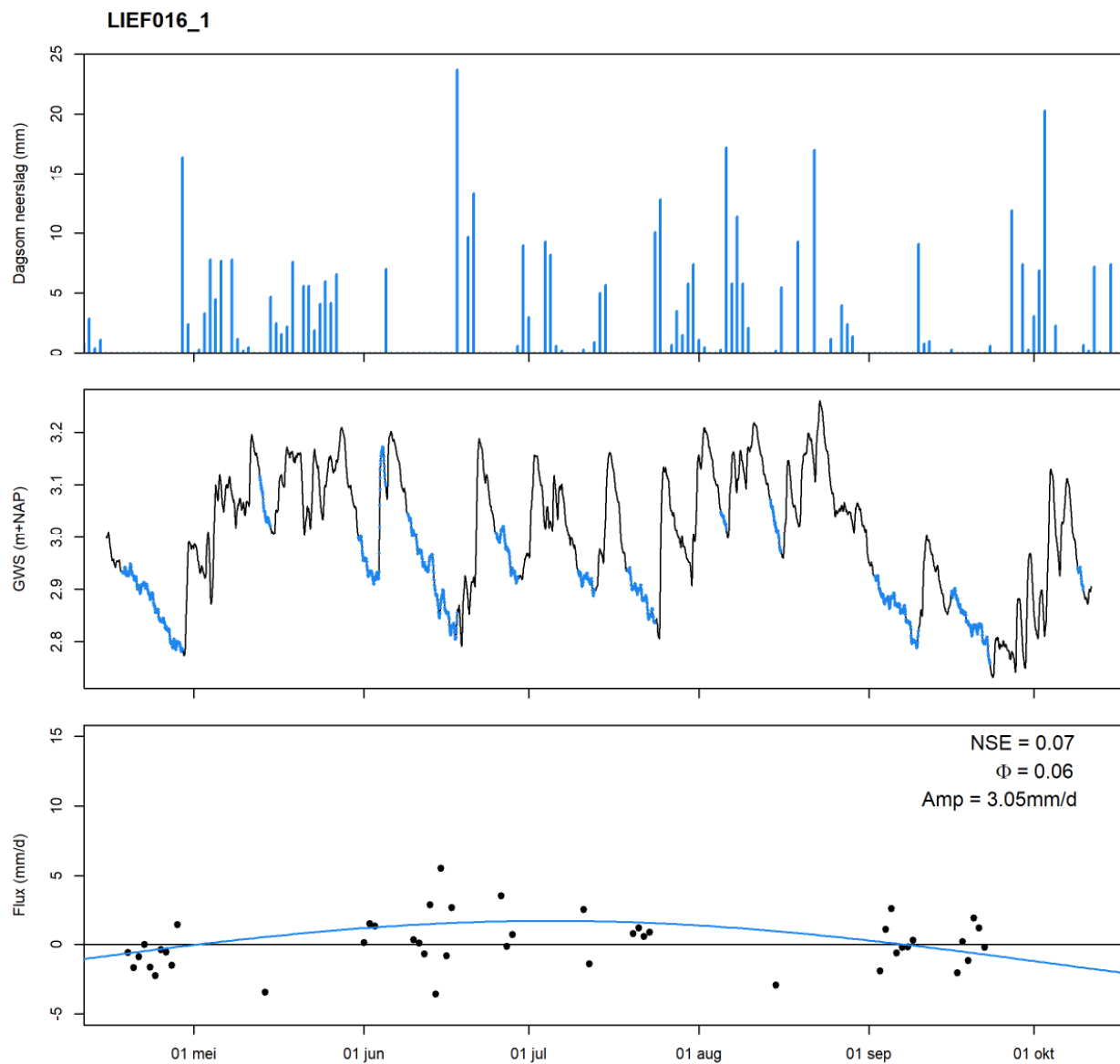
Figuur 3-13. Tijdreeks van neerslag (boven), stijghoogte (midden) en geschatte kwel/wegzijgingsflux (onder) voor locatie 9 (eiken-haagbeukenbos). De blauwe lijnen in het middelste figuur geven de perioden weer die zijn gebruikt in de kwantificering van kwel/wegzijgingsfluxen.



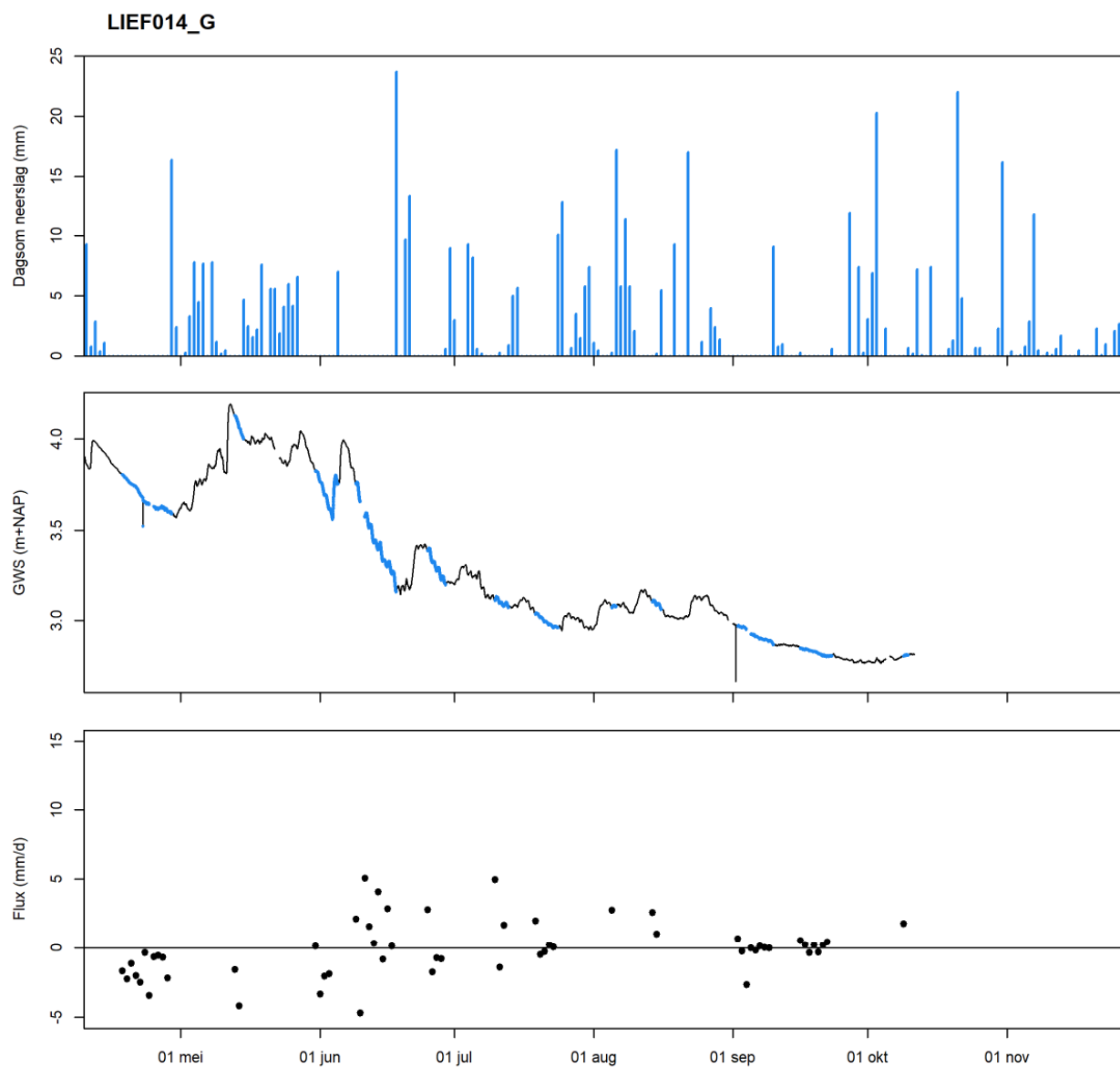
Figuur 3-14. Tijdreeks van neerslag (boven), stijghoogte (midden) en geschatte kwel/wegzijgingsflux (onder) voor locatie 6 (elzenbroekbos). De blauwe lijnen in het middelste figuur geven weer welke perioden zijn gebruikt in de analyse.



Figuur 3-15. Tijdreeks van neerslag (boven), stijghoogte (midden) en geschatte kwel/wegzijgingsflux (onder) voor het diepe filter op locatie 7 (Paardeweide). De blauwe lijnen in het middelste figuur geven weer welke perioden zijn gebruikt in de analyse.



Figuur 3-16. Tijdreeks van neerslag (boven), stijghoogte (midden) en geschatte kwel/wegzijgingsflux (onder) voor locatie 16 (Ellersinghuizerveld). De blauwe lijnen in het middelste figuur geven weer welke perioden zijn gebruikt in de analyse.

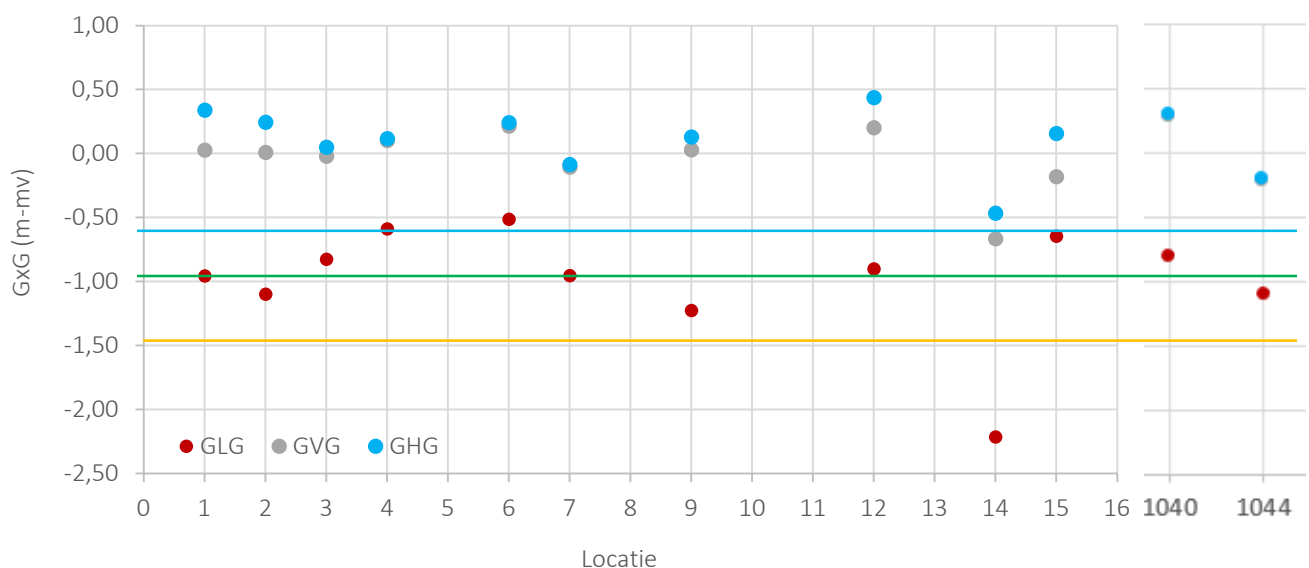


Figuur 3-17. Tijdreeks van neerslag (boven), stijghoogte (midden) en geschatte kwel/wegzijgingsflux (onder) voor locatie 14 (Dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek). De blauwe lijnen in het middelste figuur geven weer welke perioden zijn gebruikt in de analyse.

3.4 GLG en GVG in relatie tot ecologische vereisten van vegetatie

Met behulp van tijdreeksanalyse (zie I.III) zijn op basis van de meetreeksen van 2021 de GLG, GVG en GHG (gezaamenlijk GxG) voor de periode 2014-2021 geschat. Met de GVG en GLG kan worden bepaald of de waterhuishouding in kwantitatieve zin op orde is voor de betreffende habitattypen. De modelmatige verlenging van de periode maakt de resultaten robuuster voor weersextremen, zoals het geval was in het bijzonder natte 2021 waarin de metingen verricht zijn (Bijlage VII). De GxG is alleen gepresenteerd voor de locaties waarvoor een betrouwbaar tijdreeksmodel kon worden opgesteld. Door de beperkte lengte van de meetreeks (~ 0.6 jaar) en/of doordat variatie niet voldoende verklaard kon worden door neerslag en verdamping, ontbreken GxG waarden voor locatie 5, 8, 10, 11 en 16.

Uit de tijdreeksanalyse komt naar voren dat bij een flink deel van de meetlocaties stagnatie met regenwater optreedt. De GVG is voor veel plekken rond het maaiveld voor de meeste locaties. Over het algemeen is een te diep wegzakkende grondwaterstand in de zomer (hoge GLG) een knelpunt voor blauwgrasland. Op basis van deze analyse is, van de locaties waarvoor een GxG berekend is, de GLG op locatie 4, 6, 15, en 1014 voldoende ondiep voor blauwgrasland. Elzenbroekbos is ook op locatie 1, 3, 12 en 1040 (7) kansrijk. In het eikenhaagbeukenbos (locatie 9) is de grondwaterstand in de zomer wat te ondiep (GLG ca 150 cm-mv voor associatie Eiken-Haagbeukenbos 43Ab01), en in het voorjaar fors te ondiep (GVG ca 80 cm-mv). De GHG en GVG op locatie 14 zijn te ondiep voor bossen behorend tot de orde van eiken-beukenbos (respectievelijk 85 – 100 en 65 – 75 cm-mv).



Figuur 3-18. GLG, GVG en GHG (grondwaterregime) voor de verschillende locaties voor het klimaat in de periode 2014-2021. Alleen waarden voor tijdreeksmodellen die voldoende betrouwbaar waren zijn gepresenteerd. De schattingen zijn gebaseerd op de meetreeksen van de periode 15 april – 15 november. De horizontale lijnen geven de vereiste diepte van de GLG weer voor de habitattypen blauwgrasland, elzenbroekbos en eiken-haagbeukenbos (zie bijlage XII). Let op: de y-as stelt de positie ten opzichte van maaiveld voor, waarbij negatieve waarden beneden maaiveld zijn.

3.5 Grondwaterchemie

3.5.1 Bemonstering en uitwerking van de waterkwaliteitsgegevens

De peilbuizen zijn bemonsterd op 22 april en 1 september 2021. De monsters zijn geanalyseerd op het lab. Van Bware. De analyseresultaten zijn ingevoerd in het softwarepakket HydroGeoChemical (HGC, Stuyfzand, 2017). Hiermee zijn controleberekeningen uitgevoerd (EGV en ionenbalans), is het watertype (Stuyfzand, 1986, 1988) afgeleid en zijn indices zoals de kalkverzadigingsindex afgeleid. De uitwerking van de waterkwaliteitsdata is gericht op de pH-buffering door het grondwater en op eventuele tekenen van eutrofiëring via het grondwater.

De pH-buffering kan via verschillende processen verlopen (Jalink en Van Beek, 2001), de voornaamste zijn het neutraliseren van zuur (H-ionen) door in het grondwater aanwezig HCO_3 , het oplossen van kalk onder invloed van zuur of kationomwisseling met het adsorptiecomplex (H tegen m.n. Ca, Mg). Tekenen voor sterke buffering zijn hoge gehalten aan HCO_3 en/of Ca en Mg (Ca en Mg vormen samen de totale hardheid, TH) en een neutrale of hoge pH. Een hoge waarde van de kalkverzadigingsindex wijst op door kalk gebufferd, niet verzuurd grondwater. Als kalk is opgelost door het natuurlijke, zwakke zuur CO_2 dan komen HCO_3 en TH voor in verhouding 2:1 (op mol-basis). Speelt verzuring door N-depositie of door oxidatie van veen en sulfiden een rol, dan wordt een deel van het HCO_3 opgebruikt en schuift de ratio HCO_3/TH naar waarden ver onder 2. Er zijn ook enkele reductieprocessen (o.a. SO_4 -reductie), waarbij HCO_3 gevormd wordt. In dat geval kan de HCO_3/TH -ratio ook ver boven 2 liggen. Op basis van deze parameters is een globale indeling gemaakt in sterk gebufferd (basenrijk) water, matig sterk gebufferd (m.n. basenrijk) water en basenarm, nauwelijks gebufferd water. Op basis van kalkverzadigingsindex en pH is nog een onderverdeling gemaakt in verzadigd, evenwicht, licht en matig kalk-agressief en zuur water (zie Bijlage I).

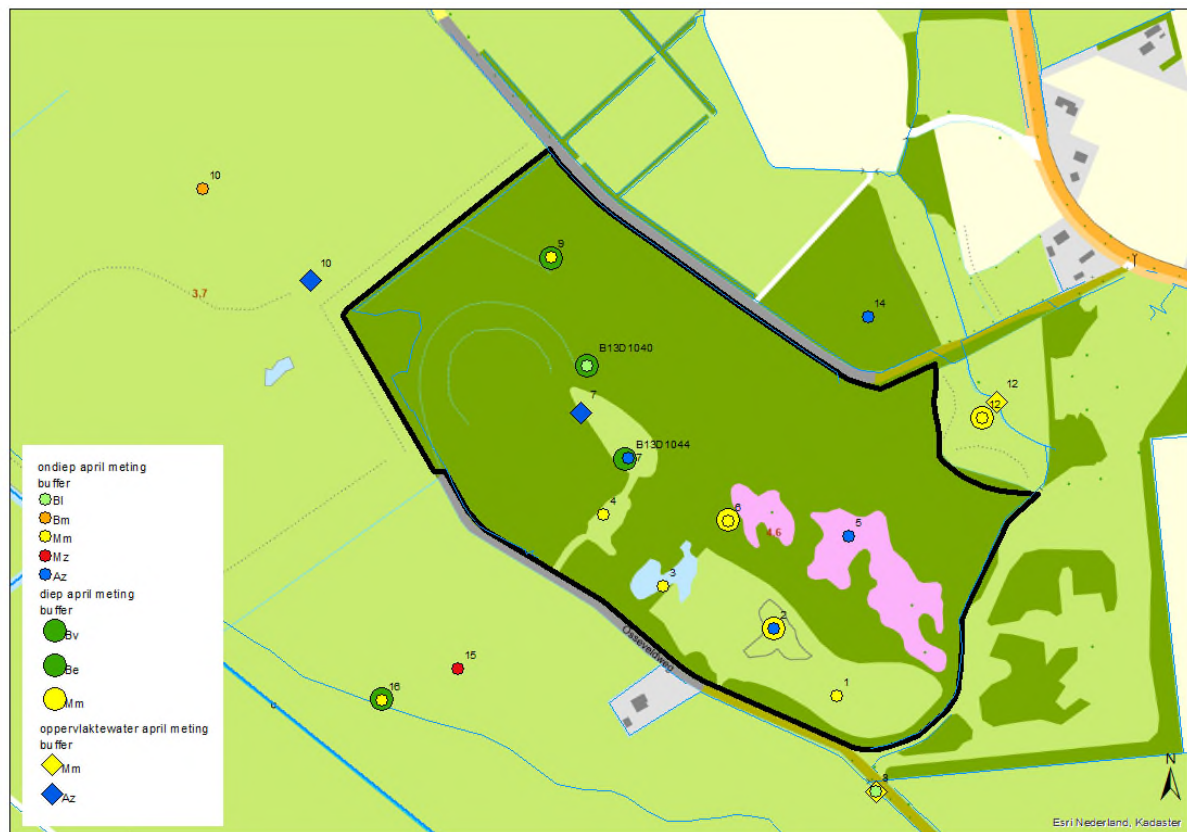
Eutrofiëring via het grondwater zal optreden bij hoge gehalten (en aanvoerflux) van de macro-nutriënten NO_3 , NH_4 , oPO_4 en K. SO_4 ontstaat vaak bij omzetting van NO_3 in stikstofgas (denitrificatie) en kan op zichzelf ook weer tot mineralisatie van nutriënten leiden (interne eutrofiëring). Als het grondwater geen nutriënten meer bevat, kunnen (ten opzichte van natuurlijk) verhoogde gehalten van Na en Cl toch wijzen op belasting in het intrekgebied. Een relatief hoog aandeel Mg in de hardheid (>15-20%) wijst vaak op bekalking (met dolocal) of het gebruik van dierlijke mest (relatief Mg-rijk; Van Beek et al., 2006). Vanwege snellere oplossing en uitspoeling van CaCO_3 dan MgCO_3 is ook in water met zeer lage hardheid het relatieve aandeel van Mg vaak hoog. Een indicatie voor de mate van landbouw-beïnvloeding van het grondwater is op al deze parameters gebaseerd. In hoeverre toestroom van beïnvloed grondwater daadwerkelijk leidt tot eutrofiëring is afhankelijk van de aanvoerflux, en in het geval van interne eutrofiëring ook van de in de bodem aanwezige mobiliseerbare nutriëntenvoorraad.

Bij de interpretatie van de grondwaterkwaliteit zijn de bemonsterde peilbuizen en locaties globaal samen te vatten in zeven groepen:

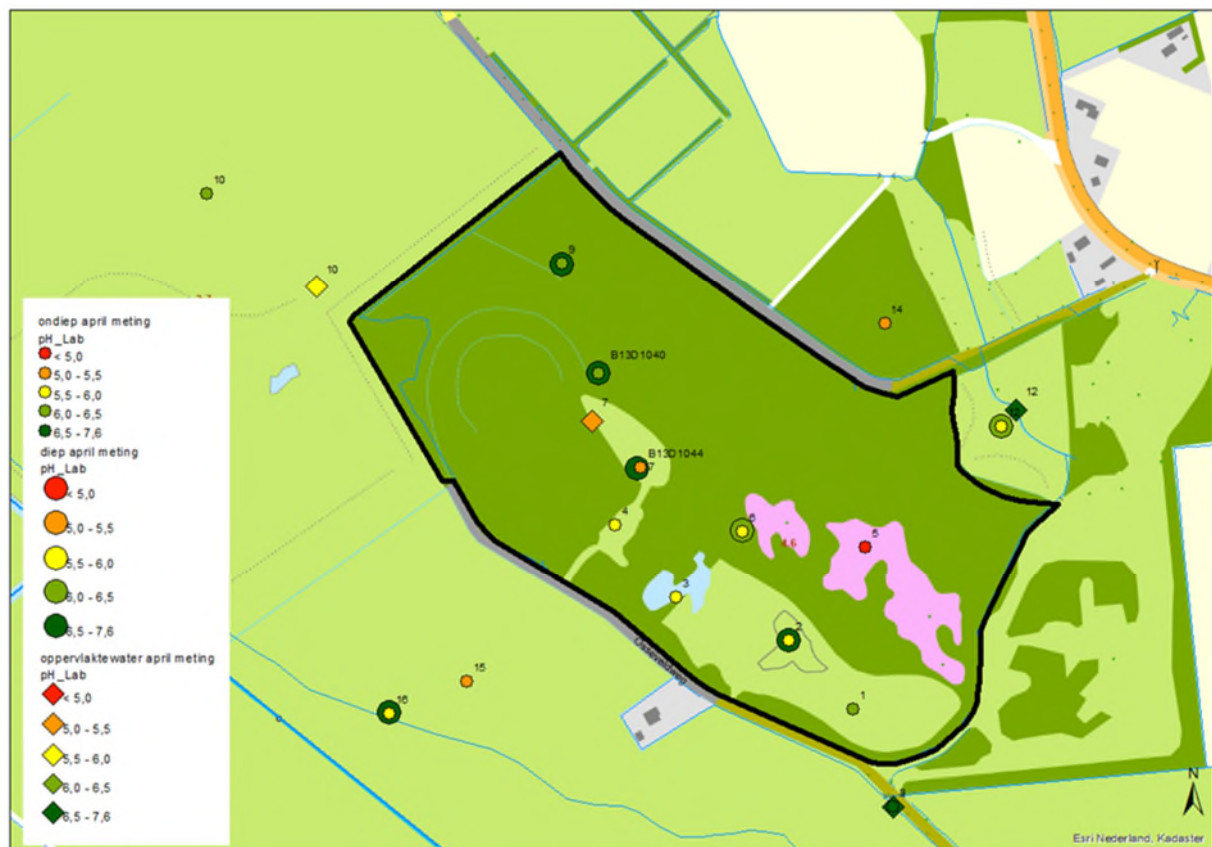
- 1 Ellersinghuizerveld. Dit zijn de buizen 10, 15 en 16, op de afgegraven delen van het Ellersinghuizerveld, dat voorheen in intensief agrarisch gebruik was.
- 2 Kwelafvang randzone. Dit zijn de buizen 8 (bermsloot zuidwest) en 12, in de flank van het beekdalletje aan de oostkant.
- 3 Ontwaterde bulten. Dit zijn de buizen 5 op de Adelaarsvarenbult en 14, op de bult met bosje aan de noordoostkant.
- 4 Weilandje, ondiep. Dit zijn de buizen 1, 2 en 3, in de Grote Weide in de zuidpunt van het reservaat.
- 5 Centraal reservaat, ondiep. Dit zijn alle overige, ondiepe buizen (filter 1-2 meter) in het reservaat: buis 4, 6, 9 en de ondiepe buizen B13D1040-F1 en B13D1044-F1 (Waterschap/ Provincie).
- 6 Diep, invloed bult. Dit zijn de diepe buizen van locatie 2 en 6. Hier is invloed van in de Adelaarsvarenbult geïnfiltreerd water in de ondergrond merkbaar. Overigens staat ook buis 12 (groep 2) op een dergelijke positie.
- 7 Diep. Dit zijn de overige diepe buizen 7, 9, 12, 16 en B13D1040-F2 (Waterschap/ Provincie).

3.5.2 Basenrijkdom en zuurgraad

In een groot deel van het Liefstingsbroek komt basenrijk grondwater voor in de diepere ondergrond. Van de zeven diepe filters bevatten er vier sterk gebufferd, (zeer) basenrijk, (bijna) kalkverzadigd water met neutrale pH (Figuur 3-19 en Figuur 3-20). Dit zijn de diepe buizen in voornamelijk de westelijke helft van het Liefstingsbroek; de Paardewei (7; B130D1040), het Haagbeukenbos (9), en in het Ellersinghuizerveld (16). De andere drie buizen, in en bij de Grote weide en in het oostelijk beekdal, bevatten matig sterk gebufferd, basenrijk, zwak zuur grondwater. Deze grondwaterkwaliteit voldoet voor het handhaven van zwak zure tot neutrale standplaatsen, maar het is niet bekend of dit grondwater de toplaag van de bodem bereikt.



Figuur 3-19. Basenrijkdom typen van grondwater in april. Zie bijlage XIII voor de basenrijkdom van september. Hoofdtypen: B = sterk gebufferd/ basenrijk; M = matig sterk gebufferd/ basenrijk; A = nauwelijks gebufferd, basenarm. Onderverdeling: v/e = verzadigd/evenwicht, l = licht agressief, m = matig agressief, z = zuur.



Figuur 3-20: Zuurgraad (weergegeven als pH) grondwater voor de bemonstering in april. Zie bijlage XIIIIXIII voor de zuurgraad in september.

Op de meeste van deze locaties is het water in de ondiepe buis minder goed gebufferd. Op twee plekken is het regenwaterachtig, namelijk op locaties 2 (Grote weide), en 1044 (7) (blauwgrasland, matig zuur). Alleen op de locaties 6 (kwelzone elzenbroekbos) en 12 (kwelzone beekdal oost) is het ondiepe water matig sterk gebufferd, net zoals het diepe filter. Het ondiepe grondwater op de andere locaties in de Grote weide en Voorste weide is matig sterk gebufferd, in het zwak zure bereik. Mits ook aanwezig in de wortelzone voldoet deze grondwaterkwaliteit voor het handhaven van zwak zure standplaatsen.

Het ondiepe grondwater bij de schouwsloot in de zuidpunt van het gebied (locatie 8) is basenrijk en slechts licht onderverzadigd (type B1). Dat is ook terug te zien in het oppervlaktewater in deze schouwsloot, dat matig basenrijk is en dus bestaat uit een mix van grondwater en regenwater. Deze sloot draineert dus kwelwater, wat zich weerspiegelt in de begroeiing met Holpijp.

Het ondiepe water in de lokale zandruggen (5, 14) is basenarm en zuur, zoals te verwachten. Dit past bij de hoge ligging en (matig) zure standplaats. Het betreft in deze ruggen inzijsend regenwater.

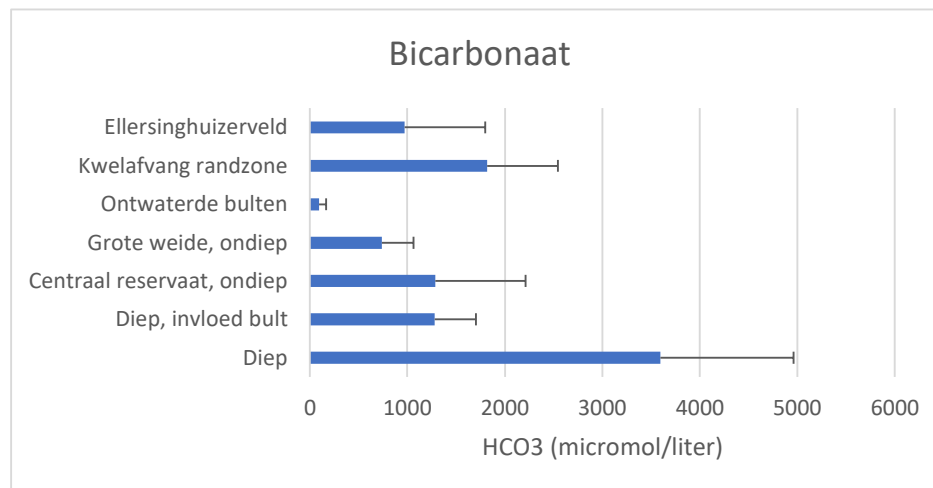
Van de drie ondiepe meetpunten op het Ellersinghuizerveld zijn de twee zuidelijke (15 en 16) matig sterk gebufferd/basenrijk, maar (licht tot matig) verzuurd (gezien kalkverzadiging). De noordelijke (10) is sterk gebufferd/basenrijk, maar licht verzuurd (gezien kalkverzadiging). Mits ook aanwezig in de wortelzone voldoet deze grondwaterkwaliteit voor het handhaven van matig tot zwak gebufferde standplaatsen (voor o.a. blauwgrasland).

Het oppervlaktewater op de Paardeweide (7) en bij de stuw bij de westpunt (10) is ionenarm (lage EGV), basenarm en zuur, wat wijst op dominantie van afvoer van regenwater. Het water in de oostelijke beek (12) en in de schouwsloot in de zuidpunt van het Liefstingsbroek (8) is matig sterk gebufferd/basenrijk. Het zal bestaan uit een

mengsel van kwelwater en water uit de omliggende percelen. Over het algemeen zijn er geen grote verschillen tussen de meting in april en september. Het is niet zo, dat de waarde in september steeds hoger of juist lager is.

Bicarbonaat – (snelle) buffercapaciteit van het grondwater

Bicarbonaat zorgt voor het snelle buffermechanisme in grondwater en de buffercapaciteit daarvan (hoeveel zuur kan worden geneutraliseerd) wordt bepaald door het HCO_3 -gehalte (Figuur 3-21). In het diepe grondwater is deze altijd boven de 2 milli-equivalent per liter en is er dus sprake van goed en snel gebufferd grondwater. Alleen in het beekdal aan de oostkant zakt deze in september tot 1,3 meq/l. De variatie in zowel ruimte als tijd is aanzienlijk. Rond de Adelaarsvarenbult ligt het HCO_3 -gehalte tussen 0,8 en 2 meq/l en is het grondwater dus aanzienlijk minder sterk en snel gebufferd. Nog wat minder HCO_3 -rijk is het ondiepe grondwater (1-2 meter diepte) in en om het Liefstingsbroek. Op deze diepte is namelijk geen kalk aanwezig van waaruit HCO_3 kan worden aangevuld. Onder de hoge bulten is zelfs uitgesproken HCO_3 -arm en zuur grondwater aangetroffen, met hoge concentraties aluminium. De buizen in de lage delen van de randzone nemen qua waterkwaliteit een tussenpositie in tussen de oppervlakkige en de diepe buizen. Dit kan samenhangen met buffering door het adsorptiecomplex en met vorming van HCO_3 bij reductieprocessen in waterverzadigde, organisch stofrijke bodems.



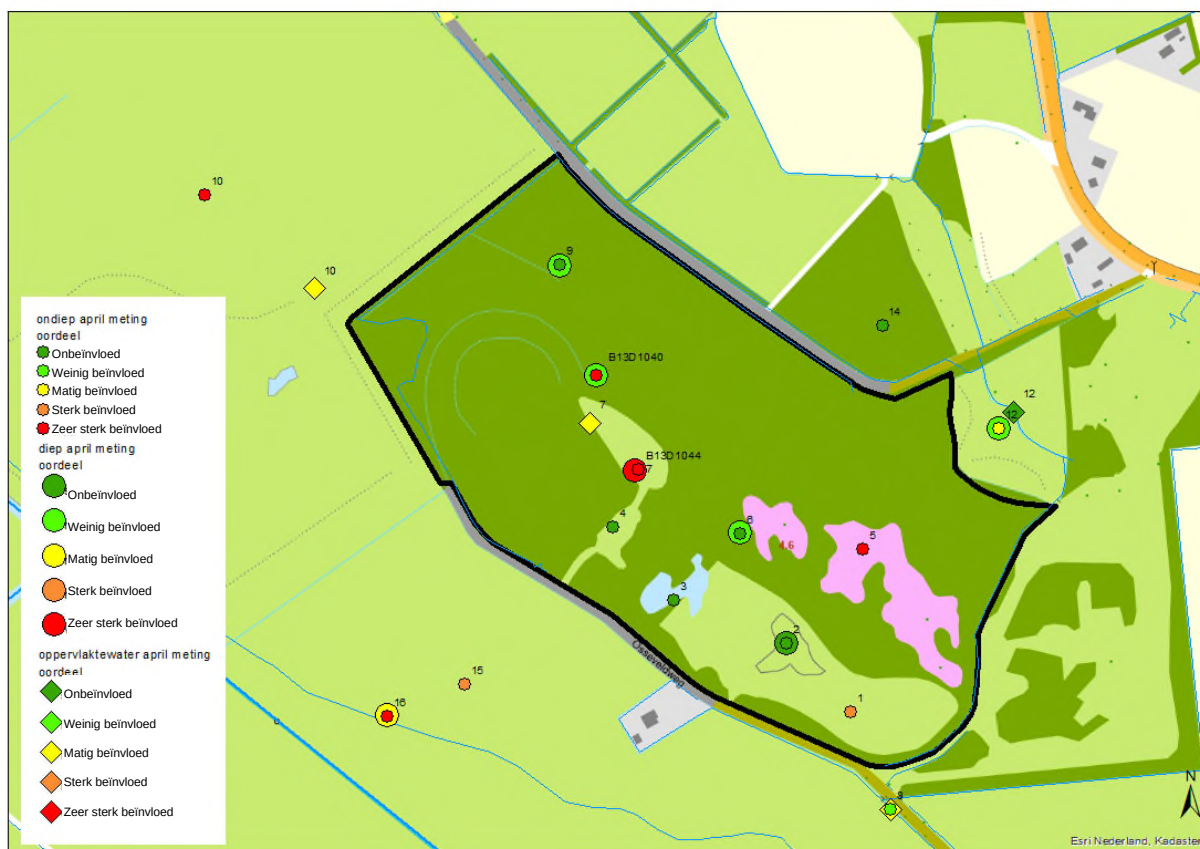
Figuur 3-21. Gemiddelde concentratie bicarbonaat in de peilbuizen in en om het Liefstingsbroek op 22 april en 1 september 2021, die hiervoor ingedeeld zijn in 7 groepen (zie paragraaf 3.5.1). De foutbalken geven de standaardafwijking weer.

Natuurlijke of opgebrachte kalk als bron voor hard grondwater

In het grootste deel van de monsters is het relatieve aandeel van Mg in de hardheid (Mg/TH) kleiner dan 20%. Dit wijst op natuurlijke kalk als bron en niet op effecten van bemesting of bekalking zijn. Het hoge aandeel (50%) op de Adelaarsvarenbult (5) wordt verklaard doordat deze sterk uitgelopen is en er dan naar verhouding nog veel magnesium vrijkomt uit de zure bodem. Op een locatie in de Grote Weide (2) betreft het een verzuurde bodemlaag met regenwaterlens. In de ondiepe monsters op het Ellersinghuizerveld (16 en 15 ondiep) betreft het afgegraven voormalige landbouwgronden met waarschijnlijk nog een effect van bekalking met Mg-rijke (dolomitische) kalk uit het verleden.

Met uitzondering van de ondiepe buizen op het Ellersinghuizerveld is de hardheid in het (matig)sterk gebufferde grondwater dus afkomstig van natuurlijke kalkvoorkomens in de ondergrond.

3.5.3 Beïnvloeding door bemesting en N-depositie

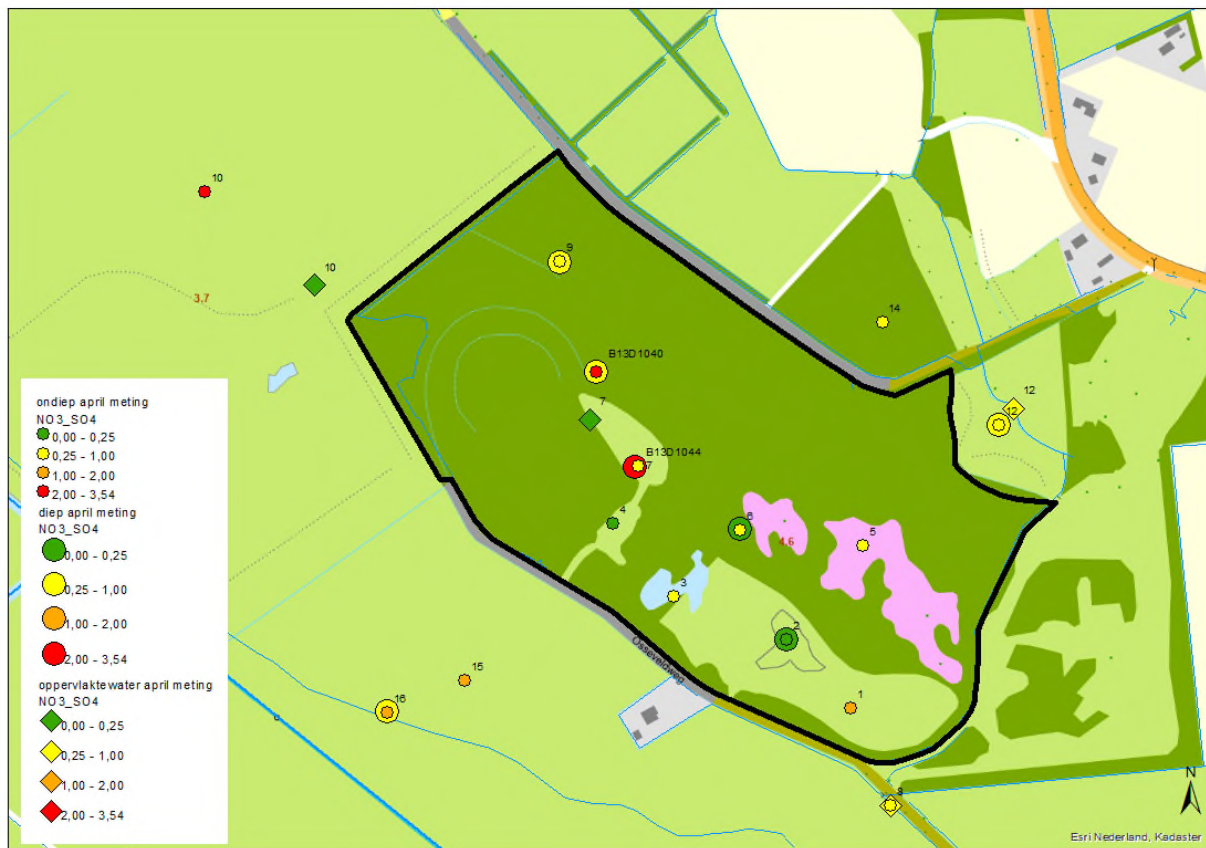


Figuur 3-22: Mate van antropogene beïnvloeding van het grondwater (april 2021). Zie paragraaf 3.5.1 en Bijlage I voor totstandkoming categorieën.

Figuur 3.21 toont de samenvattende beoordeling van de mate van antropogene invloed (bemesting, N-depositie, verdroging) op de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. De kenmerken zijn beschreven in paragraaf 3.5.1 en Bijlage I. Indien een hoge mate van beïnvloeding waargenomen wordt, geeft dat aanleiding tot nader onderzoek wat de bron daarvan is en in hoeverre standplaatscondities negatief beïnvloed worden. Op basis van de indeling komt naar voren dat de kwaliteit van het diepe grondwater over het algemeen niet of in beperkte mate beïnvloed is. Een paar observaties wijken daarvan af:

- (1) Zowel het diepe (7) als ondiepe (1044) grondwater in de Paardeweide is 'zeer sterk beïnvloed'. Dit blijkt uit hoge concentraties SO_4 , Na, en K en aanwezigheid van NO_3 in de diepe buis (zie Bijlage XIII voor kaarten per variabele), en het hoge gehalte NO_3 in het ondiepe filter. Hier is sprake van een door N-depositie verrijkte neerslaglens bovenop het sterk gebufferde, maar antropogeen beïnvloede diepere water.
- (2) Ook de nabij gelegen ondiepe buis in het Elzenbroek (1040) is sterk beïnvloed, met een zeer hoog SO_4 -gehalte, waarschijnlijk als gevolg van ophoping van sulfiden, te diep wegzakkende grondwaterstanden en vervolgens oxidatie van sulfiden.
- (3) Ook het ondiepe grondwater in het Ellersinghuizerveld (10, 15, 16) is geclassificeerd als 'sterk' tot 'zeer sterk beïnvloed'. Voornaamste tekenen daarvoor is een verhoogde concentratie van SO_4 en K. Dit wordt verklaard door het voormalig agrarisch gebruik.
- (4) Het grondwater op de Adelaarsvarenbult is 'zeer sterk beïnvloed'. Hier betreft het de hoge nitraatconcentratie, veroorzaakt door (te hoge) stikstofdepositie (zie Bijlage VI).
- (5) In een van de drie ondiepe buizen op de Grote Weide (1) is het K- en SO_4 -gehalte verhoogd.

3.5.3.1 Aanwezigheid van de som sulfaat + nitraat



Figuur 3.22: Het gezamenlijk gehalte van NO₃ en SO₄ (in meq/l). Verhoogde gehalten SO₄ zijn vaak een product van denitrificatie in reactie met in de doorstroomde bodemlaag aanwezige ijzersulfiden. De som is dan een (lage) schatting voor de initiële nitraatgehalten.

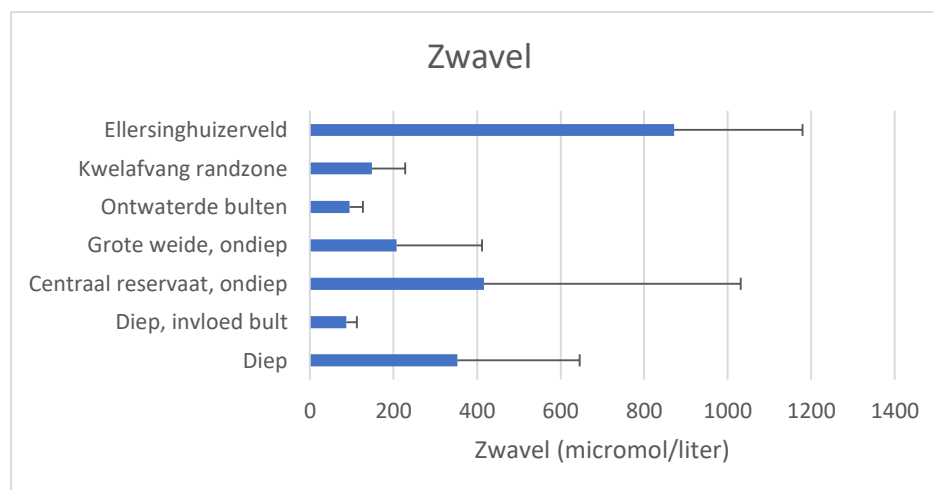
Nitraat

Het nitraatgehalte is op de meeste locaties zeer laag. Ook het NH₄-gehalte is overwegend laag, maar er zijn enkele uitschieters (Bijlage XIII). Zo is in Adelaarsvarenbult 110-360 micromol/liter nitraat (locatie 5) en ook veel ammonium aangetroffen, een gevolg van invang van (overmatige) stikstofdepositie (zie Bijlage VI) door het bos en deze ruigte en vervolgens uitspoeling uit de stikstof verzadigde humuslaag naar de ondergrond. Dit staat haaks op de bevinding in van Delft e.a. (2017), waar geen effecten van stikstofdepositie zijn waargenomen. De dominantie van Zwarte bramen op veel locaties lijkt wel degelijk gestimuleerd te worden door de stikstof verzadigde bosbodem. Merkwaardig genoeg zijn verder de hoogste nitraatgehalten (350-550 micromol/liter) aangetroffen in de ondiepe buis B13D1044 in de Paardewei met de restanten blauwgrasland. Zoals eerder vermeld betreft het een dikke neerslaglens. Mogelijk is deze ontstaan door het vasthouden van regenwater en ondiep, nitratrijk grondwater uit onder meer de Adelaarsvarenbult. De overige ondiepe buizen laten op beide meetmomenten nagenoeg geen nitraat zien. In veel gevallen is wel veel SO₄ aanwezig, wat erop wijst dat denitrificatie is opgetreden in combinatie met oxidatie van ijzersulfiden. Dit proces treedt bij buis 1044 blijkbaar niet (meer) op. Opvallend is dat in vrijwel alle diepe buizen een licht verhoogde nitraatconcentratie wordt aangetroffen, evenals licht verhoogde concentraties ammonium. Dit duidt erop dat het diepere grondwater wordt beïnvloed door uitspoeling van nitraat (en mogelijk ammonium) en dat op deze diepte onvoldoende reductiecapaciteit aanwezig is voor denitrificatie. Onder Ellersinghuizerveld kan deze N-belasting nog een gevolg zijn van het vroegere agrarisch gebruik. Onder het Natura 2000-gebied ligt N-depositie als

bron het meeste voor de hand, aangezien het gebied niet of nauwelijks wordt gevoed door grondwater uit de omgeving, maar zelf juist water verliest naar de randen.

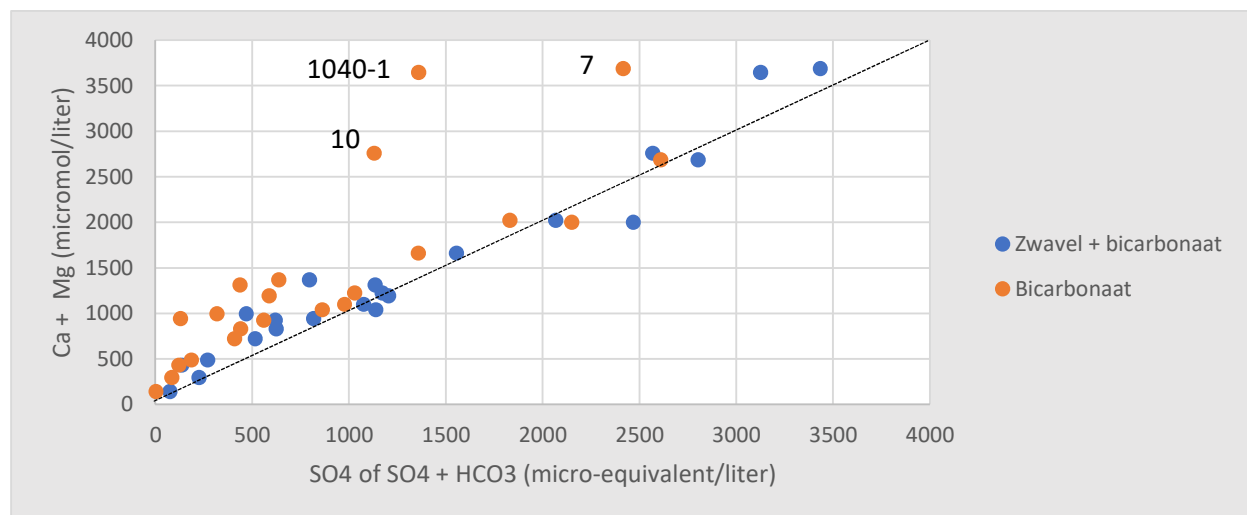
Zwavel

Het zwavel dat gemeten is in de peilbuizen, is vrijwel geheel aanwezig als opgelost sulfaat. In theorie kunnen ook hoge concentraties sulfide aanwezig zijn, maar dit is niet geroken (de geur van sulfide is al bij lage concentraties duidelijk waarneembaar). Op de meeste locaties is de concentratie vrij laag ($<0,2$ mmol/l; *Figuur 3-23*). Een aantal ondiepe buizen had matig ($>0,6$) tot sterk ($>1,0$ mmol/l) verhoogde SO_4 -gehalten, namelijk 1040-1 in het Elzenbroek bij de Paardenwei, 1 in de Grote weide, 10 en 15 en 16 op het Ellersinghuizerveld. In de diepe buizen zijn alleen in 7 en 16 in een van de meetronden matig sterk ($0,7-1$ mmol/l) verhoogde SO_4 -gehalten gemeten. Op een aantal plaatsen is het ondiepe grondwater dus belast met sulfaat, en op enkele ook het diepe. Op de zandgronden is dit een veel voorkomend verschijnsel, dat vaak veroorzaakt wordt door oxidatie van ijzersulfiden bij nitraatuitspoeling of bij diep wegzakkende grondwaterstanden in voorheen waterverzadigde bodemlagen. Ook de verhoogde zwaveldepositie sinds de industriële revolutie tot ongeveer jaren '80 van de vorige eeuw vind zijn weerslag in verhoogde sulfaatconcentraties die nog onderweg zijn naar kwetsbare kwel natuur of inmiddels in de bodem zijn vastgelegd als ijzersulfiden.



Figuur 3-23. Gemiddelde en variatie van de concentratie zwavel in de peilbuizen in en om het Liefstingsbroek op 22 april en 1 september 2021, die hiervoor ingedeeld zijn in 7 groepen (zie tekst). De foutbalken geven de standaardafwijking weer.

De mobilisatie van sulfaat in de ondergrond is het gevolg van het ontstaan van zwavelzuur (sulfaat + zuurdeeltjes, protonen) uit elementair zwavel. Deze zuurdeeltjes kunnen vervolgens leiden tot verhoogde calcium- en magnesiumconcentraties in het grondwater, door het oplossen van calcium- of magnesiumcarbonaten of door de uitwisseling van zuurdeeltjes tegen calcium en magnesium dat aan het kation-uitwisselingscomplex is gebonden. Een aanwijzing hiervoor wordt gevonden wanneer de negatieve lading van sulfaat en bicarbonaat wordt uitgezet tegen de positieve lading van calcium en magnesium (blauwe stippen in *Figuur 3-24*). Dit levert een goede correlatie op, wat erop kan duiden dat de bijdragen van opgeloste kalk en de sulfaatmobilisatie samen heel goed de gevonden concentraties kationen kunnen verklaren. Dit zelfde is gedaan door alleen de bijdrage van opgeloste kalk te nemen (roodbruine stippen). Ook dan is er voor veel punten een goede correlatie te vinden, wat aangeeft dat hier het oplossen van calcium- en magnesiumcarbonaten het dominante proces is. Maar er zijn ook veel punten die aanzienlijk hoger liggen op grond van het gehalte bicarbonaat mag worden verwacht. Dit zijn de punten waar veel calcium en magnesium is opgelost door sulfaatmobilisatie. Dit is met name het geval in de buizen 7 en 13D1044, de diepe buizen onder de Paardeweide, en de ondiepe buis 10 in het lage deel van het afgegraven Ellersinghuizerveld.



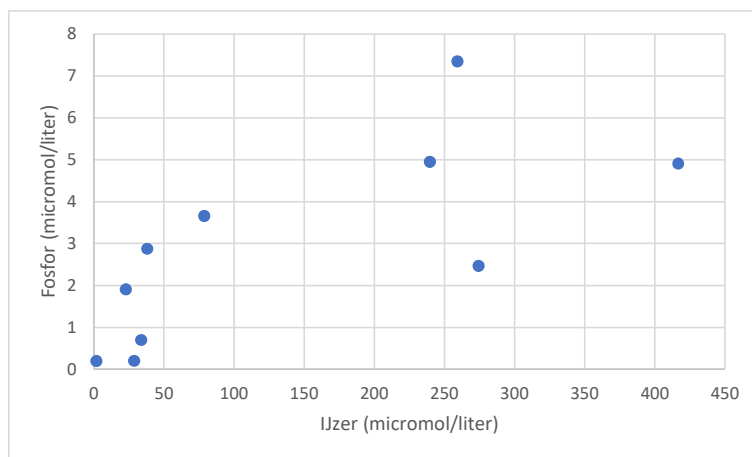
Figuur 3-24. Correlatie in het grondwater tussen de opgetelde negatieve lading van sulfaat (gemeten als zwavel) en bicarbonaat enerzijds, en de positieve lading van calcium- en magnesium anderzijds (blauwe stippen). Dezelfde correlatie is ook weergegeven voor alleen bicarbonaat versus de som van calcium + magnesium (roodbruine stippen). De stippellijn geeft een gelijke verhouding weer tussen de positieve en de negatieve lading.

3.5.3.2 Kalium

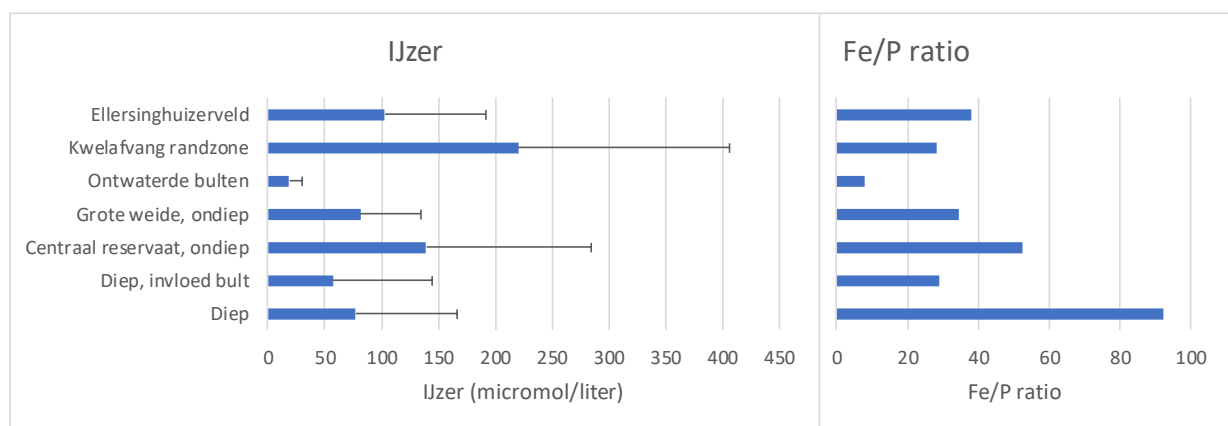
Een aantal locaties vertoont een hoger K-concentratie dan van nature verwacht mag worden (van nature is de concentratie $<2 \text{ mg/l} = <0,05 \text{ mmol/l}$ (Jalink en Van Beek, 2000). Dit is met name het geval in het diepe grondwater (in september) in de westelijke helft van het gebied, en ondiep grondwater in het Ellersinghuizerveld. De verhoogde K concentraties hangen mogelijk samen met (voormalige) bemesting. Anders dan NO_3 en o-PO_4 is K niet redoxgevoelig. K kan wel adsorberen aan leem of klei, waardoor de mestgift onderschat zou worden.

3.5.4 Fosfor en ijzer

In de centrale delen van het reservaat, waar veel water wordt vastgehouden, is in het ondiepe grondwater veel fosfor aanwezig (Figuur 3-25). Als dit grondwater uittreedt en daarmee in oppervlaktewater of wortelzones terecht zou komen, kan dit eutrofiëring werken. Mogelijk is dit een oorzaak van de hoge fosfaatconcentratie die is waargenomen in het uitstromende oppervlaktewater. Tegelijkertijd geven hoge ijzerconcentraties aanwijzingen voor binding van fosfaat. Relatief hoge fosfaatconcentraties in het grondwater gaan namelijk gepaard met relatief hoge ijzerconcentraties (Figuur 3-25). Bovendien bevatten de monsters een overmaat aan ijzer; de Fe/P-ratio bedraagt minimaal 4, wat betekent dat de ijzergehalten vele malen groter dan o-PO_4 -gehalten. Dit betekent dat het grondwater ruim voldoende Fe bevat om het o-PO_4 te binden zodra het milieu oxidisch wordt, waardoor het fosfaat slechts langzaam beschikbaar komt.



Figuur 3-25: Opgelost ijzer en fosfor in het ondiepe grondwater onder de centrale delen van het reservaat.



Figuur 3-26: spreiding van ijzerconcentraties en Fe/P-ratio.

3.6 Kwaliteit oppervlaktewater

Tijdens het onderzoek zijn op een viertal locaties monsters verzameld van het oppervlaktewater in en om het Liefstingsbroek (Tabel 3-1). De meeste zijn verzameld op 22 april 2021, op 1 september zijn ook monsters verzameld maar waren veel ondiepe wateren al opgedroogd.

Het water in het beekje aan de oostzijde (12) is matig sterk gebufferd en was in april 2021 niet of nauwelijks beïnvloed door bemesting. Dit bevestigt dat deze sloot gebufferd grondwater aantrekt en uit het gebied afvoert. In september waren TH, VI en Na lager dan in april, vermoedelijk door een groter aandeel zeer lokaal grondwater of regenwater. Verder zijn in het beekje in september zeer hoge fosfor- en ijzergehalten waargenomen. Het is niet bekend of deze het gevolg zijn van uittredend ijzer- en fosfaatrijk grondwater of afstroming van organisch materiaal.

Het water in de bermsloot (8) aan de zuidwestzijde is matig sterk gebufferd en matig beïnvloed. Dit blijkt uit het verhoogd K-gehalte afkomstig uit (voorheen) bemeste gronden. Gezien de hardheid trekt deze sloot veel gebufferd grondwater aan. Net als bij punt 12 is de hardheid in september lager, maar Cl en Na zijn juist hoger. Mogelijk was in deze periode een groter aandeel van het slootwater afkomstig uit de voormalige landbouwgronden van Ellersinghuizerveld.

Bij de stuw aan de westzijde van het Natura 2000-gebied (10) kon alleen in het voorjaar een monster genomen worden. Het water was nauwelijks gebufferd, zwak-matig zuur en gezien de EGV relatief ionenarm. Toch waren de gehalten aan Cl, K en Na relatief hoog. Het water bestaat voor een belangrijk deel uit regenwater, maar er lijkt ook nalevering vanuit (voormalig) bemeste grond of vanuit bosstrooisel van invloed te zijn.

In april was een plas aanwezig in de slenk bij de Paardenwei (7). Dit water was nauwelijks gebufferd, zwak-matig zuur en gezien de EGV relatief ionenarm. Toch waren ook hier de gehalten aan Cl, K en Na relatief hoog. Het water bestaat voor een belangrijk deel uit regenwater, maar er lijkt ook nalevering vanuit bosstrooisel van invloed te zijn.

Tabel 3-1. Waterkwaliteit op 4 locaties op 22 april 2021. Beekdal oost = kop beekloop in oude meander Ruiten Aa. Sloop ZO = sloop langs toegangsweg, t.h.v. zuidpunt Liefstingsbroek. Slenk weilandje = ondiep water in weiland zuidkant Liefstingsbroek. Uitstroom broek = uitstroom van verzameld water uit Liefstingsbroek aan westpunt (afvoersloop).

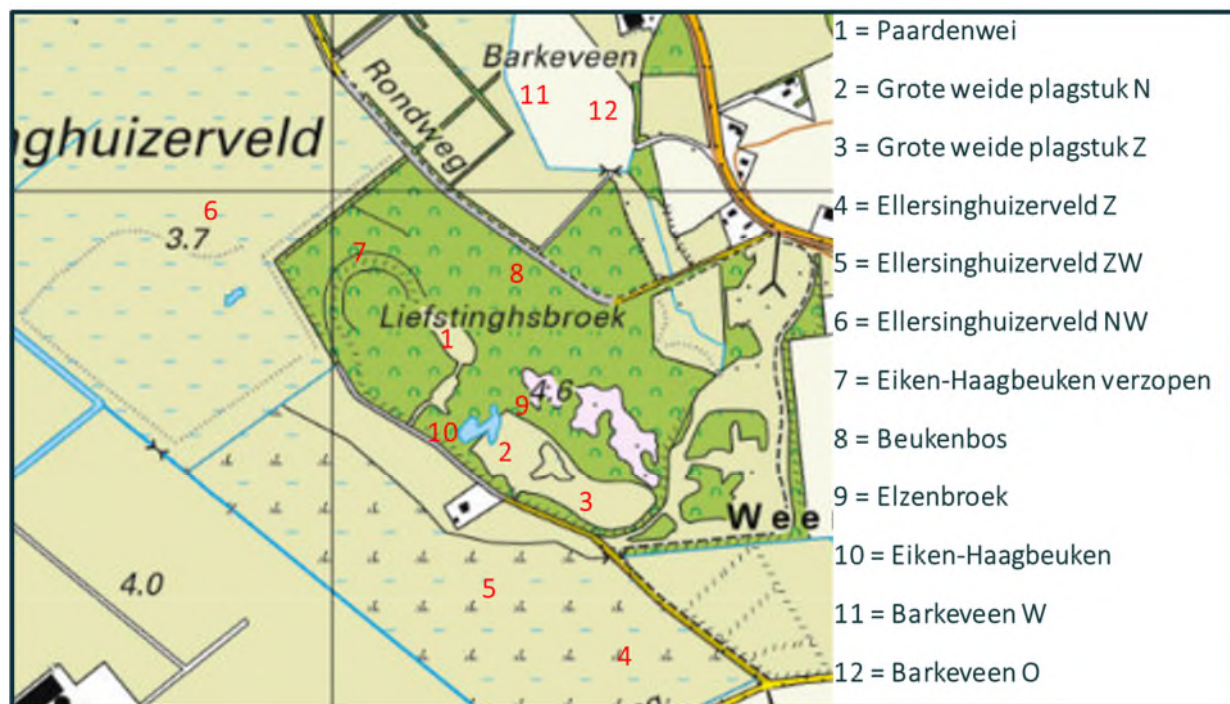
Omschrijving	Datum	Zuurgraad	EGV	CO ₂	HCO ₃	NO ₃	NH ₄	Al	Ca	Cl	Fe	K	Mg	Na	P	S
		pH	(µs/cm)	Concentraties in micromol per liter water												
Beekdal oost	22-04-21	6,554	260	719	1068	0,1	2	4	879	589	33	42	126	767	2,0	347
Beekdal oost	1-09-21	6,235	176,8	1526	1088	0,9	52	41	770	279	640	60	99	212	54,5	130
Uitstroom broek	22-04-21	5,637	164	512	92	3,1	64	25	252	960	81	134	124	784	19,5	91
Grote weide	22-04-21	5,458	139	586	70	2,5	91	10	192	833	21	132	112	621	13,8	71
Sloop zuidoost	22-04-21	6,666	304	576	1108	1,8	0	11	704	1096	47	174	170	1128	2,6	273
Sloop zuidoost	1-09-21	6,723	302	790	1732	0,7	5	0	958	699	75	212	188	692	1,8	152

3.7 Bodemchemie

De mate waarin met name Natura2000 natuurdoelen in stand gehouden of uitgebreid kunnen worden is sterk afhankelijk van de mate waarin de juiste bodemcondities in de wortelzone aanwezig zijn. Deze bodemcondities worden op hun beurt weer gestuurd door allerlei chemische en biologische processen die zich aan de oppervlakte afspelen. In paragraaf 3.7.1 zal eerst gepoogd worden om enig zicht te krijgen welke processen er in en om het Liefstingsbroek een belangrijke rol spelen. Vervolgens worden in paragraaf 3.7.2 de actuele bodemcondities vergeleken met referentiewaarden voor de betreffende N2000 doelen uit andere delen in Nederland, en wordt ingeschat in hoeverre een verandering van de bodemcondities richting deze referentie wenselijk en haalbaar is.

3.7.1 Sturende processen voor de bodemsamenstelling in de toplaag

Op 28 juli 2021 is op 12 locaties een bodemonmonster van de bovenste 10 centimeter van de bodem verzameld (Figuur 3-27). In het Liefstingsbroek was dit in de Paardeweide met habitatype blauwgrasland (1), geplagde delen van de Grote weide aan de zuidkant (2,3), het sterk vernatte Eiken-Haagbeukenbos (7), Eiken-Beukenbos (8) en een locatie met vrij goed ontwikkeld elzenbroekbos (9) en Eiken-Haagbeukenbos (10). Buiten het Liefstingsbroek zijn locaties aangehouden waar tijdens de SNL kartering vegetatie-opnamen zijn gemaakt.



Figuur 3-27. Kaart van het Liefstingsbroek en de aangrenzende delen van het Ellersinghuizerveld en het Barkeveen, met hierop aangegeven de locaties waar op 28 juli 2021 bodemmonsters zijn genomen.

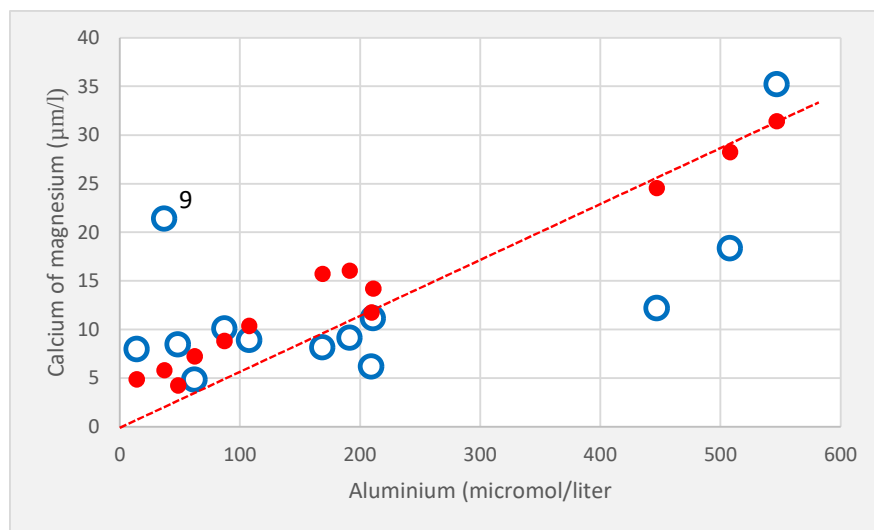
Er zijn diverse typen bodems bemonsterd, de meeste bodems zijn zandig, maar er zijn ook humeuze bosbodems, een veenbodem en een sterk lemige bodem bemonsterd. Het calciumgehalte is nergens hoger dan 35 millimol/liter en het magnesiumgehalte niet hoger dan 31 millimol/liter (Tabel 3-2). Indien dit allemaal als calcium- en magnesiumcarbonaat aanwezig zou zijn, is het kalkgehalte maximaal 0,6%. Er is dus sprake van een kalkarme tot kalkloze toplaag van de bodems. Van de drie leembodems zijn de twee bodems in de Grote weide ook vrij rijk aan ijzer, maar de leembodem in het Eiken-Haagbeukenbos is juist relatief arm aan ijzer. IJzerhoudende bodems zijn in beeld gebracht door van Delft e.a. (2017).

De totale voorraad fosfor is relatief hoog in de graslanden in het Liefstingsbroek, het vernatte Eiken-Haagbeukenbos en de Eikenwal, en erg laag in de afgegraven landbouwgronden van het Ellersinghuizerveld en Barkeveen. Wel is er vrijwel overal voldoende ijzer in de bodem aanwezig om fosfor te kunnen binden. Daarbij is ook het zwavelgehalte van belang. De hoogste gehalten komen voor in natte, onvergraven bodems van het Liefstingsbroek. Er is ook een matige correlatie aanwezig met het gehalte organisch stof. Het lijkt er op dat dit zwavel vooral aanwezig is of was in zwavelhoudend veen, en (op 1 locatie) de humuslaag van het Beukenbos. Alleen in het elzenbroek is er in totaal meer zwavel en fosfor aanwezig dan ijzer. De aangrenzende waterpartij was dan ook afgedekt met een gesloten kroosdek.

Tabel 3-2. Overzicht van de belangrijkste analyseresultaten van de verzamelde bodemonsters. Organisch stof weergegeven als percentage drooggewicht. Olsen-P = plant beschikbaar fosfaat. Voor de nummers van de locaties zie Figuur 3-27.

Nr.	Locatie	Coördinaten		Organ.	Olsen	Totaal extraheerbaar (salpeterzuur)						
		x	y	stof	P	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
				(% DW)	Concentraties in micromol/liter bodem)							
1	Liefstingsbroek blauwgras oud	271,179	558,699	16,4	1383	210	6,2	66	5,6	11,8	7,6	9,3
2	Liefstingsbroek weilandje bij poel	271,251	558,595	5,5	1432	447	12,2	344	8,5	24,6	13,5	7,6
3	ZW kant weilandje	271,392	558,517	4,8	907	547	35,2	544	12,6	31,4	8,6	8,1
4	Ell-huiz- veld zuid	271,417	558,239	1,6	51	211	11,1	48	7,9	14,2	2,1	2,7
5	Ell-huiz-veld zuidwest	271,24	558,397	0,5	93	169	8,1	39	11,1	15,7	2,0	2,0
6	Ell-huiz-veld west	270,813	558,998	1,0	1	48	8,5	58	3,7	4,2	1,8	5,3
7	Verzopen els/es	271,09	558,963	19,2	1822	508	18,3	104	10,8	28,3	12,8	15,1
8a	Beukenbos 6cm humus	271,391	558,827	78,7	911	14	8,0	14	1,7	4,9	3,1	11,1
8b	Beukenbos toplaag mineraal	271,391	558,827	31,1	1287	62	4,8	24	5,1	7,2	4,3	12,4
9	Elzenbroek, eigen locatie	271,29	558,667	68,6	819	37	21,4	17	1,8	5,8	4,0	16,4
10	Eikenwal randsloot	271,197	558,588	26,6	1765	87	10,1	49	6,6	8,8	10,5	22,3
11	Barkeveen west	271,161	559,253	4,6	276	191	9,2	27	12,0	16,1	2,4	5,4
12	Barkeveen oost	271,259	559,27	2,2	335	108	8,9	25	7,5	10,4	2,6	5,3
Nr.	Locatie	Zuur-	Basen-	Zout-extraheerbare concentraties (micromol/liter bodem)								
		graad	verzad.									
		pH-NaCl	(%)	NO3-	NH4+	Al	Ca	K	Mg	Mn	P	Zn
1	Liefstingsbroek blauwgras oud	3,73	57	7	41	859	2084	17	170	14	0,9	14
2	Liefstingsbroek weilandje bij poel	4,45	84	4	3	724	6189	148	885	149	1,9	10
3	ZW kant weilandje	4,54	85	0	11	259	10312	58	904	84	1,0	2
4	Ell-huiz- veld zuid	5,59	98	26	36	92	8904	535	1916	5	1,3	1
5	Ell-huiz-veld zuidwest	5,09	99	1	2	11	4351	211	750	5	0,4	0
6	Ell-huiz-veld noord	6,59	98	4	8	3	2716	202	438	61	1,3	0
7	Verzopen els/es	4,41	57	1	375	85	3072	110	905	36	1,3	9
8a	Beukenbos 6cm humus	2,58	70	81	63	52	1102	72	762	21	22,3	5
8b	Beukenbos toplaag mineraal	2,72	40	5	73	559	767	158	687	11	19,5	8
9	Elzenbroek, eigen locatie	3,28	82	1	186	24	1502	24	379	31	2,4	2
10	Eikenwal randsloot	2,94	24	102	163	1550	493	157	500	20	1,8	16
11	Barkeveen west	4,42	95	3	7	165	5346	135	912	37	1,1	2
12	Barkeveen oost	3,97	85	2	27	334	3383	139	736	13	1,2	2

In veel bodems zijn de gehalten aluminium, ijzer, magnesium en kalium sterk met elkaar gecorreleerd, omdat het belangrijke bestanddelen zijn van verweerbare klei- en leemdeeltjes. In het voorgaande is al vermeld dat dit voor ijzer in het Liefstingsbroek niet opgaat. De correlatie tussen aluminium en magnesium daarentegen, is juist wel bijzonder goed (Figuur 3-28). Deze elementen komen in een verhouding van ongeveer 20:1 voor in alle geanalyseerde bodems. Dit geeft tevens aan dat er, buiten het magnesium dat is ingebouwd in mineralen, nauwelijks magnesium voorkomt in de bodem. Alleen bij lage concentraties aluminium is naar verhouding veel magnesium aanwezig, vermoedelijk omdat er nog redelijk veel magnesium maar geen aluminium in het organisch materiaal zit. Dit kan ook de relatief hoge magnesiumgehalten in het grondwater onder de Adelaarsvarenbult verklaren. De correlatie tussen calcium en magnesium is minder duidelijk, dit zit kennelijk wel in andere delen van de bodem. De grootste afwijking vertoont locatie 9, het elzenbroekbos. Hier is naar verhouding veel calcium aanwezig, vermoedelijk vooral ingebouwd in organisch materiaal. Maar ook voor calcium is er wel een correlatie aanwezig met aluminium en lijkt het erop dat een groot deel is ingebouwd in de bodemmineralen. Uit de gegevens kan worden geconcludeerd dat er niet of nauwelijks calcium- en magnesiumcarbonaten in de bodems aanwezig zijn. Dit komt ook overeen met de metingen van Van Delft e.a. (2017), die een pH-zout noteren in de toplaag tussen 2,8 en 4,2.

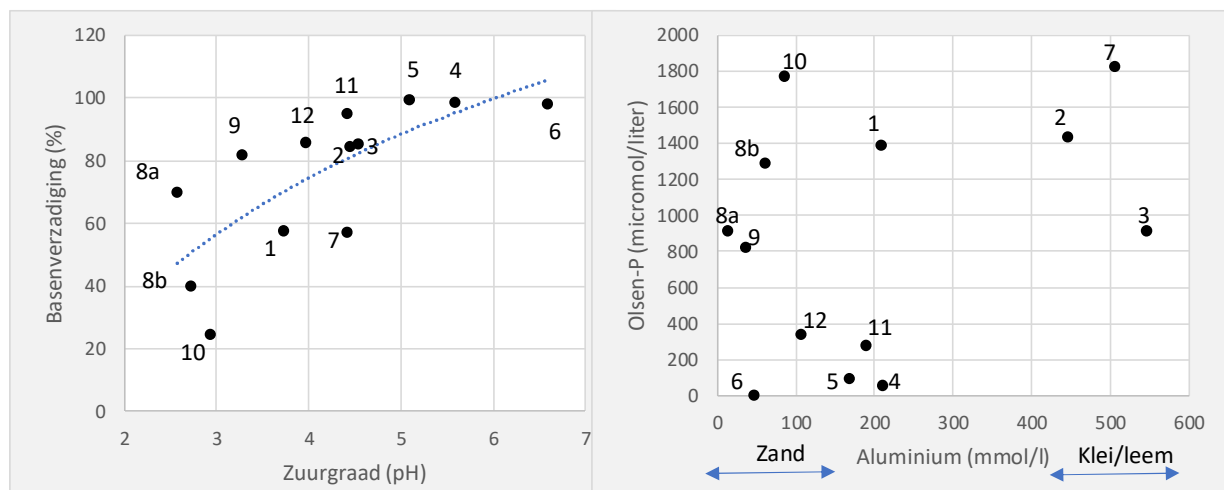


Figuur 3-28. Correlatie tussen de totale hoeveelheid verweerbaar aluminium enerzijds en de hoeveelheid verweerbaar calcium of magnesium anderzijds. De rode lijn geeft de correlatie aan tussen aluminium en magnesium, waarbij het nulpunt (o magnesium en aluminium) is vastgezet.

3.7.2 Bodemsamenstelling voor Natura2000 doelen in vergelijking met referentie

In deze paragraaf is beschreven in hoeverre de bodemsamenstelling overeenkomt met de samenstelling die past bij de gewenste of benoemde vegetatietypen op de locaties. Het gaat vooral om twee clusters van parameters die doorgaand worden samengevat onder de noemers zuurgraad en voedselrijkdom. Voor de zuurgraad is in Figuur 3-29 (links) de correlatie tussen de pH en de basenverzadiging weergegeven. Dit betreft dan een benadering van de basenverzadiging op basis van de extractie met natriumchloride. Rechtsboven in de figuur staan alle locaties op voormalige landbouwgronden, waar de bouwvoor (deels) is verwijderd, de nummers 2 t/m 6 en 11 en 12. Op deze locaties is de basenverzadiging nog hoog, meer dan 80%. Dit gaat gepaard met een pH-zout van > 4. De meest recent ontgraven delen, de locaties op het Ellersinghuizerveld, laten een zuurgraad zien van > pH 5. Deze is op de wat langer geleden ontgraven locaties in het Barkerveen al flink gedaald tot een pH van 4, respectievelijk 4,5. De basenverzadiging is daar echter nog bijna even hoog. Het lijkt er dus op dat na omvorming eerst verzuring plaatsvindt, en vervolgens een daling van de basenverzadiging. De locatie met aangewezen blauwgrasland en alle boslocaties in het Liefstingsbroek zijn veel zuurder, met zowel een lagere pH als een lagere basenverzadiging.

Om de voedselrijkdom in beeld te brengen is de leemfractie (met als maat het aluminiumgehalte) uitgezet tegen de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat (Figuur 3-29, rechts). Ook hier vallen de recent omgevormde landbouwgronden op, in dit geval door de zeer lage hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat. Dit geldt echter niet voor de locaties 2 en 3 op de Grote wei in het Liefstingsbroek. Hier is Olsen-P nog vrij hoog; mogelijk is maar een deel van de fosfaat verrijkte top laag verwijderd.

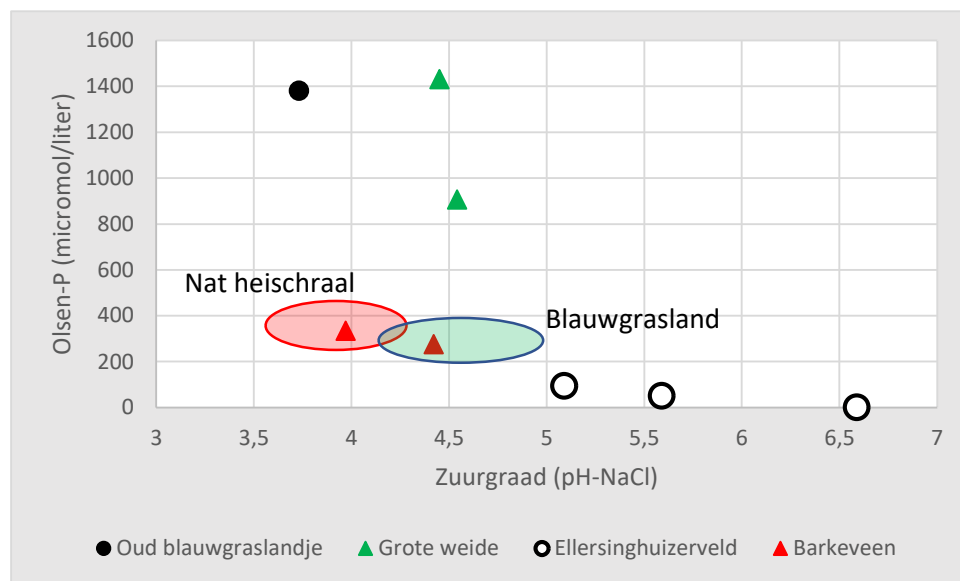


Figuur 3-29. Correlaties tussen de zuurgraad van het zoutextract en de basenverzadiging op basis van het zoutextract (links), en tussen de totale verweerbare aluminiumfractie en de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat (rechts). Zie Figuur 3-27 voor locatie van de nummers.

De geschiktheid van de bodem is meer in detail bekeken voor de potentiële en actuele locaties met nat schraalland en soortenrijkere bossen. Hiervoor is een referentie samengesteld uit de bij B-WARE beschikbare gegevens die bodemchemische metingen combineren met een vegetatie-opname. Deze zijn samengevat in het bestand GRIP (Gemeten Referentiewaarden In Plantengemeenschappen). Voor de graslanden zijn waarden opgezocht voor vochtig heischraal grasland en voor blauwgrasland. Voor heischraal grasland waren 80 pH metingen beschikbaar en 32 metingen aan Olsen-P. Hieruit zijn boven- en ondergrenzen berekend op basis van het 25% en het 75% percentiel, dus op basis van de 50% metingen die het dichtst rond de gemiddelde waarde liggen. Dit is ook gedaan voor 35 pH-metingen en 12 Olsen-P metingen in blauwgrasland. Het resultaat is weergegeven in Figuur 3-30.

3.7.2.1 Blauwgrasland

Het eerste wat opvalt is dat de locatie van het huidige blauwgrasland op de Paardeweide ver buiten de gedefinieerde optimale range valt. Voor blauwgrasland is de zuurgraad op deze locatie een pH-eenheid te laag, en is de hoeveelheid plant beschikbaar fosfaat 4 x hoger dan gewenst. Van Delft e.a. (2017) noemen een optimale pH-range van 4,1-6,1, ook hier valt de meting buiten. De zuurgraad bevindt zich wel in de optimale range voor heischraal grasland, maar ook hiervoor is de locatie eigenlijk te voedselrijk. De voedselrijkdom is mogelijk het gevolg van het landbouwkundig gebruik in het verleden. Ook zijn volgens van Delft e.a. (2017) sommige graslandjes opgehoogd met materiaal van elders. Aan de andere kant passen de twee locaties in het Barkerveen wel in de ranges voor blauwgrasland (1x) en heischraal grasland (1x). Dit komt ook overeen met de daar aangetroffen vegetatie, met o.a. Gevlekte orchis, Moeraswespenorchis en veel Blauwe knoop. Interessant zijn ook de locaties in het Ellersinghuizerveld. Deze zijn momenteel zelfs nog aan de basische, voedselarme kant. Op basis van de bodemsamenstelling liggen hier dus goede kansen voor blauwgrasland-achtige vegetaties in voldoende natte delen en overgangen naar heischrale vegetaties op de iets hogere delen. De Grote weide in het Liefstingsbroek tenslotte, zit qua zuurgraad in de juiste range voor blauwgrasland, maar is hiervoor te voedselrijk, ook op de afgeplagde delen. Bij de gemeten voedselrijkdom passen eerder vegetaties die in het Dotterbloemverbond (*Calthion*) thuishoren.



Figuur 3-30. Vergelijking van de zuurgraad en voedselrijkdom van de graslandlocaties met referentiewaarden uit goed ontwikkelde vegetaties die met dezelfde methoden zijn doorgemeten. De gekleurde ovals geven de optimale range voor vochtig heischraal grasland en blauwgrasland weer (zie tekst).

3.7.2.2 Eiken-haagbeukenbos

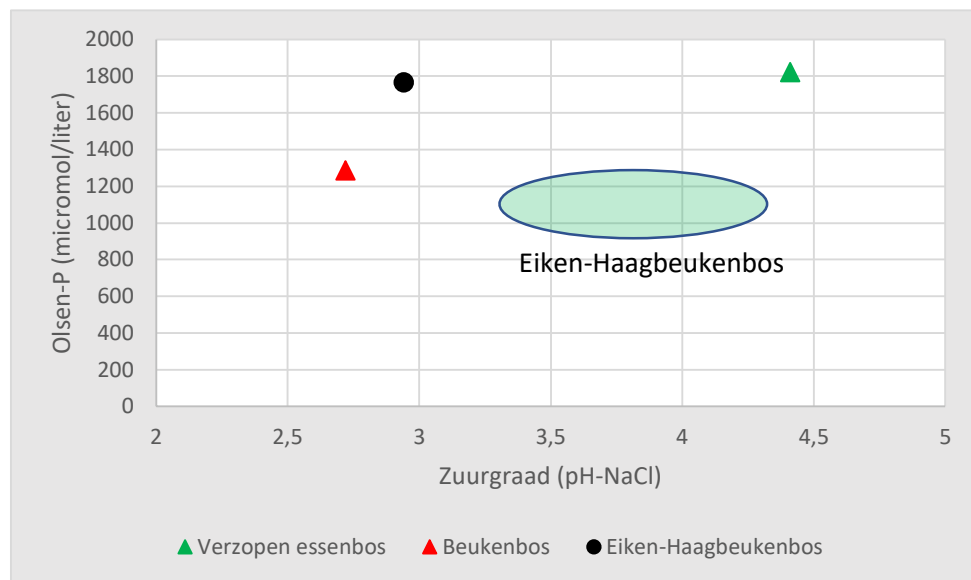
Een zelfde vergelijking is gemaakt voor de standplaatsen van bossen en referentiemetingen in Eiken-Haagbeukenbos (Figuur 3-31). Dit bosstype, wanneer het sleutelbloem-eikenhaagbeukenbos op kalkbodems wordt uitgezonderd, staat vooral op zwak zure bodems met een gematigde beschikbaarheid van fosfaat. De locatie die is aangewezen als Eiken-Haagbeukenbos (bemonsteringslocatie 7; verzopen eiken-haagbeukenbos) heeft een bodem die enerzijds iets minder zuur is, en anderzijds duidelijk te fosfaatrijk is. Het is waarschijnlijk dat door de sterke vernatting op deze standplaats enige buffering is opgetreden, gepaard met een flinke fosfaatmobilisatie. De bodem bevat 19% organisch materiaal en in het veld viel op dat dit op de lagere plekken flink aan het afbreken was. Ook is de totale fosforvoorraad in de bodem aan de hoge kant. Volgens van Delft e.a. (2017) is er in de laagste delen van het terrein sprake van afzetting van beekklei en ontwikkeling van een moerige bodem. Deze klei kan vrij fosfaatrijk zijn. Het is onzeker of bij voldoende droogval in de zomer in minder natte en meer representatieve jaren weer herstel van de bodem richting de optimale range plaatsvindt. Kensoorten van het Eiken-Haagbeukenbos waren op de locatie niet waargenomen door ons of tijdens de SNL-kartering (De Vries e.a., 2020).

Het tweede punt is geselecteerd vanwege het voorkomen van Bosgierstgras, Ruige veldbies, Dalkruid en Gewone salomonszegel, kenmerkende soorten van Eiken-haagbeukenbos. De locatie ligt op de rand van het reservaat, het betreft een ongeveer 1 meter brede zone van een houtwal aan de buitenkant van het natuurgebied direct langs een greppel. Ondanks het voorkomen van vier doelsoorten, is de bodem een halve pH-eenheid zuurder dan gewenst voor de optimale standplaats van Eiken-Haagbeukenbos. De basenverzadiging is met 24% zelfs zorgwekkend laag (Figuur 3-31, Tabel 3-2, Tabel 3-2). Ook is de beschikbaarheid van fosfaat te hoog. In de plantengroei uit zich dat in het abundante voorkomen van Bramen en Klimop, en het optreden van Pitrus, Fioringras en Gladde witbol. In de bodemsamenstelling valt het hoge zwavelgehalte van 22 millimol/liter op. Mogelijk zijn de lage pH en basenverzadiging het gevolg van de oxidatie van zwavel in de afgelopen droge zomers. Dit zwavel lijkt hier terecht gekomen te zijn doordat bagger uit de greppel in het verleden op de kant geworpen is. Dit kan ook het tamelijk hoge gehalte aan ijzer en fosfor verklaren. Bovendien zal op deze manier ook enige buffering zijn meegekomen, die de soorten van Eiken-Haagbeukenbos hebben gestimuleerd.

3.7.2.3 Beuken-eikenbos

De opname in het beukenbos bevat onder andere Grote muur en Witte klaverzuring in lage bedekkingen, twee soorten die op minder zure omstandigheden wijzen. Niettemin bevindt de zuurgraad zich in de range van pH-NaCl

van 2,5 tot 3, een range waarin bijna alle toplagen van de bosbodems van onze droge, pleistocene zandgronden zich bevinden. Wat wel opvalt is dat zich een oude bosbodem heeft ontwikkeld, die tot op enkele decimeters diepte veel organisch materiaal bevat. Dit is een veel voorkomende situatie in het gebied (van Delft e.a., 2017). De humeuze bodem heeft een vrij hoge basenverzadiging van 40-70%, die het optreden van de twee genoemde zuurgevoelige soorten kan verklaren.



Figuur 3-31. Vergelijking van de zuurgraad en voedselrijkdom van de vochtige boslocaties met referentiewaarden uit goed ontwikkelde vegetaties die met dezelfde methoden zijn doorgemeten. De gekleurde ovalen geeft de optimale range voor Eiken-Haagbeukenbos weer (zie tekst).

3.7.2.4 Elzenbroekbos

Voor Elzenbroekbos (N2000 alluviaal bos; meetpunt 9) is een smalle overgangszone langs de slenken van de Paardeweide geschikt. Door de zeer beperkte kwelinvloed en stagnatie van regenwater, is er in de lage delen kans op fosfaatmobilisatie en ontwikkeling richting wilgenbroekbos, en op de hogere delen kans op verzuring en ontwikkeling naar berken(broek)bos.

Samengevat kan worden gesteld dat, op grond van de bodemsamenstelling, de mogelijkheden voor behoud en/of uitbreiding van blauwgrasland binnen de reservaatgrenzen van het Liefstingsbroek zeer beperkt zijn zolang water te lang wordt vastgehouden. De huidige standplaats bezat in het verleden al een vegetatie die op de rand van blauwgrasland en vochtig, heischraal grasland zat en is momenteel verder verzuurd tot in het bereik van een heischraal grasland. Het is echter ook aan de voedselrijke kant. De weide aan de zuidkant is ook te voedselrijk, in ieder geval bij de gehanteerde plagdiepte. De bodem in het Barkerveen is momenteel wel geschikt, waarschijnlijk vooral voor een wat zuurdere, heischrale variant van blauwgrasland. Ook de afgegraven delen van het Ellersinghuizerveld bieden plaatselijk goede mogelijkheden. De bodemomstandigheden voor Eiken-Haagbeukenbos zijn binnen de huidige N2000 aanwijzing niet optimaal, maar kunnen zich goeddeels herstellen bij voldoende droogval in de zomer. De bijbehorende soorten komen nu vooral voor op waarschijnlijk met slootbagger verrijkte bodem lang de zuidwestrand van het gebied (de Vries e.a., 2020). Ze hebben daar te lijden van verzuring.

4 Kenschets Liefstingsbroek

In dit hoofdstuk worden de afzonderlijke resultaten geïntegreerd om de abiotische condities en waterhuishouding per deelgebied (Figuur 2-1) te beschrijven. Een samenvatting van de bevindingen is gepresenteerd in Tabel 4-1. De totstandkoming en argumentatie voor Tabel 4-1 wordt in de volgende paragrafen per deelgebied behandeld. De nadruk ligt hierbij op de potenties van aanvoer van basenrijke kwel met voldoende buffering naar de wortelzone. Door aanvoer van gebufferd grondwater (bij heersende zuurgraad ligt de oorsprong van buffering met name in bicarbonaat) kan een hoge zuurgraad direct gecompenseerd worden. Daarnaast zorgt het adsorptiecomplex in de bodem voor buffering door uitwisseling van zuur (H^+) met basische kationen (met name calcium, magnesium maar ook ijzer, kalium en natrium). Voor buffering van zuurgraad door deze processen dient te worden voldaan aan de volgende criteria:

- (1) Er is voldoende potentiaalverschil aanwezig om opwaartse stroming te bewerkstelligen
- (2) De basenrijkdom en buffering van het omhoog stromende grondwater is hoog
- (3) Er is (voldoende) kalk in de ondergrond langs de stroombanen om de basenrijkdom te behouden
- (4) Het kwelwater bereikt de wortelzone

In dit deel wordt aangenomen dat als er kalk op grotere diepte wordt aangetroffen, dit ook als Ca en HCO_3 met kwel naar boven kan worden getransporteerd. Op basis van conceptuele stationaire stroombaanberekeningen met een numeriek model (Hsieh, 2001) lijkt deze aanname in veel situaties gerechtvaardigd (Figuur 10-10). Wat deze abiotiek betekent voor potenties van vegetatie en waar knelpunten liggen, komt in het volgende hoofdstuk aan bod.

4.1 Algemene schets voor het Liefstingsbroek

De metingen aan het grondwater en het oppervlaktewater laten zien dat er flinke gradiënt aanwezig is van kalkrijk, sterk gebufferd, maar vaak ook sulfaatrijk grondwater op ongeveer 6 meter diepte naar uitermate zwak gebufferd water aan de oppervlakte van het systeem. In het reservaat zelf reikt de invloed van uitspoeling van zuur, nitraatrijk en ook relatief fosfaatrijk grondwater uit de lokale hoogte in het terrein tot in het weilandje aan de zuidpunt en mogelijk ook tot aan de Paardewei met het voor N2000 aangewezen habitatype blauwgrasland. Aan de randen is op 1-2 meter diepte matig gebufferd grondwater aanwezig, dat door de beekloop aan de oostkant en de sloot aan de zuidkant wordt afgevangen. Ook in de laagste delen van het Ellersinghuizerveld wordt dergelijk matig gebufferd grondwater aangetroffen, terwijl in de wat hogere delen eerder sprake is van zwak gebufferd water. De metingen aan de watersamenstelling bevestigen het beeld vanuit de waterhuishouding en infiltratieprofielen (paragrafen 3.1 en 3.3), dat dieper grondwater in het Liefstingsbroek vrijwel nergens meer aan maaiveld komt, maar aan de lage randen van het systeem wegvloeit.

Tabel 4-1. Overzicht standplaatscondities per deelgebied. Zie Figuur 2-1 voor de ligging van de deelgebieden. De kolom kwel beschrijft niet alleen de aanwezigheid van kwel op basis van potentiaalverschil, maar ook de kans dat dit de wortelzone bereikt. De kolom kalk geeft aan of de kans bestaat dat de stroombaan kalkrijke lagen aansnijdt. De kolom GLG is gebaseerd op tijdreeksen en tijdreeksmodellen, en geeft het bereik weer waarbinnen de GLG zal beslaan. De letter geeft aan of de bijbehorende GLG voldoet voor Blauwgrasland (B), Elzenbroekbos (E), of Eiken-haagbeukenbos (H) op basis van SynBioSys (Wamelink e.a. (2005)). Grondwaterkwaliteit omvat basenrijkdom en indicatie van ongewenste stoffen (mede op basis van mate van beïnvloeding) in het ondiep geplaatste filter. Basenverzadiging en voedselrijkdom hebben betrekking op de bodem. Op plekken waar geen gegevens van betreffende variabelen aanwezig zijn is dat aangegeven met een vraagteken.

Deelgebied	Meetpunt	Kwel	Kalk	Grondwater kwaliteit	GLG (cm-mv)	Basen verzadiging	Voedsel rijkdom
Paardeweide	7	+/-	+	+/-	70-90 (E)	-	-
Grote weide	1, 2	-	-	+	60-80	-	-
Voorste weide	4	+/-	?	+	40-60 (B)	?	?
Elzenbroekbos	3, 6	-	+/-	+	30-50 (B)	+/-	-
Noordoostelijke beekdal	12	+	-	-/+	60-80 (E)	?	?
Eiken-haagbeukenbos	9	+	+	+	70-90 (E,H)	+/-	+/-
Ellersinghuizerveld	15, 16, 10	+/-	?	+/-	40-60 (B)	++	++
Barkerveen *	-	?	?	?	?	+	+
Adelaarsvarenbult	5	-	?	-/-	?	?	?

* Voor locatie Barkerveen is wel een tijdreeks beschikbaar, maar uit een analyse door Borren (2020) is gebleken dat de meetreeks onbruikbaar is. Voor deze locatie is daarom geen indicatie van kwel en grondwaterregime. De + en - geven indicatief weer of het betreffende aspect 'op orde' is. Voor alle kolommen behalve voedselrijkdom is uitgegaan van hoe meer het aspect aanwezig is op de locatie, hoe meer de standplaatsconditie 'op orde' is. ++ = in ruime mate op orde; + = voldoende; +/- = matig op orde, - = onvoldoende.

4.2 Kenschets per deelgebied

4.2.1 Paardeweide

In de Paardeweide komt diep (6 m-mv) onder het maaiveld basenrijk, met kalk verzadigd grondwater voor. Het licht tot matig kalkhoudende materiaal ($\text{CaCO}_3 \approx 0.2 - 2.2\%$) in de diepe ondergrond is de voornaamste oorzaak van de hoge basenrijkdom. In vergelijking met andere locaties bevindt het kalk zich ondieper, en is het gehalte hoger. Het ondiepe (1.6 m-mv) grondwater is alleen in de randzone van de Paardeweide basenrijk (buis 1044). In het centrum van de Paardeweide, op de wat hoger gelegen delen, is het ondiepe grondwater zuur en basenarm, wat veroorzaakt wordt door infiltratie van regenwater.

Verhoogde basenrijkdom komt voor ruim boven de diepte waarop kalk is aangetroffen in de noordelijke randzone van de Paardeweide. Dit is een indicatie voor aanvoer van grondwater, die wordt bevestigd dag-nacht fluctuaties van stijghoogten in het centrum van de Paardeweide. Zowel het diepe als het ondiepe grondwater is in het centrum van de Paardeweide bestempeld als 'beïnvloed'. Dit wordt veroorzaakt door een hoge concentratie Natrium, Kalium en vooral van sulfaat. Voor het ondiepe filter is een verhoogde nitraatconcentratie waargenomen, wat aangeeft dat er een recente stikstofbron aanwezig is (stikstofdepositie en mineralisatie van N-rijke bovengrond). Het diepe grondwater in de Paardeweide is nitraathoudend. Dit geeft weer dat het niet volledig gereduceerd is, wat ook de hogere concentratie SO_4 kan verklaren. De hoge sulfaatconcentratie in combinatie met de aanwezigheid van nitraat

op 6 m-mv geeft aan dat er weinig reactief materiaal langs de transportbaan aanwezig. Het geochemisch buffervermogen is opgebruikt (geen reactief organisch materiaal en/of ijzersulfiden). In de lagergelegen randzone aan de noordzijde van de Paardeweide (buis 1044) is op grote diepte ook de Cl concentratie hoog. De verhoogde Na en K indiceren landbouwinvloed in het infiltratiegebied.

Sulfaat duidt op de aanwezigheid van ijzersulfiden, zoals Pyriet, en de oxidatie daarvan door zuurstof of nitraat. De grondwaterstand zakt centraal in de Paardeweide op de hogere/opgehoogde delen behoorlijk diep uit, tot ca 100 cm-mv. Langs de randzones is de GLG ca 70 cm-mv. Het inunderende water wordt gekarakteriseerd door een zeer sterke regenwaterinvloed, en bestaat dus niet uit uittredend kwelwater. De voedselrijkdom van de bodem is hoog (fosfaat) en de basenverzadiging in het centrum van de Paardeweide is laag, wat tot een verzuurde standplaats heeft geleid. De oorzaken hiervan liggen in het landbouwverleden en, wederom, de dominantie van infiltrerend regenwater.

4.2.2 Grote weide

Op grotere diepte (6 m-mv) is het grondwater onder de Grote weide (locatie 2) matig basenrijk. Ondiep (1.5 m-mv) is het grondwater zuur en basenarm (locatie 2) tot matig basenrijk (locatie 1). De beperkte basenrijkdom op locatie 2 is waarschijnlijk mede veroorzaakt door de precieze ligging, in een lokale depressie, en de vorming van een diepe regenwaterlens. Op grote diepte is in het watervoerend pakket licht kalkhoudende bodem aangetroffen. De oostkant van de Grote weide wordt in belangrijke mate gedraineerd door de schouwsloot ten zuiden van het gebied. Naar verwachting onttrekt deze sloot veel basenrijk grondwater uit het gebied. In het westelijk deel van de Grote weide is de invloed van de schouwsloot beperkter. De GLG is ca 100 cm-mv voor het oostelijk deel van de Grote weide, en in het westelijk deel iets ondieper (90 cm-mv).

Op locatie 2 is het diepe grondwater gecategoriseerd als 'onbeïnvloed' (locatie 2), op locatie 1 als 'sterk beïnvloed'. De sterk beïnvloede grondwaterkwaliteit vind zijn oorsprong voornamelijk in hoge concentraties Kalium en sulfaat. Het grondwater in de Grote weide is verder arm aan nitraat, wat wijst op zuurstofloze omstandigheden. Op locatie 2 kan dit, in combinatie met aanwezigheid van ijzersulfiden, de verhoogde sulfaatconcentratie verklaren. De voedselrijkdom van de bodem in de Grote weide is matig hoog (fosfaat) en de basenverzadiging is hoog (80%).

4.2.3 Voorste weide

Bij de Voorste weide is alleen een ondiep filter aanwezig. Het ondiepe grondwater is matig basenrijk, zwak zuur, en schoon. Op de locatie komt een diepe regenwaterlens voor, wat mogelijk deels te maken heeft met de relatief lage ligging in het landschap. De grotere regenwaterinvloed kan ook verklaren waardoor het water 'schoon' is. Voor deze locatie zijn de basenverzadiging en voedselrijkdom van de bodem niet bepaald en is ook geen kalkgehalte bekend. De GLG zakt niet zo diep weg en blijft binnen 60 cm-mv. Het beperkte wegzakken van de grondwaterstand wordt veroorzaakt door het vasthouden van regenwater in het gebied en de geïsoleerde ligging; de drainerende werking van de schouwsloot in de zuidoostelijke hoek van het Liefstingsbroek is beperkt.

4.2.4 Elzenbroekbos

Zowel het diepe als het ondiepe grondwater is in het elzenbroekbos (locatie 6) matig basenrijk. Op grote diepte (ca 5 m-mv) is de ondergrond licht kalkhoudend. Het grondwaterregime in deze zone wordt in sterke mate gestuurd door inunderend regenwater. Dit wordt geïllustreerd door water dat in het meetjaar 2021 tot ca 30 cm boven maaiveld stond, en alleen in september tot maaiveld even wegzakte. De waterstand zakt niet diep weg beneden maaiveld in de zomer, de geschatte GLG is 50 cm-mv. Het slechts beperkt wegzakken van de grondwaterstand wordt gestuurd door de relatief geïsoleerde ligging van drainagemiddelen van deze locatie. Of aanvoer van diepe kwel uit formatie van Appelscha hier een rol speelt is nog onduidelijk. Een positief stijghoogteverschil en dag-nacht oscillaties geven aanwijzingen voor opwaartse grondwaterstroming op grotere diepte. De hoge basenverzadiging (80%) geeft aan dat deze opwaartse stroming in ieder geval periodiek tot in de 80 cm dikke kleidek in de toplaag doorzet, alhoewel het infiltratieprofiel duidt op de aanwezigheid van een flinke regenwaterlens. In natte perioden (winter en voorjaar) ontvangt deze zone kwelwater vanuit de Adelaarsvarenbult. Gedurende droge perioden stroomt het grondwater de

andere kant op, van het elzenbroekbos richting Adelaarsvarenbult en de oostelijk en noordoostelijk gelegen ontwateringsmiddelen. Het forse kleidek leidt tot stagnatie van regenwater en een matig zure bodem, maar niet tot schijngrondwaterspiegels. Zeker voor deze lage pH is de basenverzadiging hoog te noemen (80%). De bodem in het elzenbroekbos is matig rijk aan fosfaat (800 $\mu\text{mol/l}$). Het grondwater is schoon en daarmee arm aan nitraat, sulfaat, kalium, en natrium.

4.2.5 Noordoostelijk beekdal

Het grondwater in het noordoostelijk beekdal (locatie 12) is zowel diep als ondiep matig basenrijk. Op deze locatie is geen kalk in de ondergrond aangetroffen. De pH van het diepere grondwater is in vergelijking tot andere locaties laag (bv 6, 7, 9). De afwezigheid van kalk in deze noordoostflank van de dekzandrug is de oorzaak voor de matige basenrijkdom van het grondwater.

Deze locatie wordt gevoed door kwel vanuit de dekzandrug in het noordoosten van het Liefstingsbroek, ten (zuid)westen van het meetpunt. Op een diepte vanaf ca 1 m-mv komt een 2.75 m dikke leemlaag voor. Deze leemlaag vormt een slecht doorlatende laag en zorgt voor aanzienlijke stijghoogteverschillen boven en onder de laag. Hierdoor stroomt grondwater in de nattere perioden, tot juli, opwaarts. Vanaf juli is de stromingsrichting omgekeerd en infiltreert water juist de diepere ondergrond in. Dit geeft aan dat er een diepere ontwatering in de buurt ligt die water onttrekt. Waarschijnlijk betreft het de watergang door de dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek. Er zijn geen bodemgegevens op deze locatie verzameld. Het is daardoor onbekend of de basenverzadiging op peil gehouden wordt en of kwel de wortelzone bereikt of afgevangen wordt door de nabijgelegen waterloop. De matig hoge basenrijkdom en hoge ijzerconcentratie van het oppervlaktewater in de waterloop geeft aan dat deze zowel in de zomer als winter basenrijk grondwater afvoert. Op grotere diepte is het grondwater schoon, maar ondiep is het sterk beïnvloed door de aanwezigheid van sulfaat en kalium. Het nitraatgehalte op deze beekdalflank is laag.

Uit de tijdreeksanalyse komt naar voren dat de grondwaterstand in de zomer uitzakt tot ongeveer 1 meter beneden maaiveld (GLG), terwijl in het voorjaar stagnatie met regenwater optreedt (alhoewel dat niet in overeenkomt met veldobservaties).

4.2.6 Eiken-haagbeukenbos

Het diepe grondwater onder het Eiken-haagbeukenbos (locatie 9) is basenrijk en kalkverzadigd. De basenrijkdom is afkomstig van licht kalkhoudend materiaal op een diepte van ca 2 m-mv, dat op grotere diepte zelfs overgaat tot matig tot sterk kalkhoudend. Ondiep is het grondwater minder doch nog steeds matig basenrijk. Het grondwater is afkomstig van de Adelaarsvarenbult in het noordoosten van het Liefstingsbroek. De bodem op deze locatie is matig zuur en heeft een matige basenverzadiging (ca 60%). In de winter treedt behoorlijke stagnatie met regenwater op en de locatie heeft een basenarm infiltratieprofiel. Ondanks de grote kalkvoorraad in de ondergrond, komt deze dus niet tot uiting in de wortelzone. Daarentegen zakt de grondwaterstand in de zomer diep uit (GLG van 120 cm-mv). Het diepe als ondiepe grondwater is, zowel in april als september, beoordeeld als schoon: de concentraties nitraat, sulfaat, kalium en natrium zijn laag. Het water bevat nog wel iets verhoogde concentraties nitraat, wat aangeeft dat het niet zuurstofloos en óf relatief jong grondwater betreft óf de bodem uitgelopen is en geen elektron acceptoren meer bevat (o.a. organisch materiaal en/of ijzersulfiden).

4.2.7 Ellersinghuizerveld

Het diepe grondwater onder het Ellersinghuizerveld (locatie 16) is basenrijk en kalkverzadigd. Het ondiepe grondwater is vooral in het westelijk deel van het Ellersinghuizerveld basenrijk (10). In het zuidelijk deel is het ondiepe grondwater matig basenrijk (15 en 16). In het zuidelijk gelegen Ellersinghuizerveld is mogelijk kalk aanwezig op 1 m diepte, wat de natuurontwikkeling ten gunste zou kunnen zijn. Gezien de bruistest met de nodige onzekerheid gemoeid is, is deze observatie zonder bevestiging te twijfelachtig om harde conclusies aan te verbinden.

De ontwatering langs de zuidwestrand van het Liefstingsbroek zal verhinderen dat water vanuit het Liefstingsbroek het gebied in stroomt. Aan de westkant vindt daarentegen geen afvoer meer plaats in de zomer. Het is waarschijnlijk dat de randsloot in de zuidwestkant van het gebied dan droog valt, en water vanuit het Liefstingsbroek het daaraan

grenzende deel van het Ellersinghuizerveld in stroomt, evenals vanuit het recent aangeplante bos ter invang van depositie.

Belangrijker is echter dat de stijghoogte van de zuidwestelijk gelegen waterloop in de zomer een hoger peil heeft dan het Ellersinghuizerveld. Veel agrarische percelen wateren af in deze waterloop, waardoor deze een 'vieze' waterkwaliteit verkregen heeft. Hierdoor zal in de zomer (landbouw)water vanuit deze waterloop infiltreren, en het Ellersinghuizerveld in stromen. Dit komt ook tot uiting in zowel het diepe als ondiepe grondwater: beide zijn beoordeeld als zeer sterk beïnvloed. Dit komt met name tot uiting door een gecombineerd hoge concentratie van K, Na, en SO₄. De vervuiling in het ondiepe filter kan ook een relict zijn van agrarisch landgebruik in het verleden. Daarentegen is de bodem in het Ellersinghuizerveld fosfaatarm en is de basenverzadiging zeer hoog (>90%). Dit geeft aan dat de wortelzone onder invloed van basenrijk kwelwater staat.

Alleen voor locatie 15 kon met voldoende betrouwbaarheid een tijdreeksmodel worden opgesteld. Zoals blijkt uit de GHG en GVG treedt hier in de winter en het voorjaar stagnatie met regenwater op, en zakt de grondwaterstand uit tot een diepte van ca 65 cm-mv. Voor locatie 16 mag gezien de lagere ligging in de slenk en de hogere stijghoogte (Bijlage X) verwacht worden dat deze een vergelijkbaar of zelfs ondiepere GLG heeft, alhoewel deze locatie ook dichterbij de drainerende waterloop ligt. Ook op het westelijke deel van het Ellersinghuizerveld is een ondiepere grondwaterstand aanwezig dan op locatie 15, die niet dieper wegzakt dan 30 cm-mv. Ook van deze locatie kan verwacht worden dat de GLG ondieper of vergelijkbaar met de 65 cm-mv van locatie 15 is.

4.2.8 Barkerveen

Van het Barkerveen is geen grondwaterregime bepaald omdat de tijdreeks als onbruikbaar is beoordeeld (Borren, 2020). Derhalve ligt de nadruk hier op de kwaliteit van de bodem. Een visuele indicatie geeft aan dat de grondwaterstand in de zomer doorgaans niet (veel) dieper uitzakt dan 60 cm-mv. De basenverzadiging in het Barkerveen is zeer hoog (85 – 95%) en de bodem is zeer arm aan fosfaat.

4.2.9 Adelaarsvarenbult

Op de Adelaarsvarenbult ontstaat in de wintersituatie een opbolling van de grondwaterstand. Dit is, samen met de dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek (locatie 14) de motor achter lokale kwel in en om het Liefstingsbroek. In dit onderzoek kwam een onverwacht grote daling in de stijghoogte op deze locatie naar voren. Deze was zelfs dieper dan het westelijk gelegen elzenbroekbos en de graslanden in de Paardeweide en oostelijk deel van de Grote weide. De stijghoogte zakte uit tot ongeveer het geschatte stuwpeil van de stuw ten noordoosten van het Liefstingsbroek. Dit stuwpeil bepaalt ook het peil in de oostelijke randsloot van het Liefstingsbroek, die slechts zo'n 200 meter verwijderd is van het meetpunt in de Adelaarsvarenbult. De oorzaak van het diepe wegzakken in de Adelaarsvarenbult is dus de ontwatering ten oosten en noordoosten van deze zandrug.

Gezien de ligging op een dekzandrug is het grondwater, zoals verwacht mag worden, zuur en basenarm. Het grondwater op de Adelaarsvarenbult heeft een hoge nitraatconcentratie (tot 360 µmol/l; 20 mg/l). Dit wordt veroorzaakt door (te hoge) stikstofdepositie (zie Bijlage VI) die zorgt voor forse uitspoeling van nitraat. In de omliggende diepe filters is dit nitraat verdwenen, wat aangeeft dat het nitraat in het ondiepe grondwater dieper in de ondergrond reageert met daar aanwezig organisch materiaal of ijzersulfiden (Pyriet).

5 Knelpunten

In onderstaande tekst is eerst het belangrijkste knelpunt op gebiedsniveau beschreven. Vervolgens wordt per deelgebied ingegaan op de knelpunten die ontwikkeling van habitattypen Blauwgrasland, Heischraal Grasland, Eiken-Haagbeukenbos en Eiken-Beukenbos in het Liefstingsbroek in de weg staan. Hierbij ligt de nadruk op hydrologische knelpunten voor de aanvoer van basenrijke kwel.

5.1 Knelpunten op landschapsniveau

De waterhuishouding in het Liefstingsbroek is de afgelopen eeuwen onomkeerbaar gewijzigd. Dit vormt het grootste knelpunt voor de realisatie van kwelafhankelijke habitattypen in het Liefstingsbroek. In het verleden lag het Liefstingsbroek in de (buurt van de) 'lagg' zone van een hoogveen dat zich ten westen van het gebied bevond. Deze zone werd stabiel nat gehouden door wegzijgend water en laterale afvoer vanuit het hogere centrale deel van het hoogveen. Het water dat het hoogveen aan de randen of aan de onderkant verliet was zeer zuur. Tijdens passage in de ondergrond loste kalk daardoor makkelijk op. Bij uittreding aan maaiveld zorgde dat voor de aanvoer van basenrijk kwelwater in het beekdal van de Ruiten Aa en daarbij horende laagten in het Liefstingsbroek. Met het afgraven van het hoogveen eind 18^e eeuw is een eind gekomen aan deze kwelstroom. Het Liefstingsbroek ligt ten opzichte van de periode voor de afgraving hoger in het landschap, waardoor logischerwijs de invloed van kwel is afgenomen. Daarmee is de eventuele aanvoer van basenrijk grondwater afhankelijk geworden van lokale systemen. Per saldo worden basen uit het gebied afgevoerd. Deze situatie is onomkeerbaar veranderd. Een hoogveenpakket van enkele meters vormt zich nou eenmaal niet zo snel (richtlijn 1 m = 1000 jaar). De voorraad kalk langs lokale stroombanen geraakt sneller uitgeput dan langs langere stroombanen, en zijn gevoeliger voor stikstofdepositie en invloed van met nutriënten verrijkt grondwater. Ook is de periode in het jaar waarin kwel optreedt doorgaans korter. Daarnaast heeft het Liefstingsbroek in het verleden nadelige effecten ondervonden van drainage in de omgeving, en droogde het gebied uit.

Het belangrijkste knelpunt in het Liefstingsbroek is dat de drainagebasis van het systeem te laag is komen te liggen (Figuur 6-2 boven). Grondwater wordt slecht vastgehouden, en in de zomer zakt de grondwaterstand te diep uit. Door het plaatsen van de stuw kan beter gestuurd worden op het vasthouden en afvoeren van regenwater in het Liefstingsbroek. Momenteel, en vooral in het relatief natte 2021, wordt er te veel regenwater vastgehouden. Er treedt in grote mate stagnatie van regenwater op en op veel plekken worden diepe regenwaterlenzen aangetroffen. Op grotere diepte is daarentegen basenrijk grondwater en een bron voor deze basenrijkdom (kalk) aanwezig. Mede door de infiltratie van regenwater kan dit gebufferde grondwater echter niet dicht aan maaiveld komen. Belangrijker is dat bij de huidige waterhuishouding onvoldoende basenrijk grondwater wordt vastgehouden, wat te wijten is aan te sterke ontwatering (te diepe drainagebasis in de omgeving van het Liefstingsbroek). Doordat kalk in het Liefstingsbroek alleen op grotere diepte aanwezig is, zullen de calciumconcentratie en buffering van oppervlakkige grondwaterstroombanen laag blijven, alhoewel door geochemische reacties in de ondergrond het grondwater iets gebufferd en met basen aangerijkt zal zijn (Figuur 6-2). De sterke ontwatering leidt ook tot een over algemeen te diep wegzakkende grondwaterstand in de zomer, wat een knelpunt voor blauwgrasland vormt. De voorjaarsgrondwaterstand is door het vasthouden van regenwater wel op orde. Naast de ontwatering is het belangrijk te vermelden dat de stikstofdepositie een knelpunt vormt (zie Bijlage VI).

5.2 Knelpunten per deelgebied

5.2.1 Paardeweide

Het beoogde habitattype voor de Paardeweide is blauwgrasland. Het centrum van de Paardeweide ligt hoger dan de omringende slenken. De grondwaterstand zakt daar te diep weg voor realisatie van blauwgrasland (100 m-mv ipv 60 cm-mv) en vormt een knelpunt. Ook is de bodem momenteel te voedselrijk (fosfor) en is de basenverzadiging te laag. De randzones daarentegen bieden meer perspectief, zeker gezien de aanwezigheid van kalk, een motor voor kwel (Adelaarsvarenbult), en de waarschijnlijk aanwezige periodiek opwaartse stroming. De drainagebasis van het gebied is te laag en de stagnatie van regenwater te groot. Gezamenlijk voorkomt dit dat het basenrijke grondwater in natte perioden de wortelzone kan bereiken en voor voldoende basenverzadiging kan zorgen. De waterstanden zijn door vasthouden van water wel op peil gebleven, maar dit vasthouden heeft geleid tot een verdere vermindering van de grondwatercomponent, verzuring en een sterke toename van veenmossen. Het hoge stuwpeil in de westpunt van het Liefstingsbroek en de lage drainagebasis rondom het Liefstingsbroek vormen hierbij knelpunten.

5.2.2 Grote weide

Aan de Grote weide is vooralsnog geen habitattype toegekend. De GLG voldoet niet aan de vereisten van blauwgrasland (100 ipv 60 cm-mv). Dit komt door de sterk drainerende werking van zowel de zuidelijke schouwsloot als de oostelijke randsloot. In de centrale depressie is een diepe regenwaterlens waardoor de basenrijkdom onvoldoende op orde is voor blauwgrasland. Voor de rest is het ondiepe water matig basenrijk en daarmee toereikend voor blauwgrasland. De fosforgehalten zijn te hoog voor blauwgrasland, maar de basenverzadiging in de bodem is voldoende op peil (80%). Zowel de hoge fosforgehalten als de sterke ontwatering verhinderen momenteel het voorkomen van aan blauwgrasland verwante plantengemeenschappen. In het westelijk deel van de Grote weide zijn de kansen voor blauwgrasland wat groter doordat de drainerende werking van de schouwsloot beperkter is, en de basenverzadiging op peil is. Echter, ook hier is sprake van een regenwaterlens die aanvoer van kwel verhindert.

Indien de drainage langs de zuidelijke en oostelijke rand van het Liefstingsbroek beperkt wordt, biedt de Grote weide potentie voor de ontwikkeling van blauwgrasland.

5.2.3 Voorste weide

Aan de Voorste weide is het habitattype blauwgrasland toegekend. De ondiepe grondwaterkwaliteit is daarvoor toereikend. Ook het grondwaterregime met stagnerend regenwater en een GLG rond de 60 cm-mv voldoet aan de vereisten op de betreffende meetlocatie langs de rand van het weiland. Net als bij de Paardeweide en Grote weide komt ook hier een regenwaterlens voor, en vormt de dominantie van regenwater (door stagnatie) in de wortelzone een knelpunt. De waterleiding ten zuidwesten van het Liefstingsbroek heeft een drainerende werking op het ernaast gelegen Ellersinghuizerveld. Om te bepalen of de waterschapsleiding ook effect heeft op de grondwaterdynamiek in het Liefstingsbroek zelf, is de spreidingslengte van hydrologische ingrepen bepaald naar van der Gaast en Massop (2003). Met deze geohydrologische vuistregel kan op basis van eigenschappen van de ondergrond bepaald worden hoe ver een hydrologische maatregel doorwerkt (zie Bijlage XIV). Op basis van de berekende spreidingslengte blijkt dat het effect van veranderingen in oppervlaktewaterpeil in de waterschapsleiding verwaarloosbaar klein wordt (5%) op een afstand van ongeveer 200 – 400 meter. De afstand van de waterschapsleiding tot de begrenzing van het Liefstingsbroek is circa 300 meter. Gebaseerd op deze vereenvoudige benadering heeft de waterschapsleiding in potentie een niet-verwaarloosbaar effect op de waterhuishouding van het Liefstingsbroek (tot in de Paardeweide). Gedetailleerdere modellering is nodig om effecten van de leiding en eventuele peilverhogingen in het Liefstingsbroek beter te duiden (zie paragraaf 7.1). Na hydrologisch herstel biedt de Voorste weide potentie voor ontwikkeling van blauwgrasland.

5.2.4 Elzenbroekbos

Elzenzegge-elzenbroekbos is vooral aanwezig als een lintvormige zone langs de terreindepressies, en in enkele grotere, vlakke kommen. Aan deze zone is nog geen habitattype toegekend (locatie 6). Momenteel komt een matig ontwikkeld elzenbroekbos voor. Op veel plekken neigt het elzenbroekbos zich te ontwikkelen naar berkenbroekbos,

omdat de standplaatsen aan de basenarme kant zijn. Opgelost calcium, bicarbonaat en ijzer voorkomen momenteel de uitbreiding van veenmossen en daarmee een overgang naar berkenbroekbos. De natste plekken zijn doorgaans voedselrijk door mobilisatie van aan ijzer gebonden fosfaat. Op deze plekken ontwikkelt zich vooral wilgenbroekbos.

Wat betreft grondwaterregime zou blauwgrasland passend zijn: de GLG blijft ruim binnen de 60 cm-mv voor blauwgrasland. De basenverzadiging is voldoende hoog en de (diepe) ondergrond is licht kalkhoudend, wat deze potenties ten goede komt. De huidige vegetatiestructuur, natuurwaarde van het (oude) elzenbroekbos, en beheer strookt uiteraard niet met de eventuele potenties en omzetting richting blauwgrasland. Het uitblijven van diep wegzakkende grondwaterstanden wordt echter wederom verklaard door het vasthouden van regenwater. Voor blauwgrasland zou dat een knelpunt vormen.

5.2.5 Eiken-haagbeukenbos

Beuken-eikenbos is een bostype van goed ontwaterde bodem met alleen in de winter mogelijk wat grondwaterinvloed. Eiken-Haagbeukenbos is in het Liefstingsbroek vaak aanwezig op lemig zand. In de winter stagneert er regenwater op deze plekken, of is de grondwaterstand net beneden maaiveld. Basen uit de leem en/of basenrijk grondwater voorkomen verzuring van de toplaag en houden de strooiselafbraak op gang. Ook een evenwichtige samenstelling van de boomlaag, met een gezond aandeel “rijk strooisel” soorten is hierbij van groot belang. Helaas zijn de laagst gelegen en beste locaties van dit type bezweken door de combinatie van recente vernattingsmaatregelen, zwavelmobilisatie uit de matig humeuze toplaag, en neerslagrijke perioden. Herstel van eiken-haagbeukenbos is mogelijk, maar vergt voldoende afwatering. De grondwaterstand is gedurende het gehele jaar te ondiep, maar de grondwaterstand zou vooral in de winter en voorjaar zo’n 70 cm ondieper kunnen.

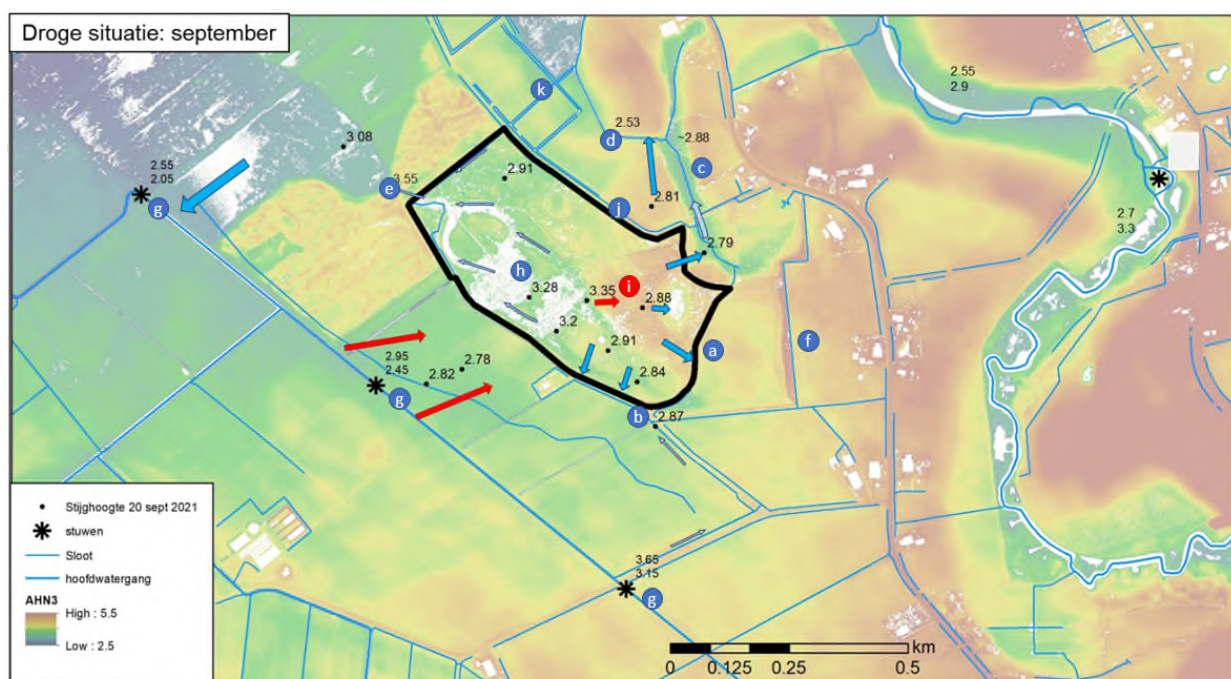
5.2.6 Ellersinghuizerveld

Uit het ruimtelijke stroompatroon komt naar voren dat de waterschapsleiding grenzend aan het Ellersinghuizerveld in de zomer een ongunstig effect heeft op de grondwaterkwaliteit van het Ellersinghuizerveld. De waterleiding ligt relatief diep in het landschap en heeft een grote perimeter. Deze waterloop zal in de winter veel kwelwater afvoeren dat de wortelzone in het Ellersinghuizerveld van basen had kunnen voorzien. Het lage peil in de winter vormt een knelpunt. Het verhogen van het (winter)peil zal bevorderlijk zijn voor kwel aan maaiveld in het Ellersinghuizerveld. In de zomer is de stromingsrichting vanuit de waterleiding waarschijnlijk richting Ellersinghuizerveld. Dat betekent dat het landbouwwater met naar verwachting hoge nutriëntenconcentraties vanuit de waterschapsleiding het Ellersinghuizerveld in zou kunnen stromen. De waterkwaliteit in de waterleiding in de zomer vormt daarmee een waarschijnlijk knelpunt.

De huidige ecohydrologische situatie in het Ellersinghuizerveld biedt perspectief voor ontwikkeling van heischraal grasland of zelfs blauwgrasland, mits de relatief voedselarme situatie behouden kan worden en de stikstofdepositie kan worden teruggebracht.

6 Maatregelen

In dit hoofdstuk worden maatregelen beschreven die de kwaliteit van de habitattypen blauwgrasland, beekbegeleidend bos (elzenbroekbos), eiken-haagbeukenbos en beuken-eikenbos zullen behouden of verbeteren. Hierbij ligt de nadruk op hydrologisch herstel, maar ook andere relevante maatregelen komen aan bod. Er wordt onderscheid gemaakt in maatregelen die buiten en binnen de Natura 2000 begrenzing toegepast dienen te worden (respectievelijk externe en interne maatregelen). De maatregelen zijn samengevat op kaart in Figuur 6-1 en bijbehorend bijschrift.



Figuur 6-1. Overzicht van interne en externe maatregelen voor verbetering van kwaliteit en herstel van beoogde habitattypen in het Liefstingsbroek.

- a Verondiepen + vooronderzoek effecten vernatting op fosfaatnalevering oostelijke voormalige landbouwgrond
- b Dempden/verondiepen bermsloot icm ringdrainage met aparte afvoer
- c Hele traject verondiepen tot max 20 cm-mv + optimaliseren stuwbeheer (vooronderzoek)
- d Afsluiten/verduikeren doorvoersloot in doorsnijding dekzandrug
- e Optimaliseren afvoer bij stuw + vooronderzoek
- f Dempden, in aansluiting op (a)
- g Verhogen stuwpeilen (met name in winter)
- h Afvoeren regenwater fine-tunen
- i Tegengaan effecten stikstofdepositie (verzuring): steenmeel + reductie bij de bron
- j Verondiepen bermsloot
- k Onderzoek en eventuele uitvoer peilverhoging van drainage

6.1 Externe maatregelen

De hydrologie van het Liefstingsbroek is ingrijpend veranderd sinds de hoogveen ontginning (van Delft *e.a.*, 2017). Het heeft er toe geleid dat de oorspronkelijke lange stroombanen met een groot potentiaalverschil zijn verdwenen. Daardoor is de aanvoer van gebufferd, basenrijk grondwater in het Liefstingsbroek afhankelijk geworden van lokale kwelstromen. Om deze lokale kwelstromen te activeren is het nodig de drainagebasis om het gebied te verhogen. Watergangen rond het Liefstingsbroek hebben een sterk ontwaterende werking, waardoor basenrijk grondwater wordt afgevoerd. Lokale kwelssystemen, die zich in situaties met voldoende neerslagoverschot zouden kunnen voordoen, blijven daardoor uit. Door het verhogen van de drainagebasis in en om het Liefstingsbroek zouden deze lokale kwelstromen geactiveerd kunnen worden.

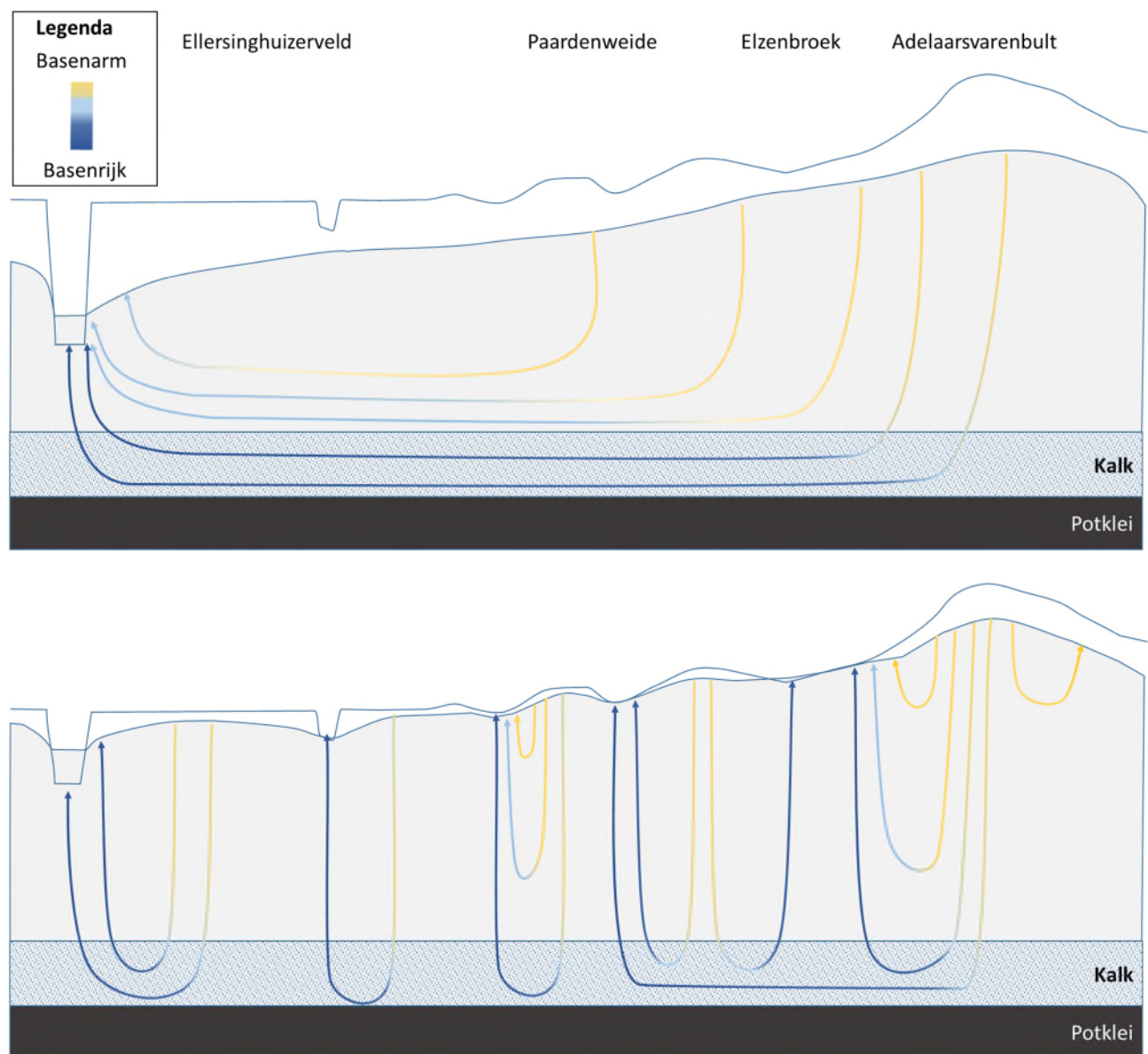
Om het effect van het verhogen van peilen in de omgeving te onderbouwen en illustreren, is een (sterk) versimpelde simulatie van stroombanen langs een transect van de waterloop ten zuidoosten van het Liefstingsbroek tot de Adelaarsvarenbult uitgevoerd (zie details in Bijlage XV). Mede op basis van deze simulaties is in Figuur 6-2 conceptueel het effect van verhogen van stuwpeilen in de omgeving van het Liefstingsbroek weergegeven, en kunnen we vaststellen dat:

- Lokale grondwatersystemen kunnen ontstaan bij reeds kleine stijghoogteverschillen in het freatisch vlak, van ca 10 cm op een horizontale afstand van 25 m. Dit komt overeen met bijvoorbeeld de situatie rondom de Adelaarsvarenbult.
- Na infiltratie kan grondwater binnen een korte afstand (ca 50 meter) tot diep in de ondergrond (tot de potklei) geraken. Daarmee kan de kalkrijke ondergrond worden bereikt, wat na oplossing en bij opwaarts transport kan zorgen voor het op peil houden van de basenverzadiging in de wortelzone.
- Indien lokale opwaartse grondwaterstroming plaatsvindt, domineert de verticale stromingsrichting. Dit is een belangrijk gegeven, omdat het aangeeft dat kalk, indien aangetroffen in de diepere ondergrond op een meetpunt, kan zorgen voor aanvoer van basenrijk grondwater op (ongeveer) dezelfde locatie aan maaiveld.
- Reis/verblijftijden van deze (zeer) lokale systemen zijn gering: de verblijftijd in de ondergrond is voor de kortste stroombanen circa 1 jaar. Voor diepere stroombanen is dat maximaal 10 jaar. Dit is relevant, omdat het aangeeft dat de potentiële kalkvoorraad langs de stroombaan minder is bij kortere stroombanen, en daarmee langdurige aanvoer van gebufferd grondwater in de weg staat. Zelfs bij kleine kalkvoorraden en relatief korte stroombanen is dit echter al snel enkele millennia (Aggenbach *e.a.*, 2020).

De belangrijkste externe hydrologische herstelmaatregelen die getroffen zouden kunnen/moeten worden om de drainagebasis te verhogen zijn:

- (1) Het verondiepen of dempen van ontwatering ten oosten en noorden van het Liefstingsbroek
- (2) Het verondiepen, beduikeren, of dempen van de schouwsloot in de zuidpunt van het Liefstingsbroek
- (3) Het verhogen van de stuwpeilen in de waterschapsleiding

Deze worden hieronder nader toegelicht.



Figuur 6-2. Conceptuele dwarsdoorsnede van de waterschapsleiding (links) naar de Adelaarsvarenbult (rechts) met overduidelijke weergave van effecten van oppervlaktepeilbeheer op waterhuishouding in het Liefstingsbroek. Boven: wintersituatie met diepe drainagebasis (huidige situatie). Onder: potentiële effecten van verhogen drainagebasis op lokale opbolling, grondwaterstroming, en grondwaterkwaliteit. Donkerblauw = zeer basenrijk en gebufferd grondwater, lichtblauw is matig gebufferd en matig basenrijk grondwater, geel is basenarm, en niet gebufferd grondwater (neigend naar regenwaterkwaliteit).

6.1.1 Verondiepen / dempen ontwatering in noorden en oosten (a,c,d,f,j,k)

Het ruimtelijk beeld van stijghoogten geeft aan dat de waterlopen ten noorden en oosten van het Liefstingsbroek een drainerende werking hebben op met name Grote weide, maar ook de lokale dekzandruggen. Doordat de dekzandruggen gedraineerd worden, is de kwelintensiteit minder en de periode waarin kwel optreedt korter. Om deze lokale kwel te bevorderen kunnen een aantal maatregelen getroffen worden.

Ten eerste biedt het peil van de landbouwsloot die de dekzandrug ten noordoosten van het Liefstingsbroek doorsnijdt mogelijkheid tot sturing (d). In de omgeving van het Liefstingsbroek heeft deze waterloop het diepste peil. De waterloop onttrekt water vanuit de dekzandruggen in het Liefstingsbroek. Door het peil te verhogen zal de duur en intensiteit van basenrijke kwel toenemen. Dit verhoogt de potenties voor blauwgrasland en andere

kwelafhankelijke natuurtypen. Daarnaast ligt er een bermsloot langs de ringweg **(j)**. Op basis van huidig kaartmateriaal is niet eenduidig vast te stellen of deze afwatert richting de noordoostelijke stuw (met peil ca 2.88 m+NAP), of richting noordelijke ontwatering (met peil ca 2.53 m+NAP). Daardoor is ook onduidelijk wat het peil is, en wat dat voor gevolgen heeft voor waterhuishouding in/om Liefstingsbroek. Hetzelfde geldt voor de ontwatering die daarop aangesloten is **(k)**. Normaal gesproken staat de bermsloot langs de ringweg in het voorjaar en zomer droog; alleen aan de noordzijde staat soms water. Het ligt daardoor voor de hand dat de afwatering richting het noorden gaat, alhoewel nog onduidelijk is of wegen beduikerd zijn. Het is belangrijk de verbindingen tussen waterlopen goed in kaart te brengen en te bevestigen.

Ten tweede kan de sloot langs de oostelijke begrenzing van het Liefstingsbroek worden gedempt of worden verondiept **(a)**. Hiermee wordt vooral de ontwatering van de Grote weide en de Adelaarsvarenbult tegengegaan. Voor de Grote weide zal dit leiden tot (1) een minder diep wegzakkende grondwaterstand in de zomer, en (2) toename van kwelinvloed nabij maaiveld. In de zandruggen van de Adelaarsvarenbult zal de stijghoogte toenemen, wat de intensiteit en duur van kwel in omliggende laagten (Grote Weide, Paardeweide, Voorste Weide) nog verder zal bevorderen. Alhoewel deze maatregel buiten de N2000 begrenzing valt, ligt deze waterloop wel binnen het terrein van Natuurmonumenten (Bijlage IX). Gezien het oostelijk gelegen percelen in landbouwkundig gebruik is geweest, dient vóór uitvoering van deze maatregel eerst onderzocht te worden in hoeverre vernatting in dit perceel leidt tot fosfaatmobilisatie.

Een stuk verderop in op het perceel ten oosten van het Liefstingsbroek met (extensief) landbouwkundig ligt ook een sloot die, na de oostelijke randsloot, een volgende hindernis voor opbolling en leverantie van kwel vanuit de Adelaarsvarenbult vormt. Ook deze zou verondiept of gedempt kunnen worden **(f)**.

Ten derde kan worden ingegrepen in het beekje in het noordoostelijk beekdal **(c)**. Deze waterloop voert in de huidige situatie zowel in de winter als zomer matig gebufferd water van gemengde regen+grondwaterkwaliteit af. In september is een spectaculaire stijging in ijzerconcentratie waargenomen (factor 10 hoger dan gemiddeld). Dit geeft waarschijnlijk aan dat er veel grondwater wordt afgevoerd in de zomer, en dat het peil van de stuw in de waterloop hoger ingesteld kan worden. Een andere optie is om de beek te verondiepen (richtlijn: 20 cm diep) of zelfs te dempen of om te vormen tot een doorstroommoeras indien de beek geen watervoerende functie heeft.

6.1.2 Verondiepen, beduikeren, of dempen van zuidelijke schouwsloot (b)

Op dit moment heeft deze schouwsloot de functie om waterschade aan het woonerf en de weg ernaar toe te voorkomen. Tegelijkertijd heeft deze als ongewenst effect dat een groot deel van de Grote Weide en het Ellersinghuizerveld gedraineerd wordt. Hiermee wordt, zoals ook geïndiceerd met holpijp, basenrijk grondwater afgevoerd en zakt de grondwaterstand in (met name) het oostelijk deel van de Grote weide diep weg. Hiermee wordt de kansrijkdom voor blauwgrasland in de Grote weide behoorlijk vermindert. Om dit te voorkomen, kan de schouwsloot in het extreemste geval gedempt worden. In combinatie met ringdrainage rondom de woning kan natschade voorkomen worden. Een andere optie is om de sloot te beduikeren. Verondiepen is ook een optie, maar leidt zowel wat betreft de woning als het Liefstingsbroek niet tot een optimaal resultaat: het drainagepeil gaat omhoog, maar er wordt nog steeds waardevol basenrijk grondwater afgevoerd.

6.1.3 Verhogen stuwpeilen waterschapsleiding (g)

De waterschapsleiding ten zuidwesten van het Ellersinghuizerveld heeft in de winter een drainerend effect op het Ellersinghuizerveld. Hierdoor wordt basenrijk grondwater afgevangen, en wordt (toekomstige) dominantie van regenwater in het Ellersinghuizerveld vergroot. Om de drainagebasis te verhogen en daarmee lokale kwel te bevorderen zou het winterpeil van de stuwen (met name de middelste) omhoog kunnen. In de winterperiode is eventuele natschade voor aangrenzende landbouwpercelen beperkt (in vergelijking tot de zomer). In de zomer, daarentegen, stroomt water momenteel vanuit de waterschapsleiding het Ellersinghuizerveld in. Veel landbouwpercelen wateren af op deze waterschapsleiding en beïnvloeden daarmee de waterkwaliteit. Dit water (vaak voedselrijk) zou in de zomer het Ellersinghuizerveld in stromen. Gezien het grondwaterregime momenteel al

op orde is voor blauwgrasland in het Ellersinghuizerveld, wordt ter voorkoming van toestroom van voedselrijk water afgeraden ook het zomerpeil te verhogen.

Het effect van de waterschapsleiding op de waterhuishouding binnen de begrenzing van het Liefstingsbroek is onzeker maar niet uitgesloten. Opzetten van het winterpeil zou ook voor het Liefstingsbroek gunstig uitpakken: lokale kwelstromen worden daarmee gestimuleerd, en infiltratie van zuur regenwater wordt tegengegaan.

6.1.4 Reductie stikstofdepositie (i)

In het grondwater is op een aantal meetpunten een hoge nitraatconcentratie aangetroffen, met name in de Adelaarsvarenbult. Dat kan alleen verklaard worden door een hoge stikstofdepositie. Voor bijna alle habitattypen in het Liefstingsbroek wordt de kritische depositiewaarde voor stikstofdepositie overschreden, zoals ook aangegeven in het beheerplan van het Liefstingsbroek (Salomons *e.a.*, 2017). Ook de verzurende effecten van stikstofdepositie zijn zeer ongunstig voor de ontwikkeling van habitattypen als blauwgrasland. Zolang de depositie niet verlaagd wordt, zal dat de kansrijkdom van vorming van blauwgrasland en natuurontwikkeling in het Ellersinghuizerveld in de weg staan.

6.2 Interne maatregelen (e,h,i)

6.2.1 Afstellen stuwpeilen (e)

Allereerst is het van belang om de drainagebasis in de omgeving van het Liefstingsbroek te verhogen met de externe maatregelen (paragraaf 6.1). Hierdoor zakken grondwaterstanden minder diep uit, wordt lokale kwel gestimuleerd, en het aandeel van grondwater ten opzichte van regenwater in potentie bevordert. Een knelpunt dat dan nog resteert, is dat basenrijk grondwater niet richting maaiveld kan komen doordat er te veel regenwater in het gebied wordt vastgehouden. Stagnatie van regenwater op kleilagen en infiltratie daarvan verhindert de aanvoer van kwelwater naar de wortelzone. Dit is een bijgevolg van de plaatsing van de stuw aan de westpunt van het Liefstingsbroek, waarvan het peil op dit moment te hoog is afgesteld.

In de winter zouden de peilen wat omlaag kunnen om overtollig regenwater af te voeren. Het stagnerende regenwater infiltreert in de bodem en verlaagt de basenverzadiging, wat onwenselijk is. Om diep uitzakkende waterstanden in de zomer te voorkomen is het echter noodzakelijk om regenwater vast te houden. Een maatregel zou dus kunnen zijn om een apart zomer en winterpeil te handhaven. Hierbij kan worden ingespeeld op het weer (cumulatief neerslagoverschot), zodat het peil door de tijd geoptimaliseerd wordt. Aanvullende gegevens zijn nodig om te bepalen welke stuwpeilen optimaal zijn (zie hoofdstuk 7.3.1). Uit onze resultaten komt verder naar voren dat het opstuwende van water leidt tot fosfaatmobilisatie en ook in dat opzicht (op de korte termijn) ongunstig uitpakt.

Voor het eiken-haagbeukenbos wordt op dit moment te veel water vastgehouden. Vooral in het voorjaar is dat het geval. Eiken-haagbeukenbos komt voor bij een GVG van ca 80 cm-mv, terwijl in dit onderzoek de GVG geschat in het Eiken-haagbeukenbos rond maaiveld geschat wordt. Ook in de zomer kan de grondwaterstand dieper wegzakken. Voor behoud van eiken-haagbeukenbos is het van belang dat, met name in het voorjaar, het stuwpeil lager wordt ingesteld. Indien gewenst kan mogelijk gebruik gemaakt worden van in het gebied aanwezige hydrologische compartimentering (zie 6.2.2) en een aparte afvoer voor dit deelgebied worden gerealiseerd.

6.2.2 Begreppeling en connectiviteit stagnerend regenwater (h)

Lokaal zou kwel en afvoer van regenwater gestimuleerd kunnen worden door (zeer) ondiepe begreppeling. Met name op plekken waar nu te veel water stagneert en niet wordt afgevoerd is dit een maatregel om de stijghoogte in het freatisch pakket te verlagen en daarmee kwel te stimuleren. Bovendien kan er in het natte seizoen regenwater worden afgevoerd. Daardoor dringt het zure regenwater niet de wortelzone in, maar krijgt basenrijk kwelwater meer kans de wortelzone te bereiken.

Daarentegen zakken grondwaterstanden in de huidige situatie al (te) diep uit in de Paardeweide en Grote weide, wat verzurende processen zoals mineralisatie in de hand werkt. Alhoewel mogelijk gunstig voor waterkwaliteit, zal ontwatering een ongunstig effect hebben op waterkwantiteit indien de drainagebasis te diep ligt. Dat luistert zeer nauw en vereist nadere studie alvorens in te grijpen.

Niet alle delen in het Liefstingsbroek met stagnerend regenwater zijn met elkaar verbonden en kunnen gestuurd worden met het stuwpeil. Er zijn een aantal (hout)wallen in het gebied, die naar verwachting leiden tot compartimentering van het stagnerende regenwater en in potentie de connectiviteit met de stuw belemmeren. Met name in de laagten van het westelijk en centrale deel van het Liefstingsbroek is dit aan de orde. Het kan dan een oplossing zijn om schotten te plaatsen in boswallen. Dit biedt meer gecompartmenteerde sturing op de ruimtelijke delen en de perioden waarin stagnatie van regenwater plaatsvindt. Deze schotten kunnen naar wens geopend worden om overtollig regenwater af te voeren. Met name boswallen haaks op de stromingsrichting bieden weerstand tegen oppervlakkige afvoer. Boswallen die in oppervlakten en zuidwest – noordoost gelegen zijn, zullen dus vooral hinderlijk zijn voor oppervlakkige afvoer. Dit betreft een fine-tuning maatregel die vooral pas zinvol wordt als voorgaande maatregelen getroffen zijn. Bovendien dient vastgesteld te worden of deze maatregel vanuit cultuurhistorisch oogpunt een mogelijkheid is.

6.2.3 Lokaal afgraven toplaag

Een belemmering voor toetreden van basenrijke kwel is de weerstandbiedende toplaag. Veelal bevindt zich van maaiveld tot een diepte tot ca. 40 cm een matig zandige kleilaag (Bijlage VIII: Grote weide, Elzenbroekbos rondom de Paardenweide, en een dunnere kleilaag in de Voorste weide). Enerzijds biedt zo'n kleilaag de potentie voor capillaire nalevering van basenrijk water bij diepere grondwaterstanden, maar anderzijds is de maximale flux beperkt door de grote hydraulische weerstand. Opvallend is dat het kleidek ontbreekt op locatie 7, in het hoger gelegen deel van de Paardeweide. Dit is ook de plek die in het verleden als aangewezen plek voor blauwgrasland geldt. Deze locatie heeft een iets hogere ligging dan de rest van het gebied. In van Delft *e.a.* (2017) wordt genoemd dat graslanden in het verleden zijn opgehoogd. Historisch gezien heeft deze plek dus mogelijk lager in het landschap gelegen, en is deze opgehoogd door te natte omstandigheden, mogelijk door een grote grondwaterinvloed. Overwogen kan worden om deze ophoging ongedaan te maken om zo terug te keren naar een wat natuurlijker reliëf met grotere grondwaterinvloed. Bijkomend voordeel is dat de rijkere toplaag wordt afgegraven. Blauwgraslandsoorten als Blauwe knoop, Gevlekte orchis en Tormantil zijn overigens goed bestand tegen wegzakkende grondwaterstanden in de zomer. Veenmos kan daar veel minder goed tegen. Om een verschuiving naar veenmos gedomineerde vegetatie te voorkomen, is het dus benodigd niet te veel regenwater vast te houden (zie 6.2.1).

Ook in de Grote weide zijn potenties aanwezig voor ontwikkeling van blauwgrasland. Het huidige hoge fosforgehalte vormt daarin mogelijk een belemmering.

6.3 Benutten kansen buiten het huidige Liefstingsbroek

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de natuurpotenties in het Liefstingsbroek beperkt zijn en er veel ingrepen voor nodig zijn om die potenties te verbeteren. Daarentegen zijn buiten de begrenzing van het huidige Liefstingsbroek veel potentie voor ontwikkeling van waardevolle natuur. Dit is het geval in zowel het Ellersinghuizerveld als het Barkerveen. De basenverzadiging in het Ellersinghuizerveld is hoog en de toplaag is fosfaatarm. Daarnaast lijkt ook de waterhuishouding op orde; de grondwaterstand zakte – in het natte 2021 – nauwelijks verder weg dan 60 cm-mv, wat geschikt is voor ontwikkeling van blauwgrasland en heischraal grasland. Een representatieve GLG kon echter nog niet worden afgeleid door de nog korte looptijd van de meetreeksen, waardoor dit niet met zekerheid kan worden vastgesteld.

Op lemige plekken en locaties die onder invloed staan van grondwater is de huidige vegetatie reeds indicatief voor ontwikkeling naar een soortenrijk heischraal grasland. Het Barkerveen is gemiddeld nog wat zandiger en vooral ook zuurder. Niettemin bevindt zich hier op de wat lemige plekken al een vegetatie die plaatselijk een blauwgrasland kan

worden genoemd. Wellicht zal de hydrologie van het Barkerveen sterk verbeteren als de waterloop door het gebied bovenstrooms naar de Ruiten Aa kan worden afgeleid.

Een knelpunt in de natuurontwikkeling op deze locaties vormt de huidige relatief hoge stikstofdepositie. De kritische depositiewaarde voor heischraal grasland en blauwgrasland (respectievelijk 10 en 15 kg N/ha/jr (Van Dobben *e.a.*, 2012)) worden momenteel veelal overschreden. Maatregelen zijn daarom nodig om deze depositie te verlagen. Op basis van de Aerius monitor komt naar voren dat landbouw in de omgeving een groot aandeel in de depositie inneemt (38%), maar dat ook een groot deel vanuit het buitenland komt (48%).

Hoe de successie verloopt bij toekomstige stikstofdepositie en klimaat is nog onzeker. Met de nieuwste versie van de Waterwijzer Natuur (WWN-3) kan bepaald worden hoe potenties voor natuur verschuiven bij verschillende scenario's van klimaatverandering en stikstofdepositie (Nijp *e.a.*, 2022). Zeker als er een grondwatermodel specifiek voor het Liefstingsbroek en omgeving wordt opgesteld (zie aanbeveling in paragraaf 7.1), kan deze tool worden ingezet om snel en ruimtelijk inzicht te krijgen in ontwikkelingspotentie op lange termijn in en om het Liefstingsbroek. Met het grondwatermodel kan ook verkend worden waar eventuele negatieve neveneffecten voor de omgeving van het Liefstingsbroek optreden, en hoe deze voorkomen kunnen worden.

7 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

7.1 Hydrologische modellering

Inmiddels hebben meerdere onderzoeken plaatsgevonden die hebben aangetoond waar de knelpunten en potentiële maatregelen liggen voor natuurherstel in en om het Liefstingsbroek. In deze maatregelen speelt de waterhuishouding een cruciale rol. Op basis van empirisch onderzoek is het vrijwel onmogelijk om een kwantitatieve inschatting te maken van hoe interne en externe maatregelen precies doorwerken op de waterhuishouding in het Liefstingsbroek.

Om een indruk te krijgen van de effecten van verschillende maatregelenpakketten, is het zeer zinvol een grondwatermodel van het Liefstingsbroek op te stellen. Het is een relatief klein gebied, en de hydrologische randvoorwaarden (oppervlaktepeilen) zijn redelijk goed bekend, alhoewel de diepere ondergrond nog de nodige onzekerheid met zich mee brengt (zie paragraaf 2.1.3) in relatie tot kwel. Aandachtspunt in deze modellering is dat oppervlakkige afvoer via laagten in het gebied goed meegenomen wordt.

De twee stuwen in het Liefstingsbroek zijn vrij recent geplaatst, maar een fundering voor de gehanteerde peilen ontbreekt vooralsnog. Met behulp van modellering in combinatie met monitoring kan worden bepaald welke stuwpeilen, in combinatie met ingrepen in de omgeving, de meest wenselijke situatie opleveren. De hydrologische uitvoer kan worden gebruikt om ruimtelijk de potenties van habitat/vegetatietypen in kaart te brengen. In combinatie met de Waterwijzer Natuur kan zo eenvoudig in kaart worden gebracht welke scenario's de meeste perspectieven bieden voor natuur in het Liefstingsbroek.

7.2 Voortzetting huidige meetnet

Het huidige meetnet heeft slechts 8 maanden aan gegevens opgeleverd. Deze 8 maanden zijn afkomstig uit 2021, een bijzonder nat jaar ten opzichte van andere jaren (Bijlage VII). De meetperiode is te daarmee kort en niet representatief om harde conclusies uit af te leiden omtrent de waterhuishouding in het Liefstingsbroek. De winterperiode ontbreekt in de huidige tijdreeksen, terwijl juist deze periode van belang kan zijn voor kwelaanvoer en het verhogen van de basenverzadiging in de wortelzone. Het vergt weinig inspanning en beperkte kosten om het huidige meetnet voort te zetten. Wij bevelen daarom aan om het huidige meetnet te continueren. Op een later moment kan op basis van overeenkomsten tussen tijdreeksen besloten worden het meetnet uit te dunnen. Momenteel zijn de reeksen te kort om daar uitspraken over te doen. In aanvulling op het voortzetten van het huidige meetnet behoort ook het goed in kaart brengen van verbinding en peilen in waterlopen ten noorden van het Liefstingsbroek langs de Ringweg, en vaststellen van NAP peilen van de stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek.

7.3 Aanvullende metingen

7.3.1 Debietmetingen

Het huidige meetnet heeft veel zinvolle inzichten opgeleverd in de waterhuishouding van het Liefstingsbroek. Zowel uit dit onderzoek als uit dat van van Delft *e.a.* (2017) komt naar voren dat de oppervlakkige afvoer een belangrijke rol vervult in de waterhuishouding van in het Liefstingsbroek. Zowel waterkwantiteit als -kwaliteit worden beïnvloed door de stuwen in de westpunt en ten noorden van het Liefstingsbroek. Maar hoe groot de afvoer van regenwater is, hoe die varieert door de tijd, en hoe dat samenhangt met ingestelde stuwpeilen, is op dit moment onbekend.

Om daar zicht op te krijgen is het nodig om de afvoer te meten van het gebied. Vooral de stuw in de westelijke punt van het Liefstingsbroek is relevant voor oppervlakkige afvoer van regenwater, maar ook afvoer bij de noordelijke

stuw en de schouwsloot in de zuidpunt (locatie 8) zijn van belang om de waterhuishouding van het Liefstingsbroek in kaart te brengen. De hoogte van de stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek is niet ingemeten. Het wordt aangeraden deze stuwhoogte in kaart te brengen. Met deze informatie kan een waterbalans van het gebied worden opgesteld in combinatie met weersgegevens. Tekorten / overschotten in de waterbalans kunnen vervolgens inzicht opleveren op invloed van 'diepe' kwel en/of aanvoer van oppervlaktewater. Bovendien kan deze informatie meegenomen worden in de hydrologische modellering om het model te voorzien van benodigde modelinvoer en validatiegegevens.

Bij de stuw in de westpunt van het gebied zou het waardevol zijn om de tijdreeksen van debiet te combineren met het EGV, bijvoorbeeld met een CTD logger ⁽³⁾. Zo kan, behalve een continue meting van de afvoer, ook een beeld verkregen worden van het relatieve aandeel van grond- vs oppervlaktewater dat afgevoerd wordt. Op basis daarvan kunnen stuwpeilen bepaald worden, in samenhang met de in de vorige paragraaf behandelde hydrologische modellering.

7.3.2 Kalk in de ondergrond

Uit de bruistest kwam naar voren dat zich op een diepte van 1 m in het Ellersinghuizerveld ten zuiden van het Liefstingsbroek kalk bevindt (locatie 15 en 16). Het is uitermate bewerkelijk om in een open veld met veel wind de bruistest uit te voeren. Het kan zijn dat het om een foutieve waarneming gaat op deze locaties. Echter, als deze waarneming correct is, biedt de aanwezigheid van kalk enorme potenties voor buffering van grondwater op de langere termijn. Het zou waardevol zijn om in het Ellersinghuizerveld de ruimtelijke verbreiding van het kalkgehalte beter in kaart te brengen, en op zijn minst de huidige waarneming te bevestigen of ontkrachten.

7.3.3 Hydrochemie porievocht

Uit eerder veldbezoek en vooronderzoek (Jalink, 2019) kwam naar voren dat zich lokaal situaties zouden kunnen voordoen waar basenrijk grondwater naar de wortelzone wordt aangevoerd. Het huidige onderzoek voorziet in het ecohydrologisch functioneren op gebiedsschaal, maar geeft geen informatie over kleinschalige gradiënten en waterkwaliteit in de wortelzone. Kleine hoogteverschillen of verschillen in bodemsamenstelling kunnen, zeker voor grondwaterafhankelijke vegetaties, van grote invloed zijn op het voorkomen van vegetatietypen. Om beter inzicht te krijgen in potenties per locatie in het Liefstingsbroek is detailbemonstering nodig langs hoogtegradiënten van de hydrochemie van het porievocht op meerdere momenten in het jaar. Hiervoor zouden op bijvoorbeeld vier momenten in het jaar langs meerdere transecten (lengte ca. 10 – 20 m per transect) met rhizons het porievocht op twee diepten (ca 35 en 60 cm-mv) kunnen worden bemonsterd. Op basis van deze resultaten kan worden bepaald waar zich lokaal potenties voor kwelgebonden vegetatietypen voordoen.

7.3.4 In kaart brengen van Peelo klei

Tot dusver is aangenomen dat onder het gehele Liefstingsbroek een ca 10 m dikke laag potklei uit de formatie van Peelo aanwezig is. Deze slecht doorlatende laag zou er voor zorgen dat geen 'diepe' kwel wordt aangevoerd. De aanwezigheid van potklei is gebaseerd op geostatistische modellen, die over het algemeen begrenzing van formaties niet goed in kaart kunnen brengen en deze grenzen te geleidelijk voorspellen. Uit dit onderzoek komt naar voren dat het niet uitgesloten is dat er in het centrum van het Liefstingsbroek op de Paardeweide 'diepe' kwel wordt aangevoerd (kwelvenster). Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door een lokaal dunner of zelfs afwezige potklei. Met een (aantal) diepe boring(en) (tot minstens ca 15 m-mv) zou meer inzicht verkregen kunnen worden in de lokale geohydrologie van de ondergrond van het Liefstingsbroek, en het belang daarvan voor kwel en grondwaterkwaliteit. Echter, zelfs indien 'diepe' kwel vanuit een dieper watervoerend pakket aanwezig is, betekent dit dat er ingrepen moeten worden genomen om deze kwel te kunnen benutten.

⁽³⁾ Bij plaatsing van de CTD logger in een peilbuis raden wij aan om af te wijken van de genormaliseerde slitbreedte van 0.3 mm en bijvoorbeeld een zelfgeperforeerde buis te maken met diameter gaten van ca 0.5 cm. Dit bevordert doorstroming in de buizen, die noodzakelijk is voor een juiste meting van EGV.

8 Beantwoording onderzoeksvragen

In de voorgaande hoofdstukken is de achtergrond van de onderzoeksvragen uitvoerig aan de orde gekomen. In dit hoofdstuk worden de antwoorden op de onderzoeksvragen concreet beantwoord.

Vraag 1: Waar kan basenhoudend grondwater de wortelzone bereiken in de huidige situatie, hoe groot is de kwelflux (indicatief), welke kwaliteit heeft het kwelwater, en waar komt het water vandaan?

De huidige waterhuishouding van het Liefstingsbroek biedt zeer beperkt mogelijkheden voor het bereiken van de wortelzone van basenhoudend grondwater. Op grotere diepte (6 m-mv) is het grondwater matig tot zeer basenrijk. Hier bevindt zich op veel plekken in de ondergrond van het Liefstingsbroek ook kalk, die kan zorgen voor een hoge basenrijkdom van grondwater. In het ondiepe grondwater (1.5 m-mv) is de basenrijkdom lager, maar meestal toereikend voor ontwikkeling van blauwgrasland. Van de lager gelegen delen is alleen in de (hoger gelegen delen in de) Paardeweide (7) en in de Grote weide (2) het ondiepe grondwater basenarm. Aanvullend veldonderzoek van kleinschalige gradiënten is benodigd om te bevestigen dat ondiep grondwater de wortelzone bereikt, en of er potenties zijn langs kleinschalige(re) gradiënten in de Paardeweide en Grote weide.

Onder de Adelaarsvarenbult is een verhoogde nitraatconcentratie aangetroffen, wat verklaard kan worden door invang van stikstofdepositie. Dit nitraat kan op termijn (afhankelijk van geochemische buffercapaciteit Aggenbach *e.a.* (2020)) in de wortelzone van kwelzones belanden. In het Liefstingsbroek is behalve onder de Paardeweide en het Ellersinghuizerveld de antropogene invloed beperkt.

In de winterperiode stroomt grondwater lokaal van de dekzandruggen (Adelaarsvarenbult) en kwelt op in omliggende laagten in het Liefstingsbroek. De ontwatering aan de noord en oostzijde van het Liefstingsbroek heeft een sterke drainerende werking op de dekzandruggen en beperkt daarmee de opbolling en aanvoer van kwelwater, zowel in de winter als in de zomerperiode. De waterloop ten zuidwesten van het Liefstingsbroek heeft een sterk drainerende werking op het Ellersinghuizerveld, en werkt waarschijnlijk ook door tot in het Liefstingsbroek.

Vraag 2: Biedt de huidige waterhuishouding in het Liefstingsbroek perspectief voor N2000 habitattypen blauwgrasland (H6410), Beuken-eikenbos (H9120), Eiken-Haagbeukenbos (H9160A) en beekbegeleidend Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C)?

Vanuit puur kwantitatief oogpunt ondersteunt de tijdreeksanalyse dat de huidige waterhuishouding geschikt is voor blauwgrasland (H6410) in de Voorste weide, het elzenbroekbos ten zuidwesten van de Adelaarsvarenbult, en het Ellersinghuizerveld. Echter, waterhuishouding behelst meer dan enkel de kwantiteit: dat de waterstanden op orde zijn komt voor een groot deel de dominante invloed van stagnerend regenwater. Stagnatie van regenwater en het optreden van regenwaterlenzen zorgt er mede voor dat kwelwater de wortelzone niet kan bereiken, zoals blijkt uit de geringe basenverzadiging op veel locaties. De huidige waterhuishouding voldoet daarmee niet voor duurzaam herstel van blauwgrasland.

Voor elzenbroekbos is de waterhuishouding voldoende op orde en biedt perspectief voor duurzaam behoud van en beekbegeleidend Elzenzegge-elzenbroekbos (H91E0C). Ook voor het eiken-haagbeukenbos is het grondwaterregime op orde, en zou zelfs wat droger kunnen. De hiervoor genoemde herstelmaatregelen dragen bij aan een hoge basenverzadiging en bevorderen daarmee van de kwaliteit van deze habitattypen. Op de droge dekzandruggen is het grondwaterregime geschikt voor behoud van Beuken-eikenbos.

Een knelpunt is dat voor de habitattypen blauwgrasland (H6410), Beuken-eikenbos (H9120) en Eiken-Haagbeukenbos (H9160A) de kritische depositiewaarde overschreden wordt bij huidige atmosferische depositieniveaus. Ook de

nieuwe natuurinrichtingsgebieden (Barkerveen, Ellersinghuizerveld) bieden vanuit hydrologisch perspectief veel potentie voor waardevolle natuur, maar dat vraagt wel om een vermindering van de huidige stikstofdepositie.

Vraag 3: Welke hydrologische herstelmaatregelen kunnen bijdragen aan verbetering van de kwaliteit van de in het Liefstingsbroek aanwezige habitattypen en andere grondwaterafhankelijke natuur in met name het aangrenzende natuurontwikkelingsgebied?

Ingrijpende hydrologische interne en externe herstelmaatregelen zijn benodigd om de dominantie van regenwater te verminderen en kwel naar de wortelzone te stimuleren (zie Hoofdstuk 6). Het bevorderen van lokale kwel vanuit de dekzandruggen (o.a. Adelaarsvarenbult (locatie 5) en 'natuuruitbreiding' (locatie 14)) is hierbij cruciaal. Dergelijke lokale kwelstromen moeten en kunnen vooral in de winter en het voorjaar bevorderd worden. Zowel voor vermindering van fosfaatbeschikbaarheid in het Eiken-Haagbeukenbos als competitie met veenmos gedomineerde vegetatie in de Paardeweide, mag de grondwaterstand in deze deelgebieden in de zomer wat dieper uitzakken om de kansrijkdom van N2000 habitattypen te vergroten.

Hiervoor is het cruciaal dat de drainagebasis in het Liefstingsbroek verhoogd wordt. De belangrijkste herstelmaatregelen om dat te bereiken zijn:

- (1) Verhogen van het peil of omleggen van de waterloop door de dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek
- (2) Het verondiepen of dempen van waterlopen:
 - a. Waterloop aan ooststrand en beek ten noordoosten van het Liefstingsbroek
 - b. Landbouwsloot door dekzandrug ten noorden van het Liefstingsbroek
 - c. Schouwsloot/afwatering huis in de zuidoostpunt van het Liefstingsbroek
- (3) Het verhogen van stuwpeilen van de waterschapsleiding ten zuidwesten van het Liefstingsbroek
- (4) Het fine-tunen van stuwpeilen van de twee stuwen op basis van debietmetingen en modellering.

Vraag 4: In welke mate biedt de afgegraven bodem in het natuurontwikkelingsgebied Ellersinghuizerveld potenties om de genoemde habitattypen uit te breiden?

Van alle bemonsterde locaties in en om het Liefstingsbroek is de basenverzadiging het hoogst in het Ellersinghuizerveld en het Barkerveen. Deze bodems zijn zeer fosfaatarm, mede door het nog vrijwel ontbreken van organisch materiaal. Daarmee zijn zowel de bodems van het Ellersinghuizerveld als het Barkerveen geschikt voor de ontwikkeling van een waarschijnlijk wat zuurdere heischrale variant van blauwgrasland.

Vraag 5: Welke monitoring is noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in lokale gradiënten in hydrologie, chemie en ecologie?

Met het huidige onderzoek is de waterhuishouding van het Liefstingsbroek in kaart gebracht op gebiedsniveau. Kleine hoogteverschillen of verschillen in bodemsamenstelling kunnen, zeker voor grondwaterafhankelijke natuur, van grote invloed zijn op het voorkomen van vegetatietypen. Om beter inzicht te krijgen in potenties per locatie in het Liefstingsbroek is het daarom nodig om op een groter detailniveau metingen te verrichten. Daarvoor is het benodigd om langs hoogtegradiënten de samenstelling van het porievocht te bepalen. Dit kan gedaan worden door langs meerdere transecten (lengte ca. 10 – 20 m per transect) met rhizons het porievocht op twee diepten (ca 35 en 60 cm-mv) op meerdere momenten in het jaar (4) te bemonsteren. Op basis van deze resultaten kan worden bepaald waar zich lokaal potenties voor kwelgebonden vegetatietypen voordoen.

9 Literatuur

- Aggenbach, C.J., Cirkel, D.G., Cusell, C. & van Dijk, G. (2019) *Onderzoek naar bevoeiing als beheermaatregel voor behoud en herstel van basenrijke trilvenen - Eindconcept november 2019*. V.V.B.-E.N. Obn. Vbne, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., Nijp, J.J., Huyghe, P. & Diggelen, R. (2020) *Invloed van met nutriënten verrijkt grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen*, Driebergen. VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (2004) *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRC press.
- Borren, W. (2020) *Validatie grondwaterreeksen Hunze en Aa's Liefstingsbroek*Natuurmonumenten.
- Grootjans, A.P., van Wirdum, G., Kemmers, R. & van Diggelen, R. (1996) Ecohydrology in The Netherlands: principles of an application-driven interdiscipline. *Acta Botanica Neerlandica*, **45**, 491-516.
- Hsieh, P.A. (2001) Topodrive and Particleflow—Two computer models for simulation and visualization of ground-water flow and transport of fluid particles in two dimensions. *US Geological Survey Open-File Report*, 01-286.
- Jalink, M. (2019) *Memo Deskundigen-advies Blauwgrasland Liefstingsbroek*, Nieuwegein. KWR Water Research Institute.
- Jalink, M., Grijpstra, J. & Zuidhoff, A. (2003) Hydro-ecologische systeemtypen met natte schraallanden in Pleistoceen Nederland.
- Monteith, J. (1956) Evaporation at night. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **4**, 34-38.
- Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, **10**, 282-290.
- Nijp, J.J., de Wit, J., Clevers, S., Dorland, E., Reinds, G.-J., Kros, H., Fuijta, Y., Hoefsloot, P. & Witte, J.-P.M. (2022) *Waterwijzer Natuur Fase 3 - Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur*, Nieuwegein. KWR, WENR, NMI, FWE.
- Salomons, M.C., Logeman, D., van Dort, K. & van der Schuur, R. (2017) *Definitief beheerplan Liefstingsbroek*Arcadis, Prolander.
- Smolders, A., Lamers, L., Lucassen, E., Van der Velde, G. & Roelofs, J. (2006) Internal eutrophication: how it works and what to do about it—a review. *Chemistry and ecology*, **22**, 93-111.
- Stuyfzand, P. (1988) De alkaliteit, het redoxniveau en de verontreinigingsindex als parameters en keuzemogelijkheden in een hydrochemische classificatie van watertypen. *H2O*, **21**, 640-643.
- Stuyfzand, P., Aggenbach, C.J.S. & Fujita, Y. (2019) *Ontkalking en verzuring van de Nederlandse kustduinen: status quo, toekomst en maatregelen*, Nieuwegein. KWR.
- Stuyfzand, P.J. (2012) *HydroGeoChemal (HGC 2.1), for storage, management, control, correction and interpretation of water quality data in Excel® spread sheet*. KWR report BTO 2012.244, Nieuwegein. KWR.
- TNO-GDN (2021) *Stratigrafische Nomenclator van Nederland*, TNO – Geologische Dienst Nederland. Available at: (accessed 22-12-2021)
- van Delft, S.P.J., de Waal, R.W., Jansen, P.C., Bijlsma, R.-J. & Wegman, R.M.A. (2017) *Ecohydrologische systeemanalyse Liefstingsbroek. Rapport 2790*, Wageningen. Wageningen Environmental Research.
- van der Gaast, J. & Massop, H.T.L. (2003) *Spreidingslengte voor het beheersgebied van waterschap Veluwe; een maat voor het bufferzonebeleid*Alterra.
- van der Sluijs, P. (1990) *Grondwatertrappen (Groundwater level classes)*. *Bodemkunde van Nederland (Soils of the Netherlands)*. Malmberg, Den Bosch.
- Van Dobben, H., Bobbink, R., Bal, D. & Van Hinsberg, A. (2012) *Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000-gebieden*Alterra.
- von Asmuth, J.R., Maas, K., Knotters, M. & Leunk, I. (2010) *Menyanthes User Manual - Version 1.9.3*, Nieuwegein. KWR.
- Wamelink, G.W.W., Goedhart, P.W., Van Dobben, H.F. & Berendse, F. (2005) Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements. *Journal of Vegetation Science*, **16**, 461-470.

10 Bijlagen

I Methoden

I.1 Grondwaterchemie

Monsternamen en analyse

Monsters zijn verzameld in april en in september 2022. Voor bemonstering zijn de buizen leeggepompt om vers grondwater te verkrijgen.

Afleiden eigenschappen grondwater

Zuurbufferend vermogen

Het zuurbufferend vermogen van grondwater, de alkaliniteit (Alk; meq/l), kan in het zuurgraadbereik van 4.5 tot 9.5 worden geschat als (Stuyfzand, 1988):

$$\text{Vergelijking 10-1} \quad \text{Alk} \cong \text{HCO}_3^- + 2 \text{CO}_3^{2-}$$

Bij een pH lager dan 8.3 kan de alkaliniteit nog verder vereenvoudigd worden tot enkel bicarbonaat, CO_3^{2-} maakt dan namelijk maximaal 1% uit van de totale alkaliniteit (Appelo & Postma, 2004). Door verschuivingen in zuurgraad en koolzuurevenwichten kan HCO_3^- vormen uit in water opgelost CO_2 en H_2CO_3^* (gezamenlijk H_2CO_3^*) ontstaan. Daarom is het ook relevant om het totale gehalte anorganisch koolstof (TIC) te bepalen als $\text{TIC} = \text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{HCO}_3^- + 2 \text{CO}_3^{2-}$. Hierbij wordt aangenomen dat er sprake is van een gesloten systeem waarbij er een verwaarloosbare hoeveelheid extra CO_2 wordt toegevoegd (door bijvoorbeeld wortelrespiratie of microbiële afbraak). Een hoger TIC geeft aan dat er meer potentie is voor zuurbuffering bij verschuivingen in zuurgraad. Gezien CO_3^{2-} geen rol speelt bij $\text{pH} < 8.3$, vereenvoudigen we TIC als:

$$\text{Vergelijking 10-2} \quad \text{TIC} = \text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{HCO}_3^-$$

H_2CO_3^* is met behulp van koolzuurevenwichten cf Appelo en Postma (2004) bepaald als:

$$\text{Vergelijking 10-3} \quad \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} = \frac{10^{-6.3}}{10^{-\text{pH}}}$$

Microbiële processen kunnen ook een bijdrage leveren aan zuurproductie en consumptie, zoals afbraak van organisch materiaal, redox processen met nitraat en zuurstof. Dit onderzoek gaat daar verder niet op in.

Basenrijkdom

Voor het merendeel van de in Liefstingsbroek beoogde habitattypen is de aanvoer van basenrijk grondwater een vereiste. Op basis van de totale hardheid (TH) en het aandeel van bicarbonaat (HCO_3^-) in de totale hardheid is een eerste indeling gemaakt (Tabel 10-1). HCO_3^-/TH geeft informatie over de invloed van sterk zuur ($\text{HCO}_3^-/\text{TH} < 2$) of door reductie gegenereerd HCO_3^- (ratio > 2). Deze indeling is vervolgens verfijnd op basis van kalkverzadigingsindex (SI), zuurgraad, HCO_3^- concentratie, en aandeel HCO_3^- in totale hardheid (Tabel 10-2). Voor de grondwatermonsters zijn 6 grondwatertypen aangetroffen in het Liefstingsbroek: Bv, Be, Bl, Mm, Mz en Az.

Op basis van de samenstelling van het grondwater en grenswaarden uit literatuur is een gebiedsspecifieke indeling naar watertypen opgesteld. Deze is opgesteld om de chemie samen te vatten en eenvoudiger patronen in de gegevens vast te stellen en te presenteren.

Tabel 10-1. Classificatie van basenrijkdom naar Jalink e.a. (2003).

Basenrijkdom	Code	Criteria
Basisch grondwater	B	TH > 1.5 mmol/l
Matig basenrijk	M	0.5 < TH < 1.5 mmol/l
Basenarm	A	TH > 1.5 mmol/l

Tabel 10-2. Onderverdeling op basis van kalkaggressiviteit

Toevoeging	SI kalk	pH
V	>0	Neutraal/basisch
E	-0.5 – 0	Neutraal
L	-1 – -0.5	Neutraal
M	-3 – -1	Zwak zuur
Z	< -3	(matig) zuur

Beïnvloeding

Op basis van het onderstaande eigenschappen is de mate bepaald waarin grondwater beïnvloed is. Dit is een breed begrip, en omvat zowel invloed van landbouw als geochemische processen in de ondergrond, en kan zowel positief als negatief uitwerken.

Beïnvloeding	SO ₄	NO ₃	K	Cl
Beïnvloed	> 1	> 0.1	> 0.1	> 1
Matig beïnvloed	0.5 < SO ₄ < 1	-	0.06-0,1	> 1
Redelijk beïnvloed	<0,5	-	0.06-0,1	<1
Redelijk onbeïnvloed	<0,2	-	0.06-0,1	<1
Beïnvloed	<0,2	laag	< 0.06	<1

I.II Bodemchemie

In het natuurgebied zijn locaties geselecteerd die representatief zijn voor de aangewezen habitattypen in het gebied. Deels is hierbij aangesloten op locaties waar recent een vegetatie-opname is gemaakt (De Vries e.a., 2020). Dat geldt voor de opnamenummers 45 en 70, die als blauwgrasland geclassificeerd zijn, en het nummer 86 dat als eikenbos geclassificeerd is. Voor de overige locaties is een eigen keuze gemaakt. Daarnaast zijn ook enkele locaties in de aangrenzende natuurontwikkelingsterreinen bemonsterd, met name omdat hier mogelijk ook kansen voor de ontwikkeling van blauwgrasland aanwezig zijn. Hier is aangesloten op de opnamen 110, 114 en 128 in het Ellersinghuizerveld en de nummers 55 en 56 in het Barkerveen. Bodems zijn verzameld door met een guts de toplaag te verzamelen op 6 sublocaties en deze samen te voegen tot een mengmonster.

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_2O_2 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destru-aat 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 supernatant 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.

I.III Grondwaterregime

Het grondwaterregime van de meetlocaties is gekwantificeerd met de GHG, GLG en GVG (respectievelijk gemiddeld hoogste, gemiddeld laagste en voorjaarsgrondwaterstand). Gezamenlijk wordt hiernaar verwezen als de GxG. Doordat de weersomstandigheden van jaar tot jaar variëren, wordt de GxG bepaald op meetreeksen van een periode van liefst 30 jaar (klimaat) of ten minste 8 jaar. Omdat doorgaans tijdreeksen van dergelijk lange perioden niet bestaan, wordt de GxG geschat op basis van korte tijdreeksen. Zeker omdat de tijdreeksen van het meetnet dat in dit onderzoek is opgesteld afkomstig zijn uit een zeer nat niet representatief jaar, is het van belang om grondwaterkarakteristieken niet op een enkel jaar maar een langere termijn te baseren.

Bij de bepaling van GxG's uit gemeten grondwaterstanden is in dit onderzoek gebruik gemaakt van het programma Menyanthes (von Asmuth *e.a.*, 2010). Menyanthes is een door KWR ontwikkelde tool om grondwaterstandsgegevens te analyseren en tijdreeksanalyses uit te voeren. Bij hydrologische tijdreeksanalyse wordt getracht het verloop van de grondwaterstand of stijghoogte te beschrijven en verklaren aan de hand van hydrologische omgevingsfactoren, zoals neerslag, verdamping en grondwateronttrekkingen. Hierbij wordt bepaald hoe de tijdreeks van stijghoogten statistisch samenhangt met één of meerdere verklarende tijdreeksen. Binnen Menyanthes is het mogelijk om automatisch GxG statistieken van tijdreeksen te berekenen gebaseerd op de definitie van van der Sluijs (1990).

Als eerste stap is gekeken naar de betrouwbaarheid van de tijdreeksen. Hiervoor is in Menyanthes een tijdreeksmodel gemaakt van de grondwaterstandsreeksen van zowel het nieuw ingerichte meetnet als de peilbuizen in en rondom het Liefstingsbroek van het droogtmeetnet van de provincie. De diver metingen van locaties 2, 6 en 16 zijn omgezet naar grondwaterstandsreeksen door middel van een luchtdrukcorrectie gebaseerd op luchtdrukgegevens van KNMI station Eelde. De tijdreeksmodellen zijn vervolgens gemaakt met als verklarende variabelen de neerslag en verdampingsgegevens van de dichtstbijzijnde KNMI stations (respectievelijk station Vlagtwedde en Nieuw Beerta).

Bij tijdreeksmodellen is het belangrijk de betrouwbaarheid te bepalen. Indien een tijdreeks van grondwaterstandsgegevens statistisch gezien niet voldoende door neerslag en verdamping verklaard kan worden is er kans dat een andere externe factor een grote invloed heeft op de grondwaterstand. De berekende statistieken op basis van neerslag en verdamping als verklarende variabelen zijn in dat geval onbetrouwbaar. De betrouwbaarheid van alle tijdreeksmodellen is beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- Verklaarde variantie > 70 %.
- Plausibele verdampingsfactor: waarde tussen 0.5 en 1.5.
- Het effect van neerslag en verdamping op de stijghoogte is significant. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval mag niet groter zijn dan het totale effect van de neerslag. Is dat wel het geval, dan kan bijvoorbeeld sprake zijn van autocorrelatie tussen verschillende verklarende reeksen of ontbreken relevante verklarende reeksen in het tijdreeksmodel.
- Significantie parameters: De onzekerheid van de geschatte parameters mag niet te groot zijn. Hiervoor moet de gain (M_0) in ieder geval groter zijn dan 2x de standaard deviatie.

Volgens de GxG definitie van (van der Sluijs, 1990) worden deze statistieken berekend op basis van een periode van ten minste 8 jaar. Aangezien de meetreeksen van het nieuwe meetnet slechts minder dan een jaar in lengte hebben is per reeks een simulatie uitgevoerd. Hierbij wordt op basis van de in het tijdreeksmodel berekende relatie tussen de grondwaterstanden en de neerslag en verdampingsgegevens, een verlengde grondwaterstandsreeks gesimuleerd over een 8 jarige periode van deze meteorologische data. Hierbij zijn de meteorologische gegevens van de afgelopen 8 jaar (2014-2021) gebruikt. Voor deze gesimuleerde reeksen zijn vervolgens in Menyanthes de statistieken berekend. De peilbuizen van het droogte meetnet van de provincie bevatten een meetlengte van 8 jaar waardoor voor deze locaties de originele metingen zijn gebruikt bij de GxG bepaling.

I.IV Kwelpotentie

Op basis van de pH-profielen is een inschatting gemaakt van de kwelpotenties. Deze schatting geeft echter geen inzicht in de kwelintensiteit en hoe deze varieert door de tijd. Om een gedetailleerder beeld te krijgen van variatie in kwel in ruimte en tijd, is een nadere analyse uitgevoerd op basis van tijdreeksen van temperatuur, stijghoogteverschillen, elektrisch geleidend vermogen, en dag-nachtritmes uit hoogfrequente tijdreeksen van grondwaterstanden (meetinterval 15 min). In deze paragraaf worden de betreffende methoden beschreven.

Kwelflux afgeleid uit stijghoogteverschillen

De kwelintensiteit, ook wel kwelflux genoemd, hangt af van het stijghoogteverschil en de doorlatendheid van de bodem tussen de diepten waar stijghoogte gemeten is. Bij grotere stijghoogteverschillen en grotere doorlatendheid neemt de kwel toe. De doorlatendheid van het matig tot zeer fijne zand van het freatisch pakket (Formatie van Bostel) wordt geschat op 5 – 10 m/d en zal niet in belangrijke mate verschillen tussen de locaties, en verandert niet door de tijd. Dat betekent dat de kwelflux alleen afhankelijk is van het stijghoogteverschil. Het stijghoogteverschil tussen ondiep en diep geplaatste filters geeft daarmee dus inzicht in de kwelintensiteit en hoe deze door het jaar verandert. Dit is alleen uitvoerbaar voor de locaties waar zowel een diep als ondiep filter geplaatst is (2, 6, 9, 12, 16).

Elektrisch geleidend vermogen

Naarmate het aantal opgeloste stoffen in water toeneemt, stijgt ook het elektrisch geleidend vermogen (EGV). Het elektrisch geleidend wordt vaak gebruikt als indicator voor invloed van regen-, grond- of oppervlaktewater (Grootjans *e.a.*, 1996; Aggenbach *e.a.*, 2019). Het EGV geeft daarmee inzicht in hydrologische processen en de dominantie van regenwater vs grondwater, en de diepte waar regenwaterinvloed in een bodemprofiel domineert.

Kwelflux afgeleid uit dag-nachtfluctuaties

Met behulp van hoogfrequente tijdreeksen van stijghoogte kan uit dag-nachtfluctuaties een inschatting gemaakt worden van de aanvoer of afvoer van grondwater. Hierbij wordt handig gebruik gemaakt van een waterbalansbenadering, waarbij veranderingen in stijghoogte H (m) afhangen van de bergingscoëfficiënt van de bodem (ϕ), grondwateraanvulling (m/d), aan/afvoer van water middels kwel/wegzijging, en eventuele externe termen die voor aanvoer zorgen, zoals oppervlakkige aan/afvoer of laterale grondwaterstroming. De grondwateraanvulling is de resultante van neerslag (N) min interceptie (I) en verdamping (V). Dit resulteert in Vergelijking 10-4.

$$\text{Vergelijking 10-4} \quad \phi \frac{dH}{dt} = N - I - V - q + E$$

De netto grondwateraanvulling is over het algemeen slecht te schatten door onzekerheden in verdamping en neerslag die de bodem bereikt. Op momenten dat er geen neerslag valt, reduceert bovenstaande vergelijking tot Vergelijking 10-5.

$$\text{Vergelijking 10-5} \quad \phi \frac{dH}{dt} = -V - q + E$$

Verdamping vindt alleen plaats op momenten dat er voldoende licht is. Gedurende de nacht verdampt vegetatie niet, waardoor de verdampingsterm verwaarloosbaar klein is (ook bodemverdamping is 's nachts verwaarloosbaar (Monteith, 1956)). Als we verder aannemen dat verticale stroming de dominante component is, en laterale aanvoer gelijk is aan de laterale afvoer, vervalt ook de externe flux en kan Vergelijking 10-5 versimpeld worden tot:

$$\text{Vergelijking 10-6} \quad \phi \frac{dH}{dt} = -q$$

Voor elke nacht zonder substantiële effecten van neerslag is met deze vergelijking een inschatting gemaakt van de kwel/wegzijgingsflux, en de variatie daarvan door de tijd. Daartoe zijn de stijghoogtereeksen gefilterd op afwezigheid van neerslageffecten (langer dan 2 dagen droog) en voor de periode van 21:00 tot 7:00. Vervolgens is voor elke nacht die voldeed aan bovenstaande criteria een lineaire regressie door de relatie tussen tijd en stijghoogte uitgevoerd. De

richtingscoëfficiënt van deze relatie geeft de verandering van de stijghoogte per tijdseenheid weer (mm/d), en is daarmee een maat voor de kwel/wegzijgingsflux.

Voor de waarde van de bergingscoëfficiënt Φ is een waarde van klei van 0.06 aangehouden (Olsthoorn, 1977). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de bergingscoëfficiënt zal verschillen per locatie, en op sommige locaties geen kleidek maar zand in de toplaag aanwezig is. Om te voorkomen dat de keuze van de waarde van de bergingscoëfficiënt de uitkomsten domineert, is deze voor alle locaties gelijk gehouden.

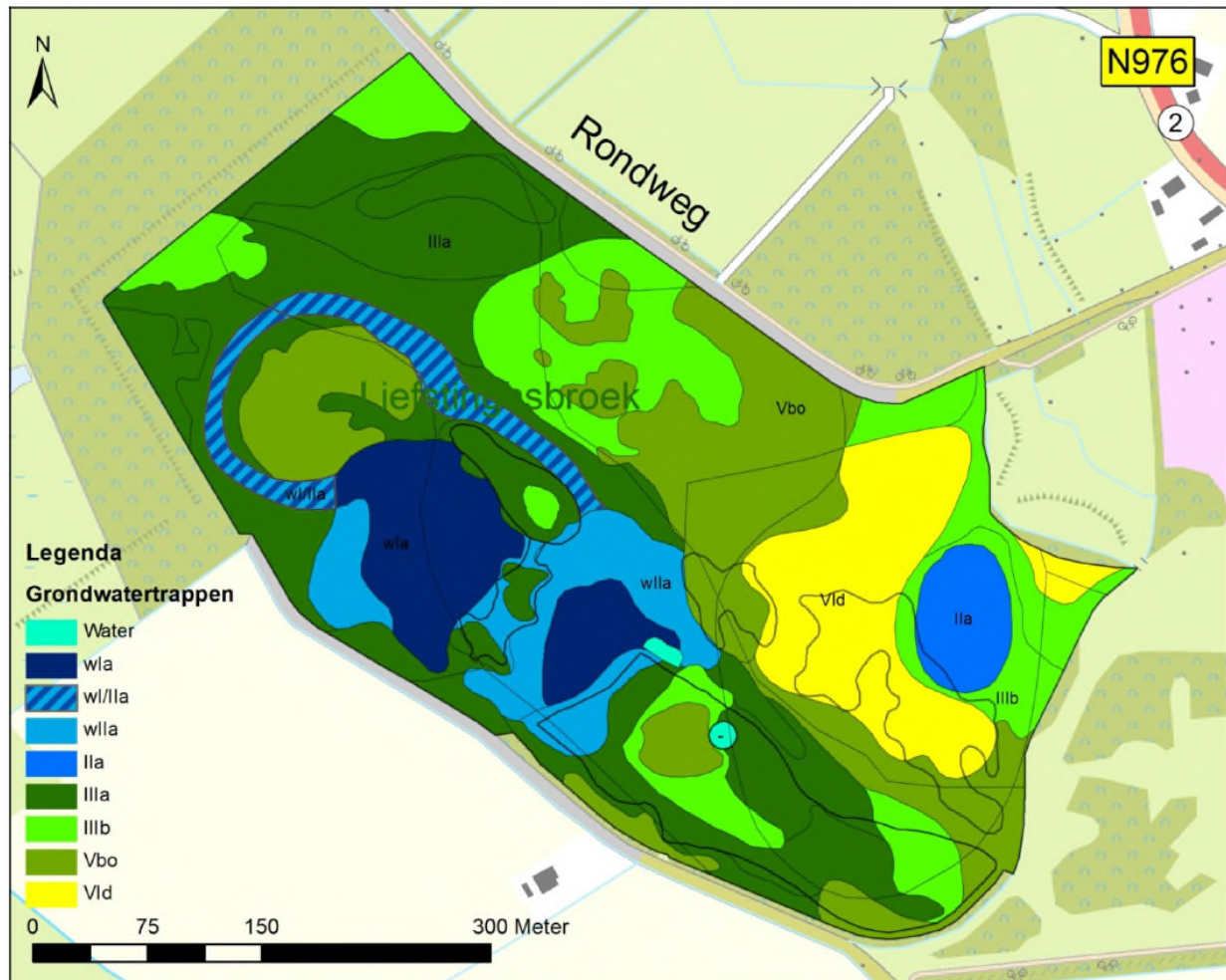
Om te bepalen of er sprake is van seizoenale fluctuaties is een sinusfunctie gefit op de dagwaarden van kwelfluxen:

Vergelijking 10-7
$$a \sin\left(\frac{2\pi}{b}x + d\right) + c$$

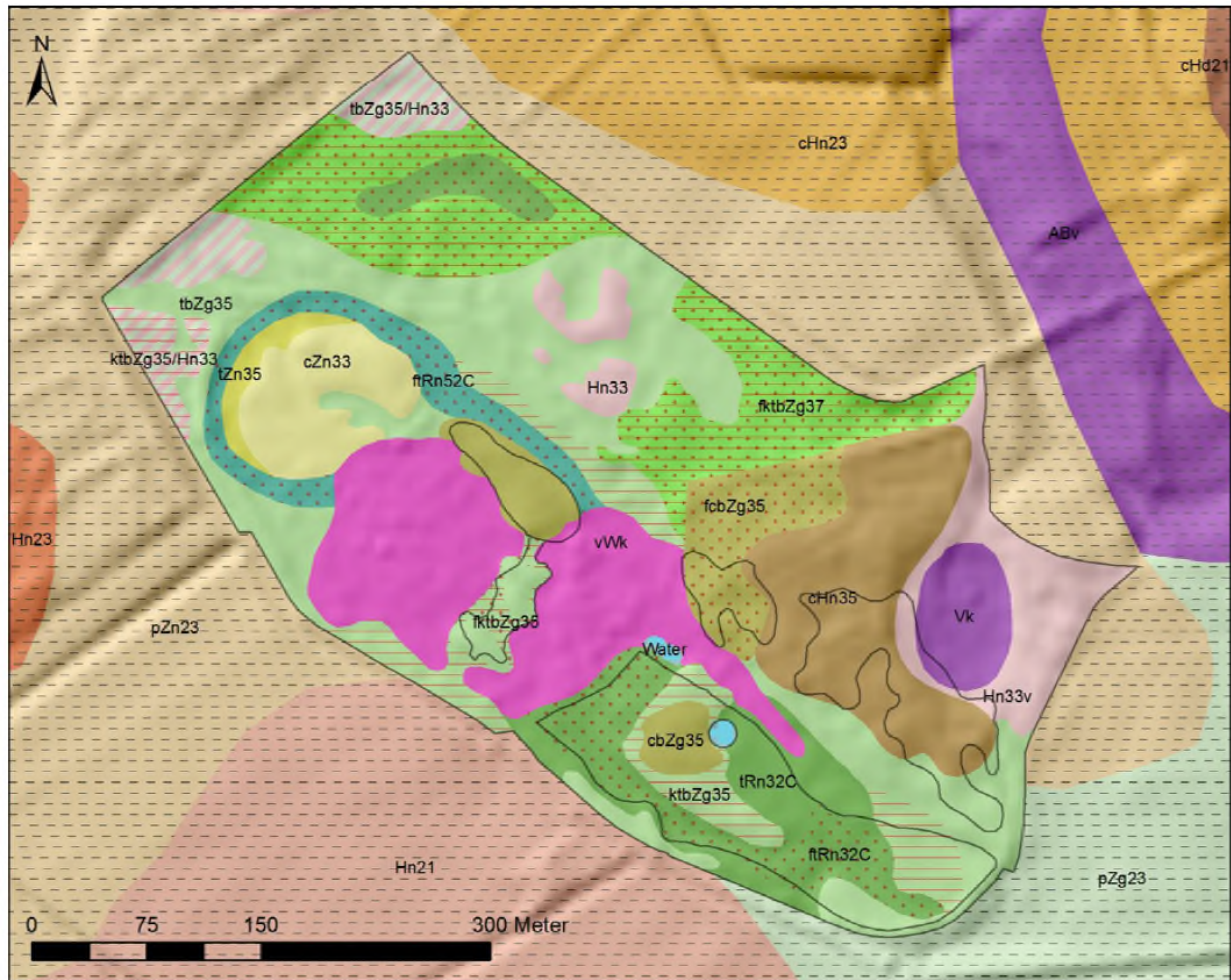
De parameters kunnen ons meer vertellen over het seizoenale gedrag van de kwelflux. Parameter a geeft de amplitude van de kwel/wegzijgingsflux, c of er netto sprake is van wegzijging (negatief) of kwel (positief), en parameter d beschrijft wanneer de omslag plaatsvindt.

De kwaliteit van de fit is beoordeeld met behulp van het Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) criterium (Nash & Sutcliffe, 1970). Hierbij geeft een waarde van 1 een perfecte fit met de observaties, een waarde van 0 en kleiner dan 0 weergeven dat voor de voorspelling respectievelijk net zo goed dan wel beter de gemiddelde waarde gebruikt zouden kunnen worden. Vanaf een NSE waarde van ca 0.5 wordt het interessant het seizoenale gedrag op basis van Vergelijking 10-7 nader te bekijken.

II Grondwatertrappenkaart uit van Delft (2017)



III Bodemkaart uit van Delft e.a. (2017)



IV Boorstaten potklei omgeving Liefstingsbroek

Boormonsterprofiel en interpretatie BRO REGIS II v2.2

Identificatie: B13D0201
 Coördinaten: 270979, 559169 (RD)
 Maaiveld: 3.63 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v. maaiveld: 0.00 m - 30.00 m

Diepte t.o.v. maaiveld in meters

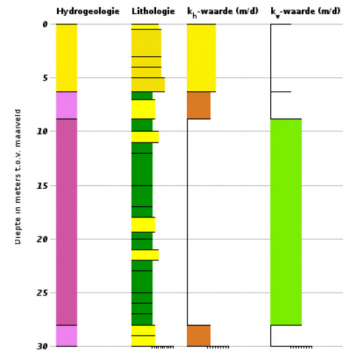
Tussen 0 en 30 m

Opslaan profiel

Maaiveld

Kies een ander model

BRO REGIS II v2.2



Hydrogeologie

Hydrogeologie

BX2

PEz

PEz

< >

Boormonsterprofiel en interpretatie BRO REGIS II v2.2

Identificatie: B13D0108
 Coördinaten: 272650, 558980 (RD)
 Maaiveld: 4.80 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v. maaiveld: 0.00 m - 23.00 m

Diepte t.o.v. maaiveld in meters

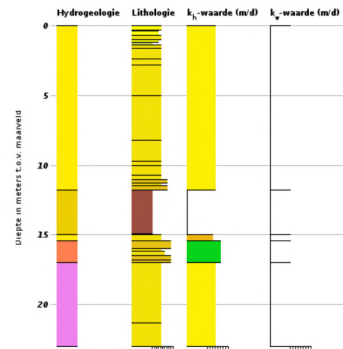
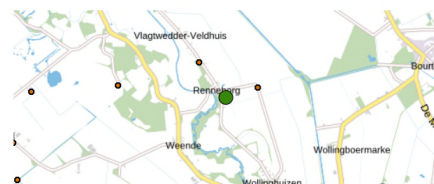
Tussen 0 en 23 m

Opslaan profiel

Maaiveld

Kies een ander model

BRO REGIS II v2.2



Hydrogeologie

Hydrogeologie

BX2

BX2

DRz

PEz

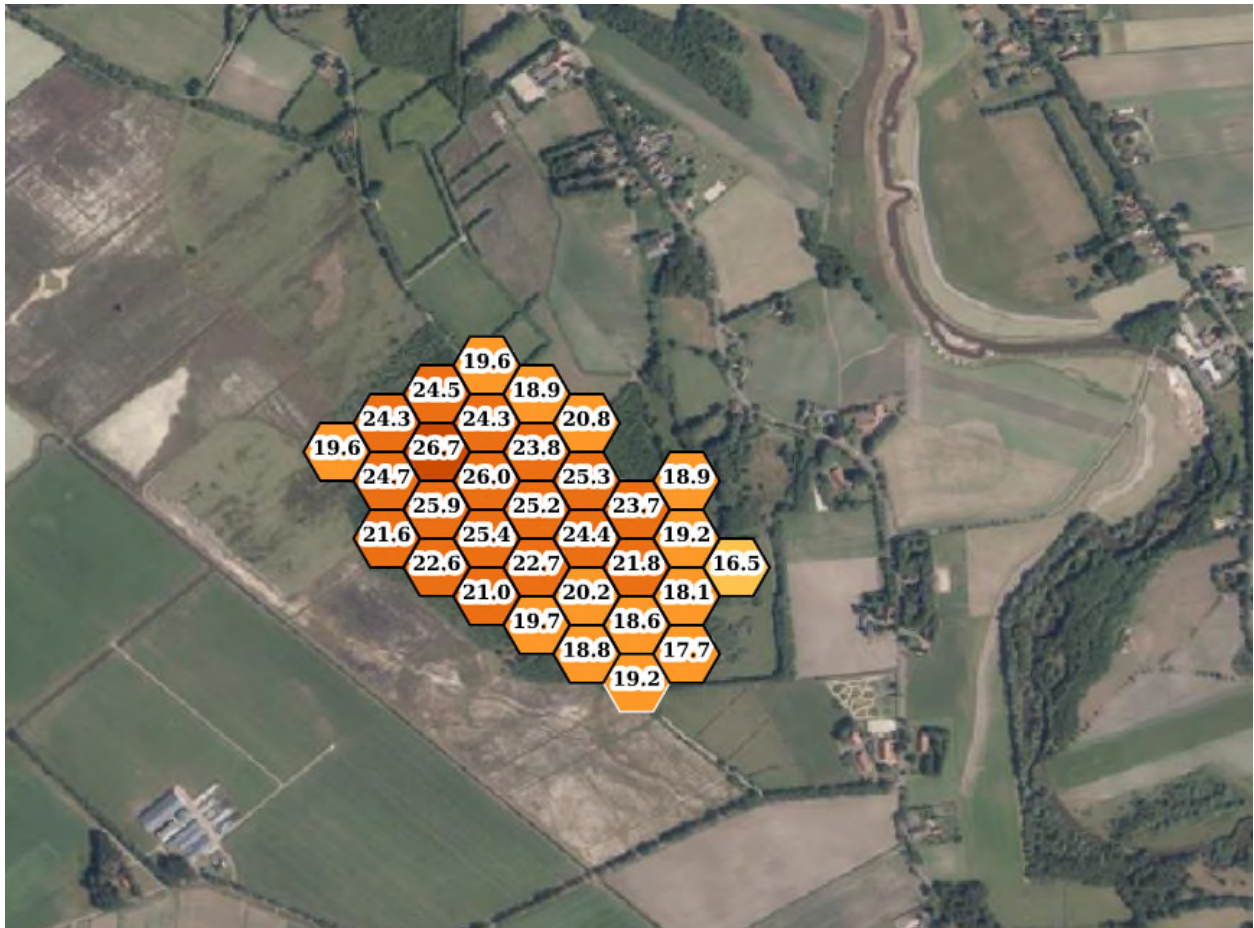
< >

De twee dichtstbijzijnde diepe boringen rondom Liefstingsbroek. PE = formatie van Peelo, BX = formatie van Bortel, DR = formatie van Drenthe. Boorstaten afkomstig uit DINO.

V Metadata geplaatst meetnet

Meetpunt	x	y	bkpb (m+mv)	maaiveld (m+NAP)	filt_bov (m-mv)	filt_ben (m-mv)	filterlengte (m)	GWS (cm-mv)	Diep	Datum plaatsing	serienummer
LIEF001_G	271394.2	558519.7	4.0207	3.5629	1.4	1.7	0.3	0.44		08/04/2021	21031722
LIEF002_1_G	271333	558585.5	4.2104	3.7305	1.4	1.7	0.3	0.535		08/04/2021	CTD
LIEF002_2_G	271332.5	558585.3	4.2464	3.7305	6	6.5	0.5	0.56	ja	08/04/2021	21031730
LIEF003_G	271224.4	558626.3	4.0641	3.5247	1.4	1.7	0.3	0.385		08/04/2021	21031729
LIEF004_G	271167	558696.7	4.0049	3.6128	1.4	1.7	0.3	0.37		08/04/2021	21031718
LIEF005_G	271405.8	558675.2	5.3744	5.0082	2.7	3	0.3	1.325		08/04/2021	21031717
LIEF006_1_G	271288.1	558690.1	3.9777	3.4652	1	1.3	0.3	0.31		08/04/2021	21031732
LIEF006_2_G	271288.3	558690.9	3.9983	3.4652	6	6.5	0.5	0.3	ja	08/04/2021	21031742
LIEF007_G	271187.3	558750.4	4.4237	3.971	6	6.5	0.5	0.68	ja	08/04/2021	21031728
LIEF008_G	271432.6	558425.8	3.9018	2.8	1	1.3	0.3	0.83		09/04/2021	21031731
LIEF009_1_G	271115.4	558947.3	4.1889	3.6994	1.4	1.7	0.3	0.53		09/04/2021	21031726
LIEF009_2_G	271115.7	558946.4	4.2484	3.6994	6	6.5	0.5	0.55	ja	09/04/2021	21031727
LIEF010_G	270775.9	559013.5	3.6944	3.2075	1.4	1.7	0.3	0.495		09/04/2021	21031725
LIEF012_1_G	271535.8	558790.8	3.9623	3.4969	1	1.3	0.3	0.78		09/04/2021	21031723
LIEF012_2_G	271536.5	558790.9	3.9895	3.4969	6	6.5	0.5	0.38	ja	09/04/2021	21031724
LIEF014_G	271424.4	558888.7	5.0793	4.6055	2.7	3	0.3	1.21		09/04/2021	21031721
LIEF015_G	271024.9	558546.2	3.8455	3.4142	1.4	1.7	0.3	0.61		09/04/2021	21031719
LIEF016_1_G	270950.1	558514.8	3.5121	3.0845	1.4	1.7	0.3	0.52		09/04/2021	CTD
LIEF016_2_G	270950.5	558515.7	3.5844	3.0845	6	6.5	0.5	0.58	ja	09/04/2021	21031720

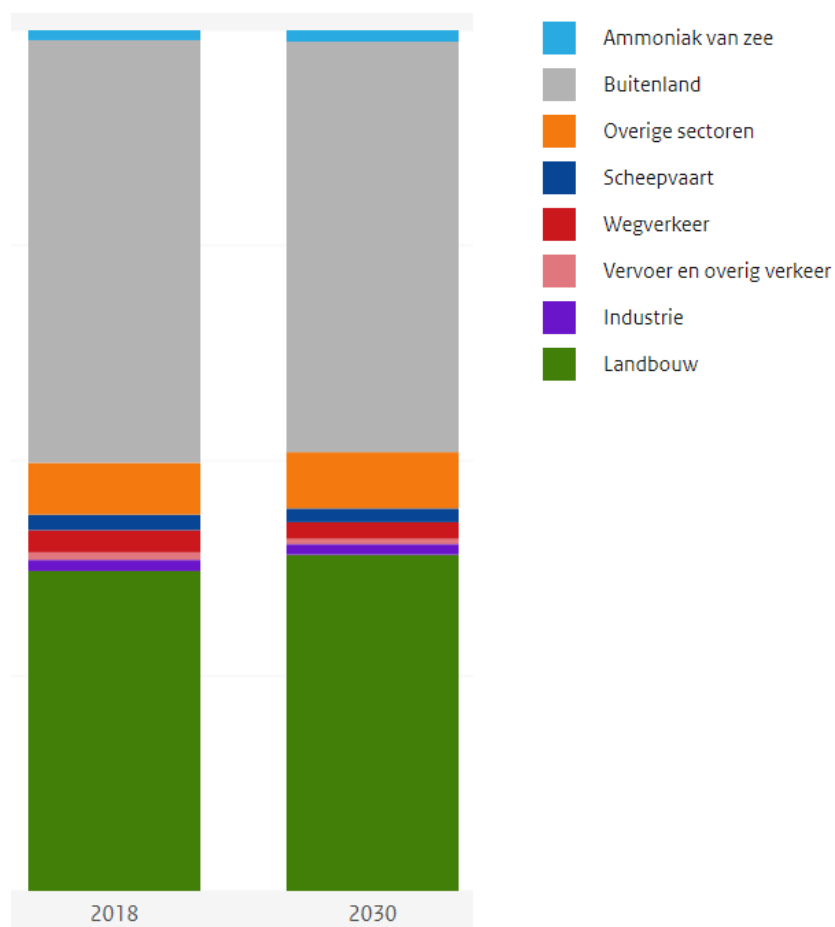
VI Informatie stikstofdepositie



Stikstofdepositie (kg N/ha/jaar) afkomstig uit de Aerius monitor voor het jaar 2017 (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Totale stikstofdepositie, 2021).

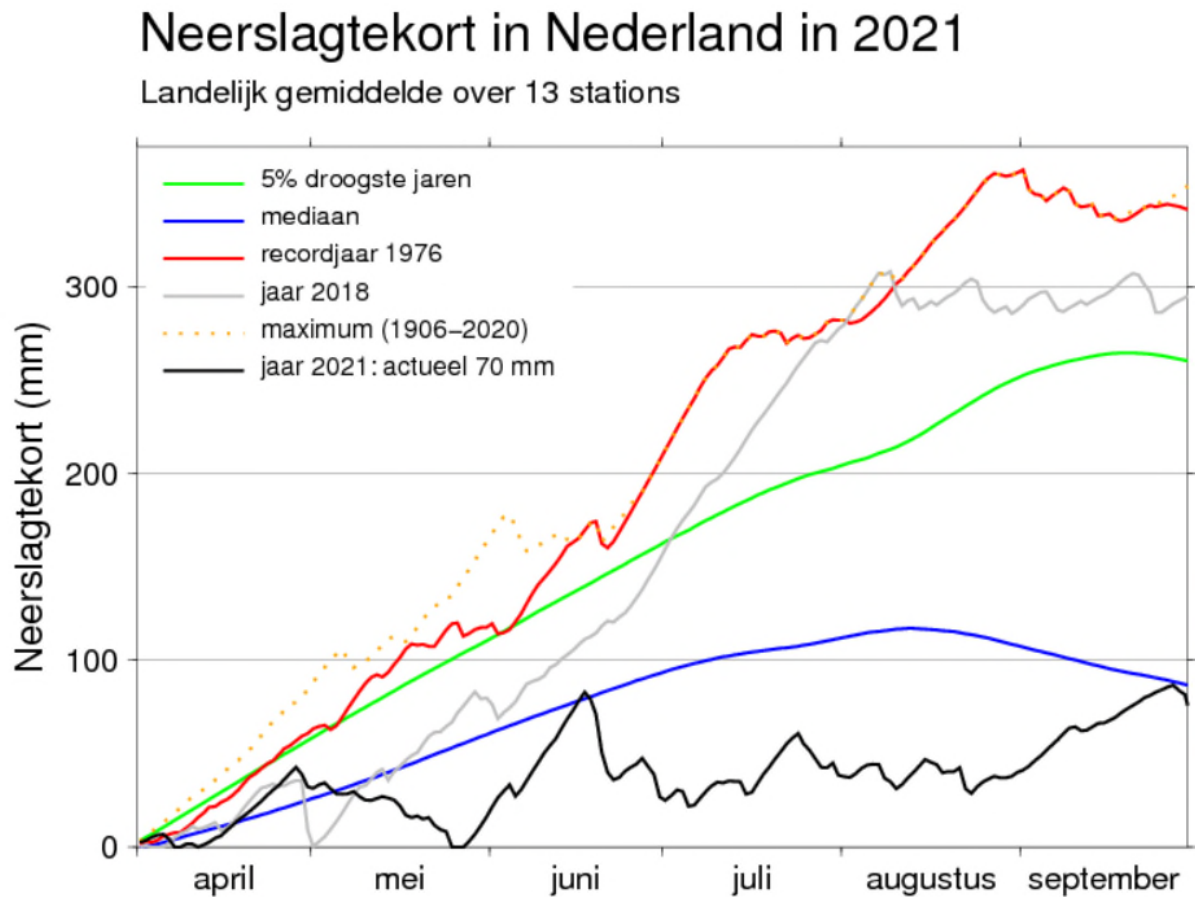
Kritische depositiewaarden voor stikstofdepositie van relevante habitattypen in het Liefstingsbroek (kg N/ha/jr) gebaseerd op Van Dobben e.a. (2012). Voor rood gekleurde habitattypen wordt de KDW in het gehele Liefstingsbroek overschreden, voor de oranje habitattypen voor het grootste deel van het oppervlak

Code	Omschrijving	KDW
H6230	Heischraal grasland	10 - 12
H6410	Blauwgrasland	15
H9190	Oude eikenbossen	15
H9160	Eiken-haagbeukenbos	20
H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	20
H91E0C	Vochtige alluviale bossen (elzenbroekbos)	26



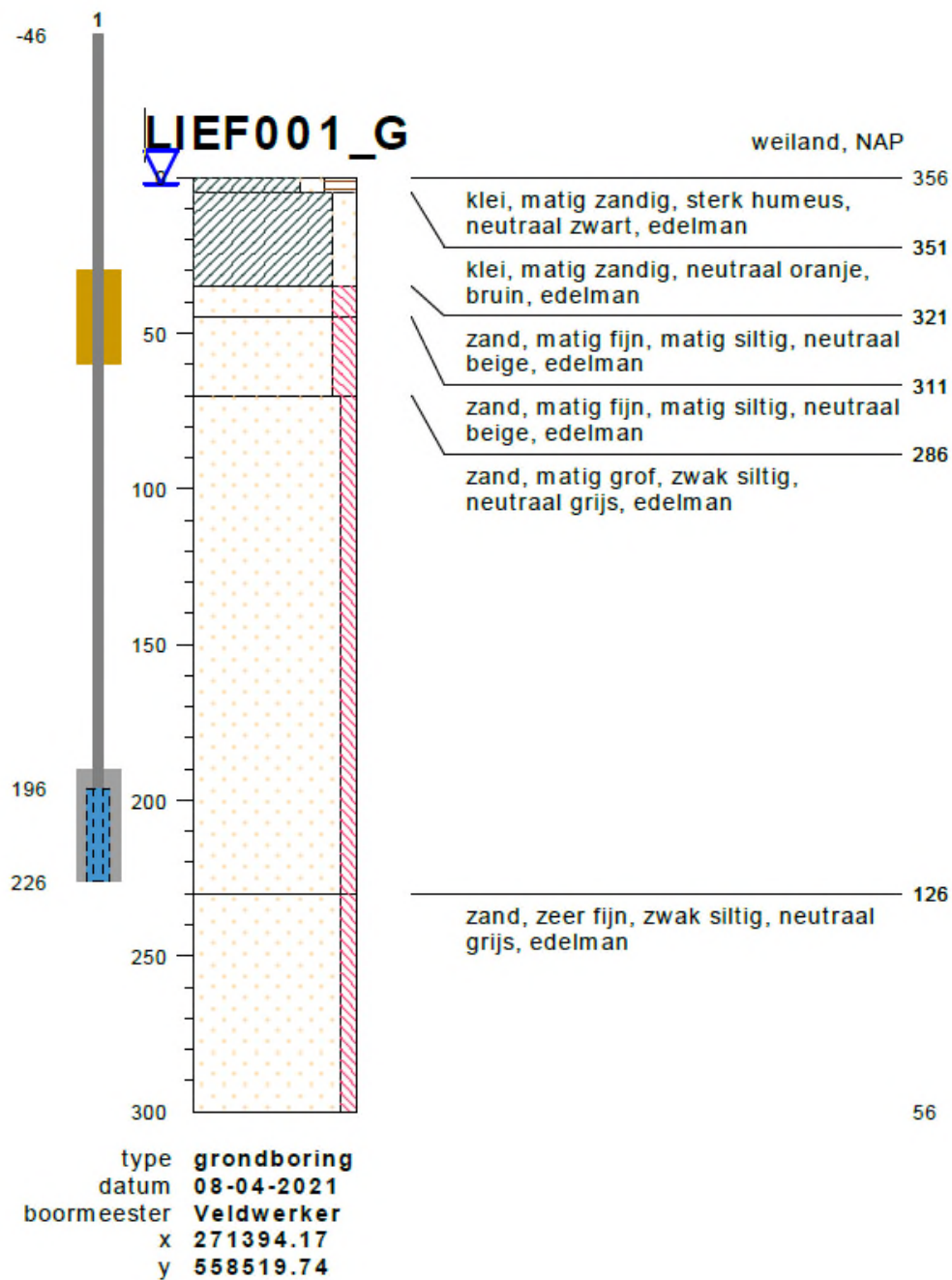
Depositiebijdrage van verschillende sectoren aan de totale stikstofdepositie in het Liefstingsbroek op basis van de Aerius Monitor (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Totale stikstofdepositie, 2021).

VII Neerslagtekort 2021

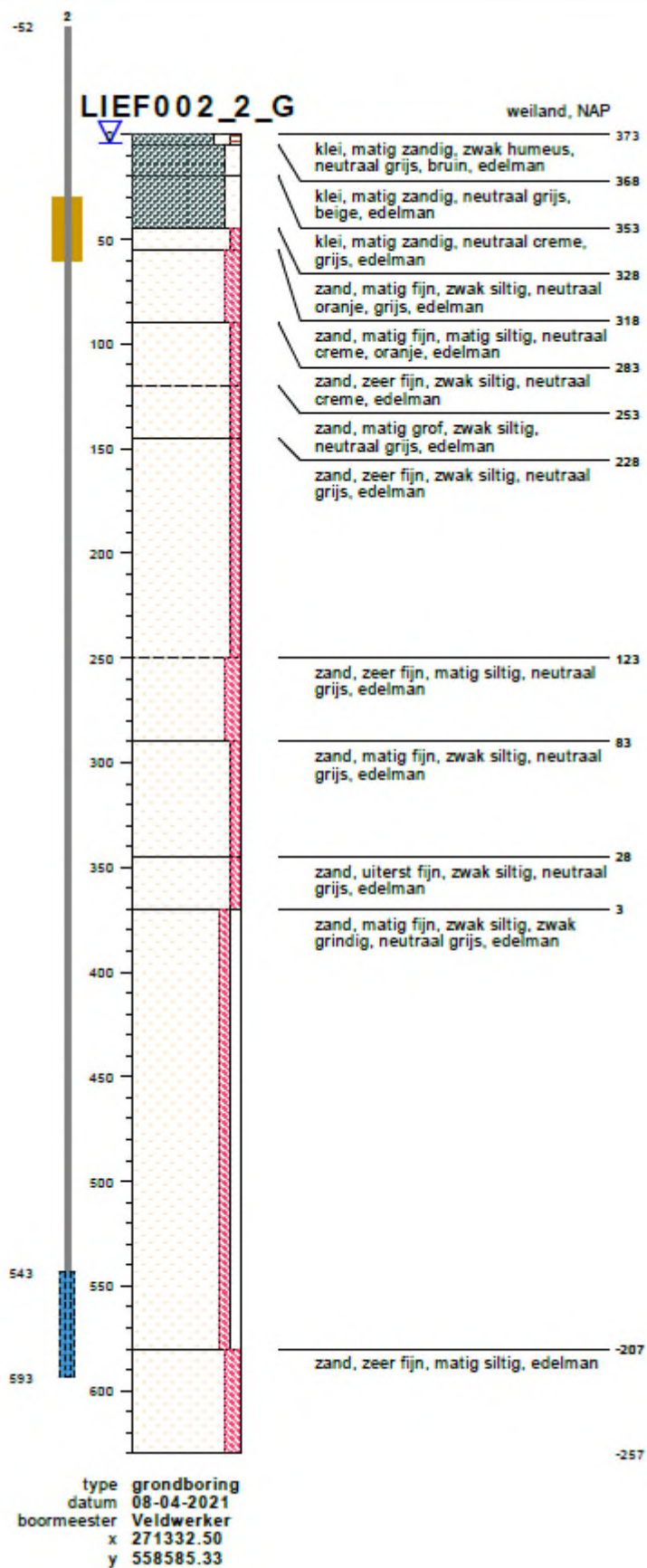


Doorlopend potentieel neerslagtekort bij referentieverdamping in 2021 (KNMI, 2021) in vergelijking tot gemiddelde (blauwe) en droge jaren (groen, rood, grijs).

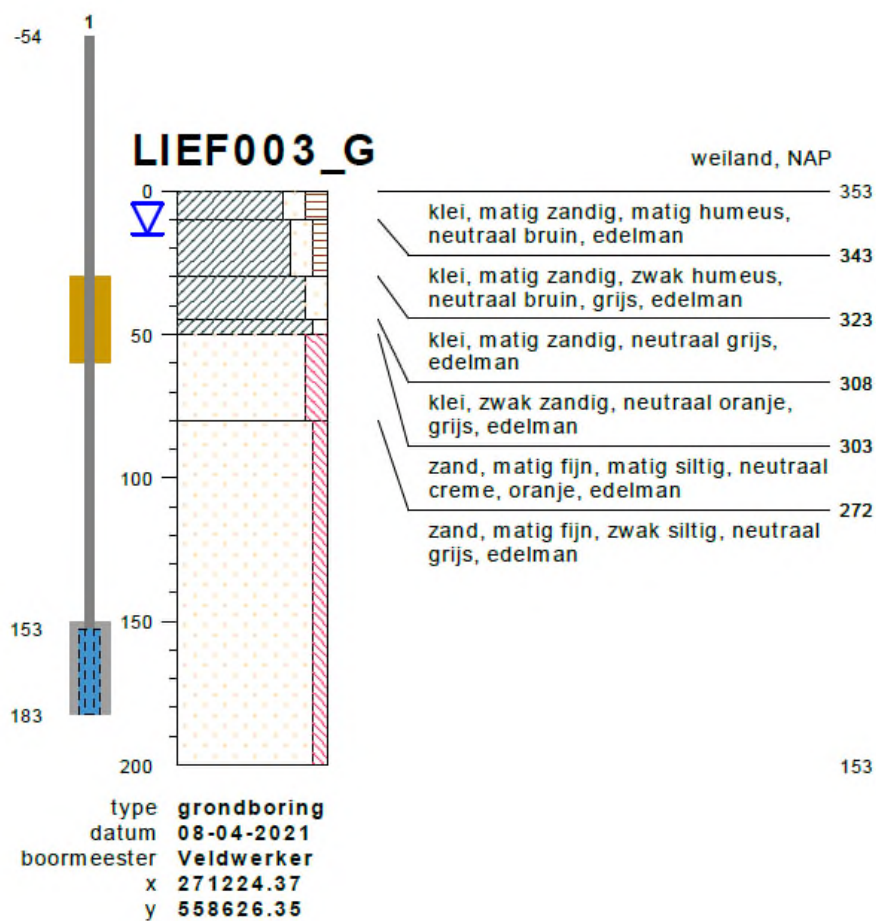
VIII Boorprofielen



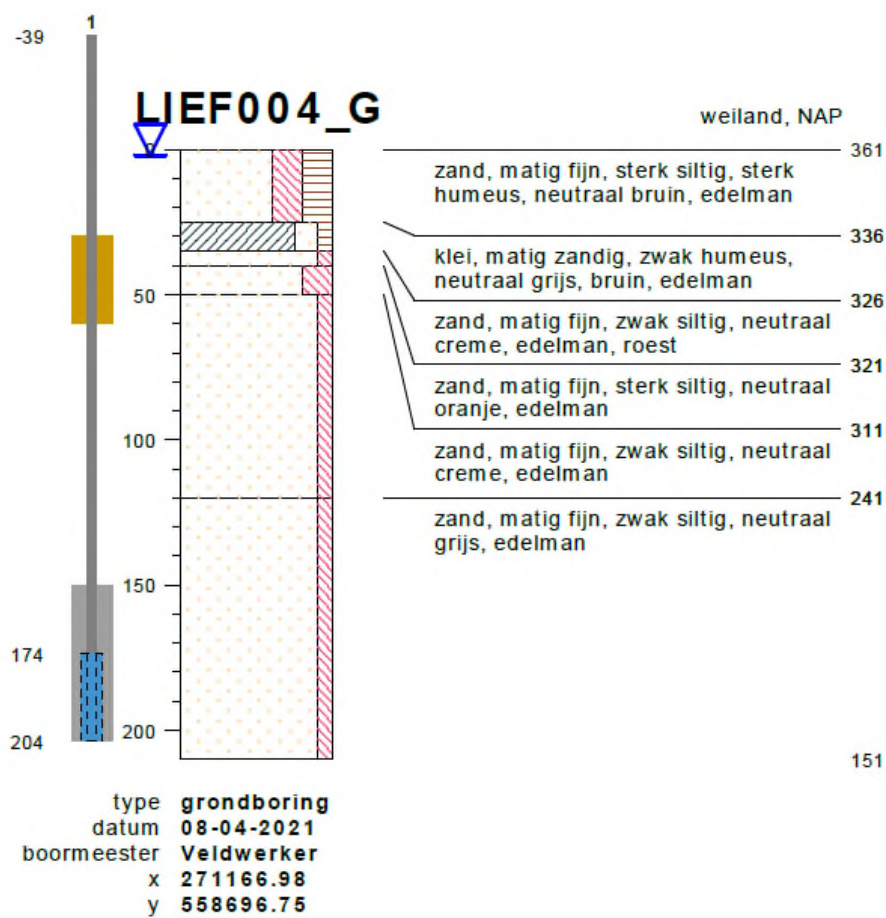
Grote weide, oost



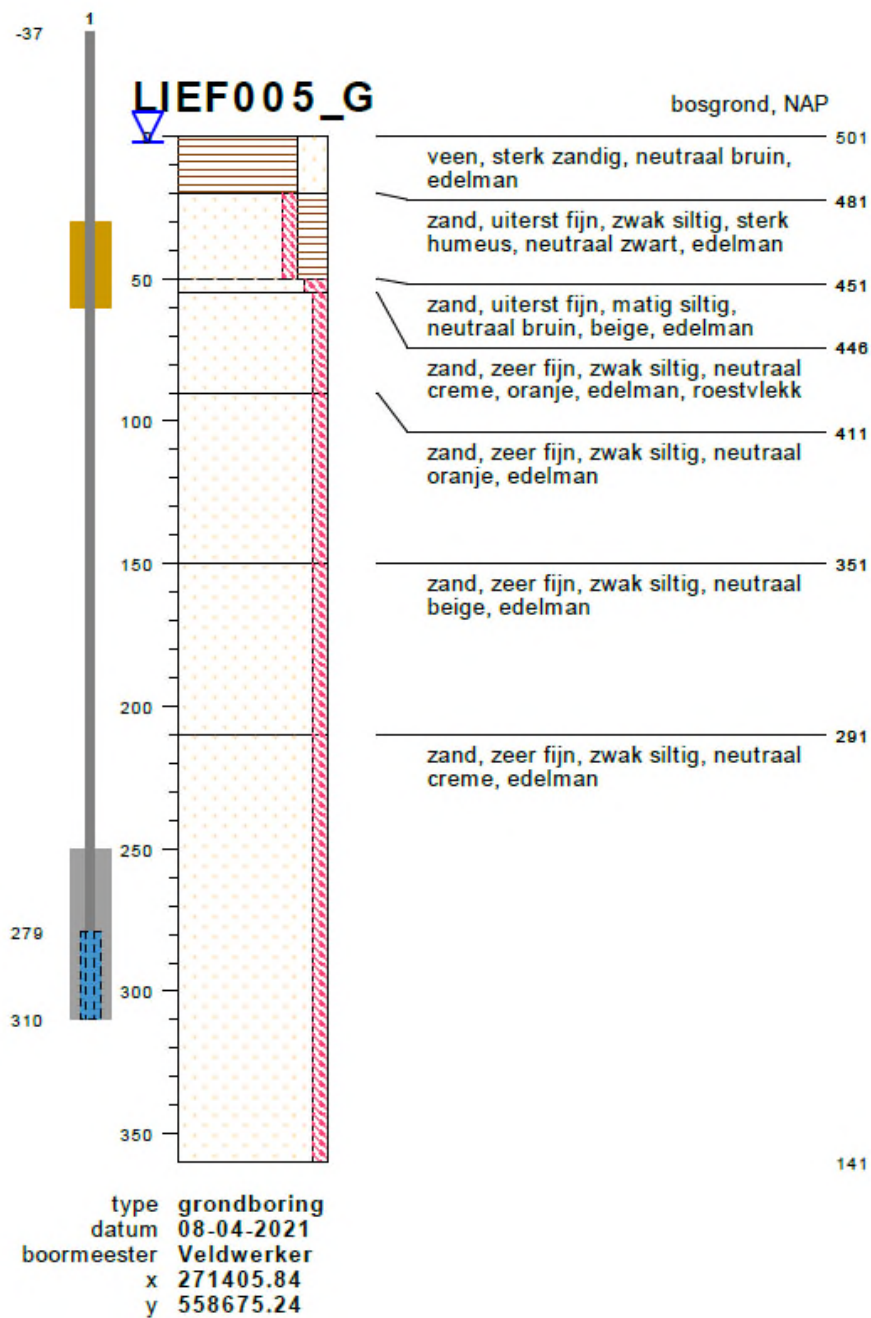
Grote weide, midden



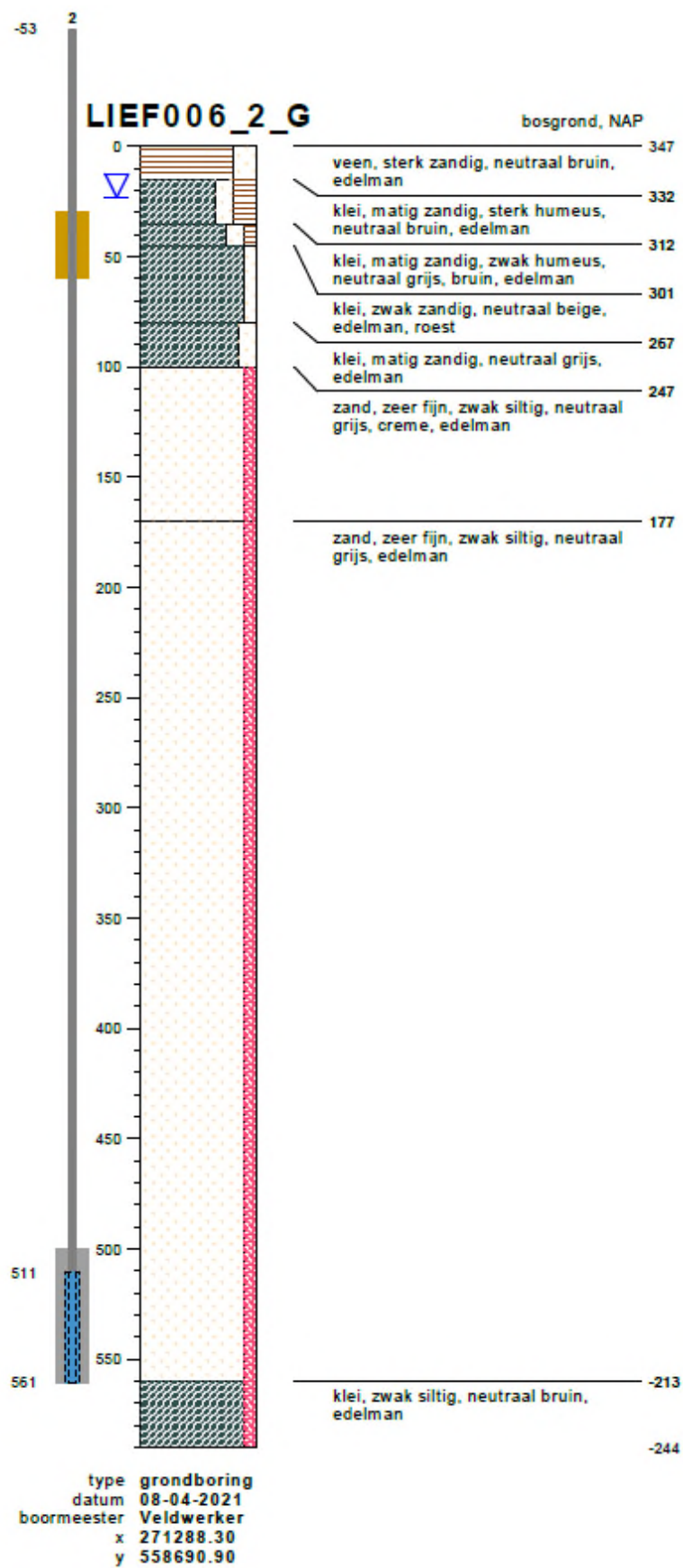
Grote weide, west



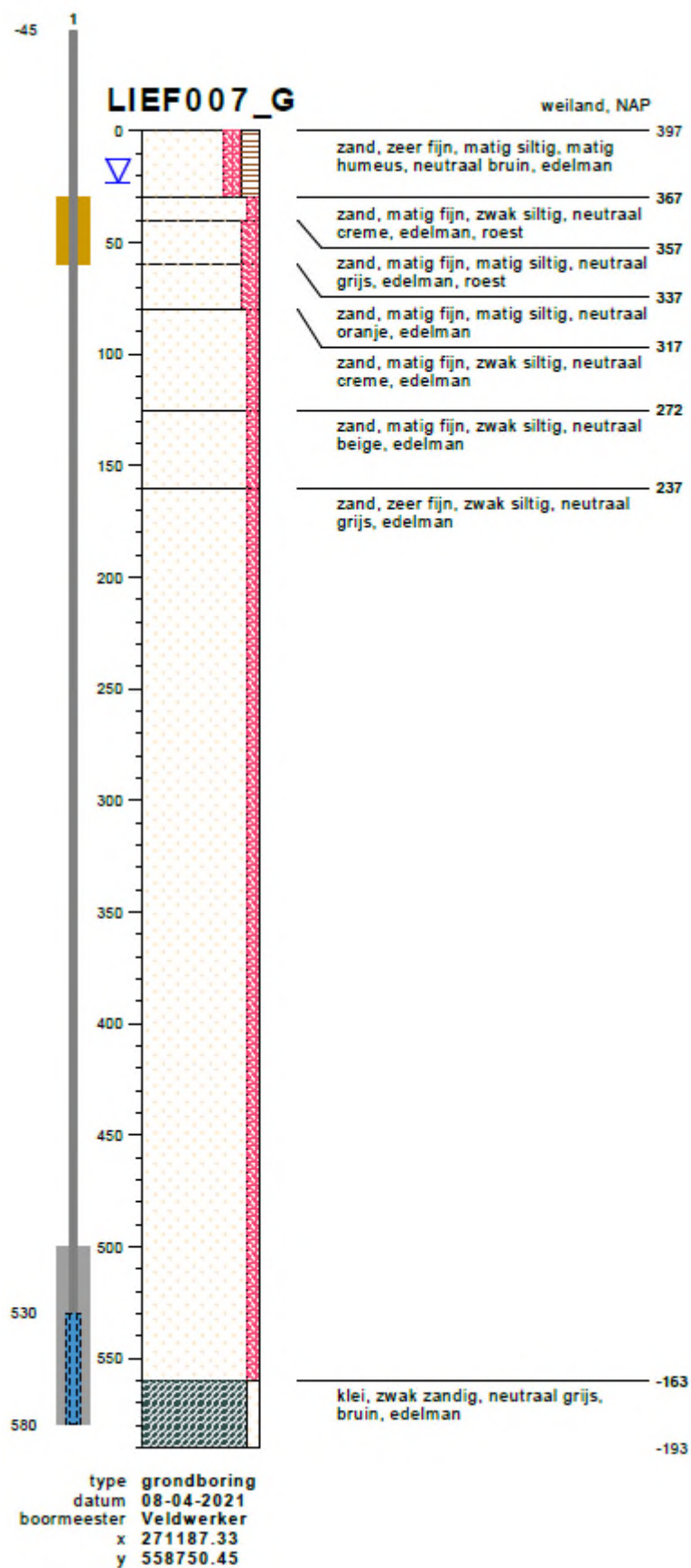
Voorste weide

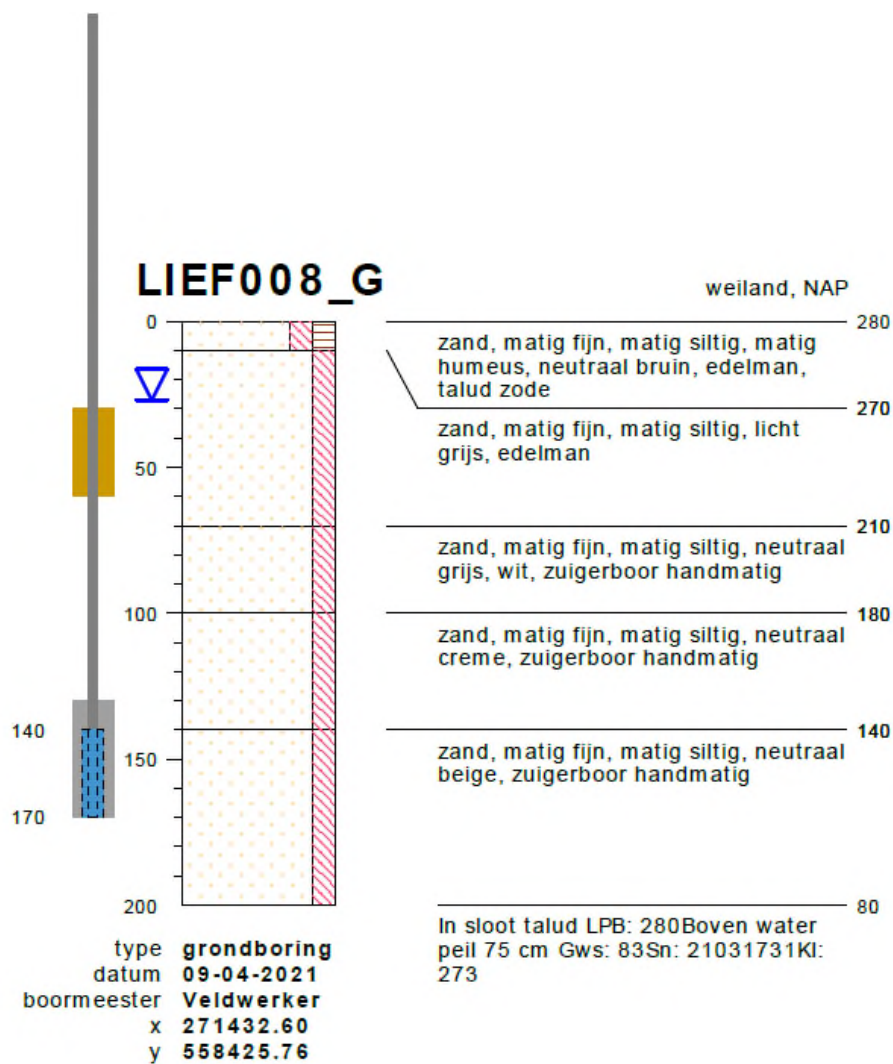


Adelaarsvarenbult

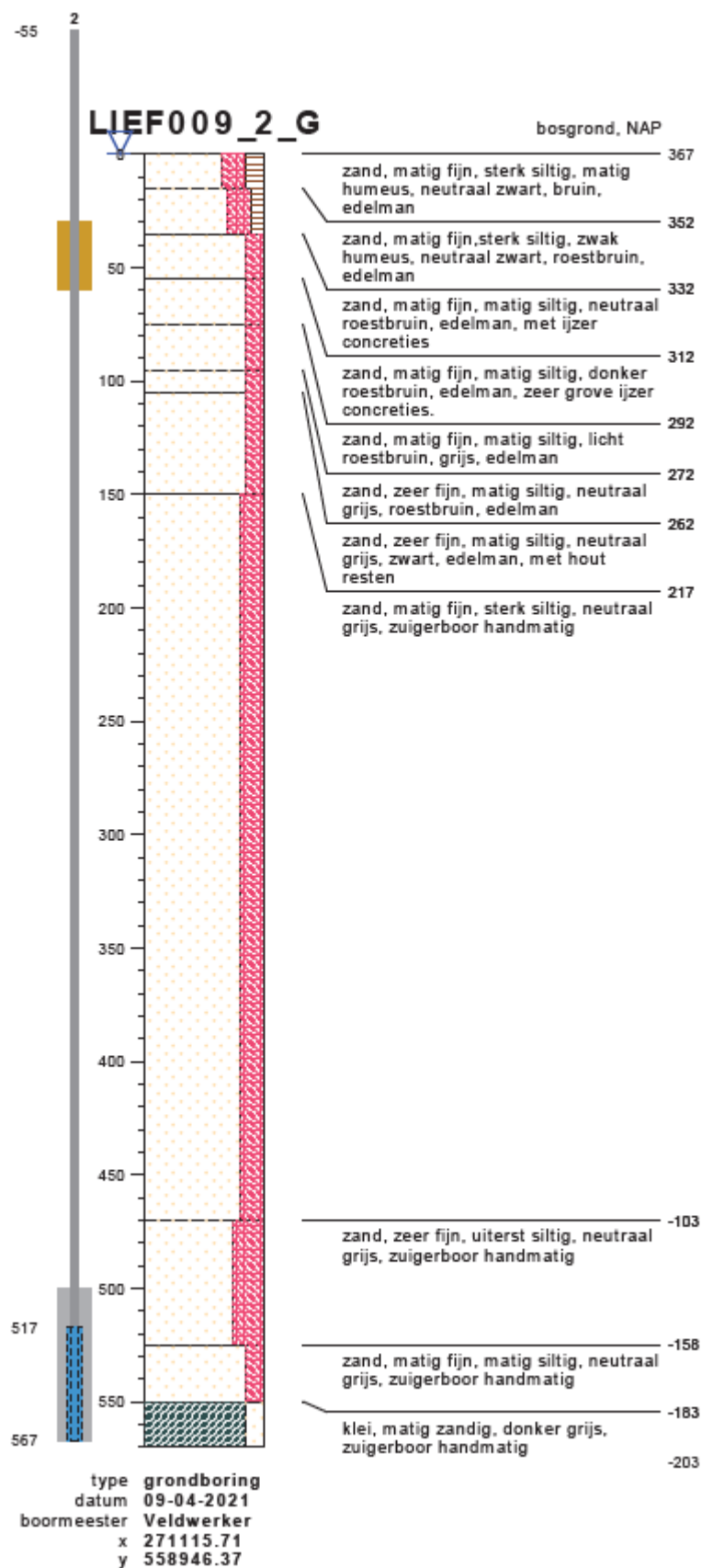


Elzenbroekbos zone tussen Adelaarsvarenbult en Paardenweide

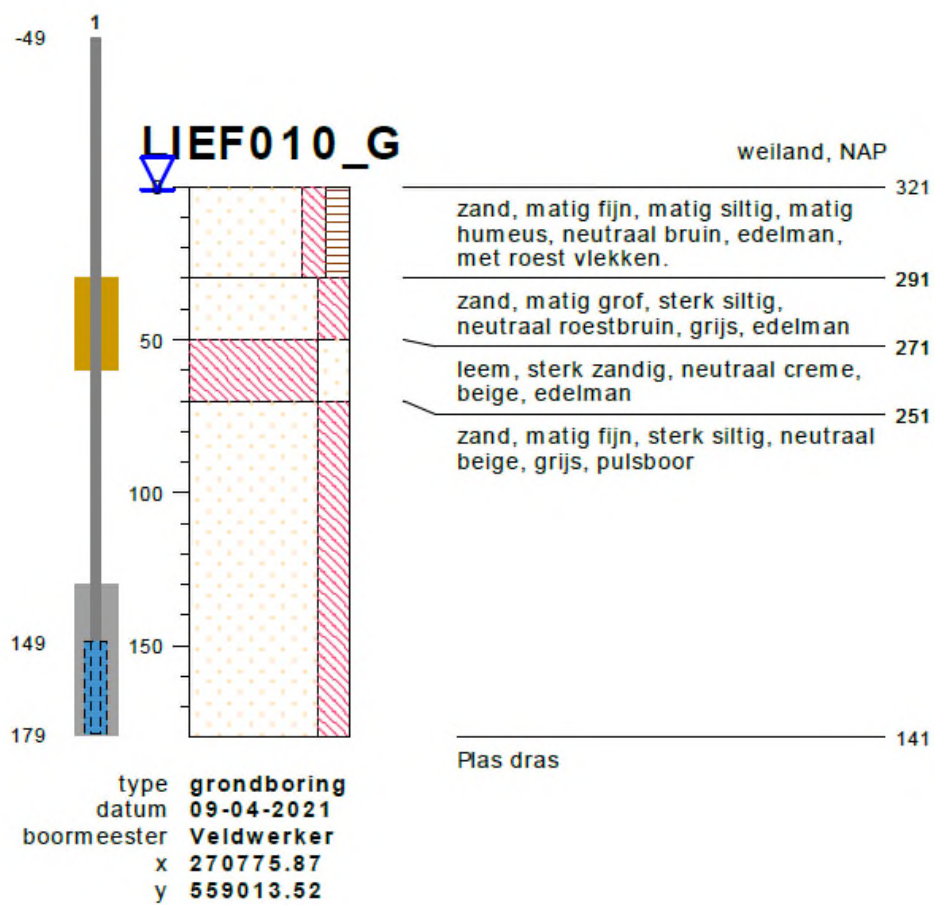




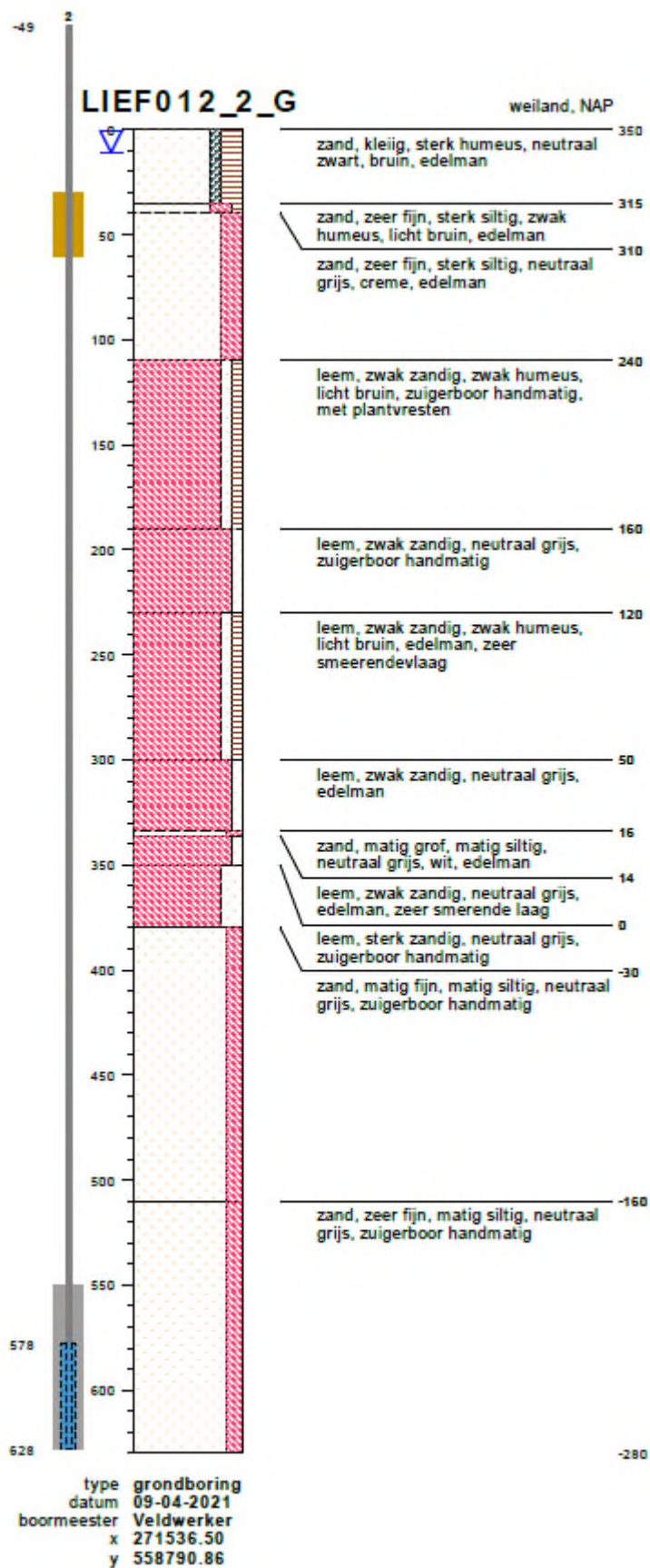
Schouwsloot zuidoostpunt Liefstingsbroek



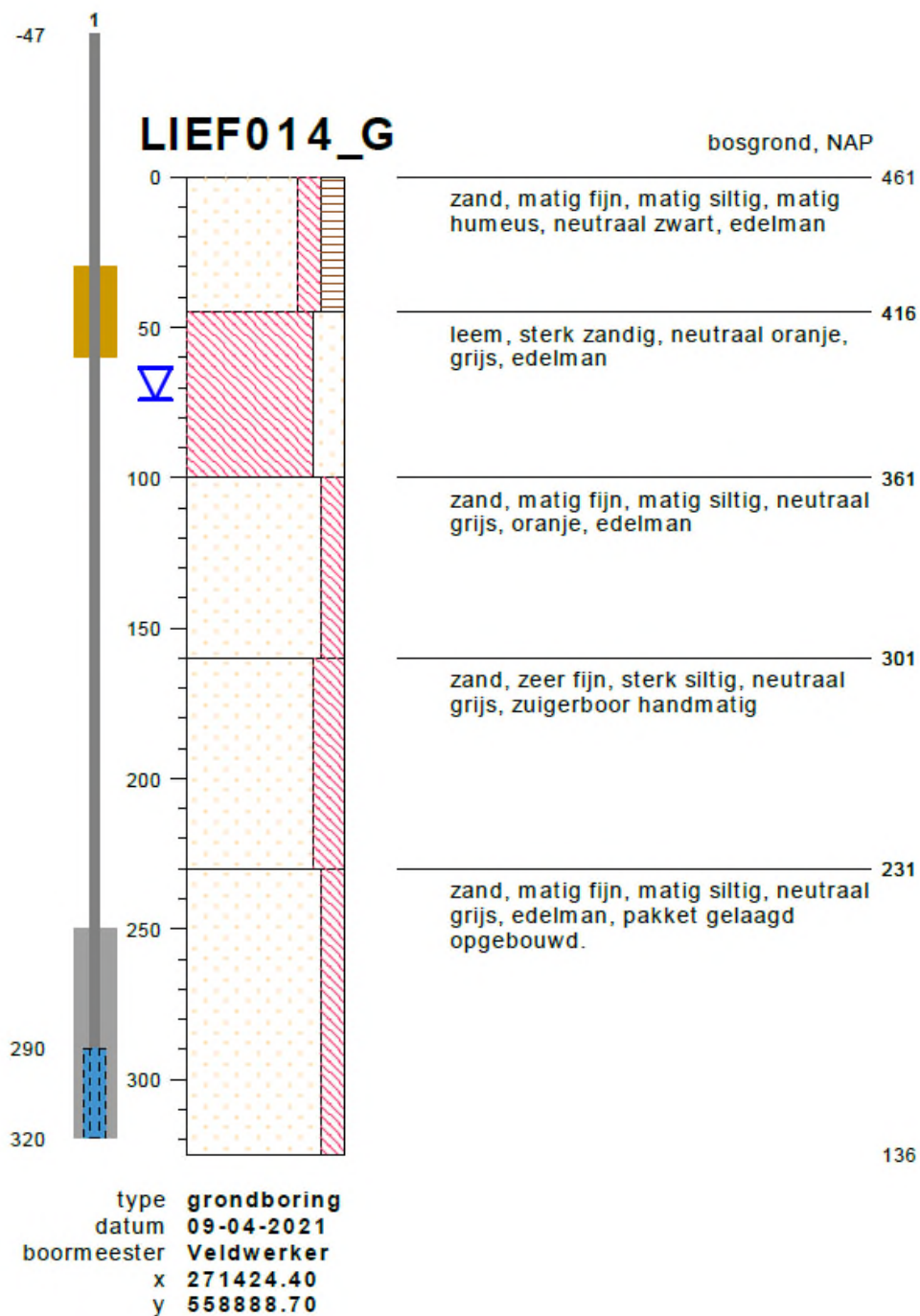
Eiken-haagbeukenbos in noordwest Liefstingsbroek



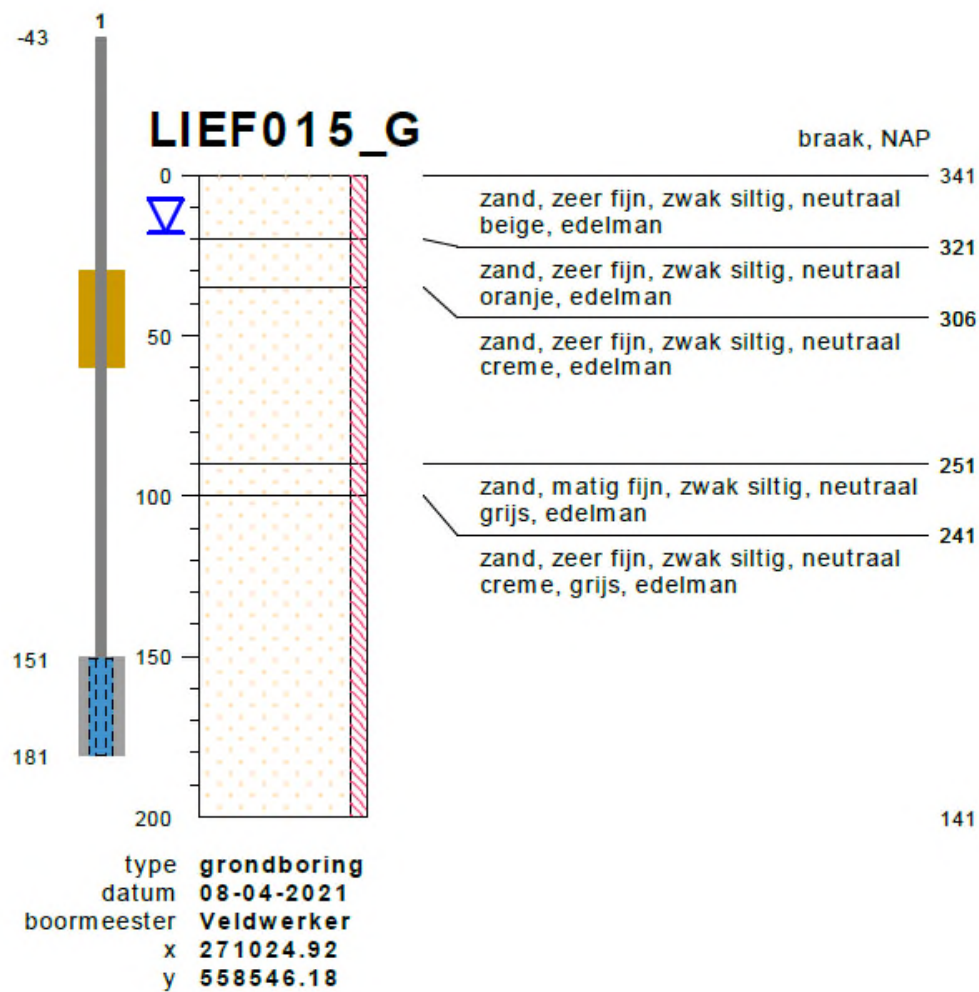
Ellersinghuizerveld west



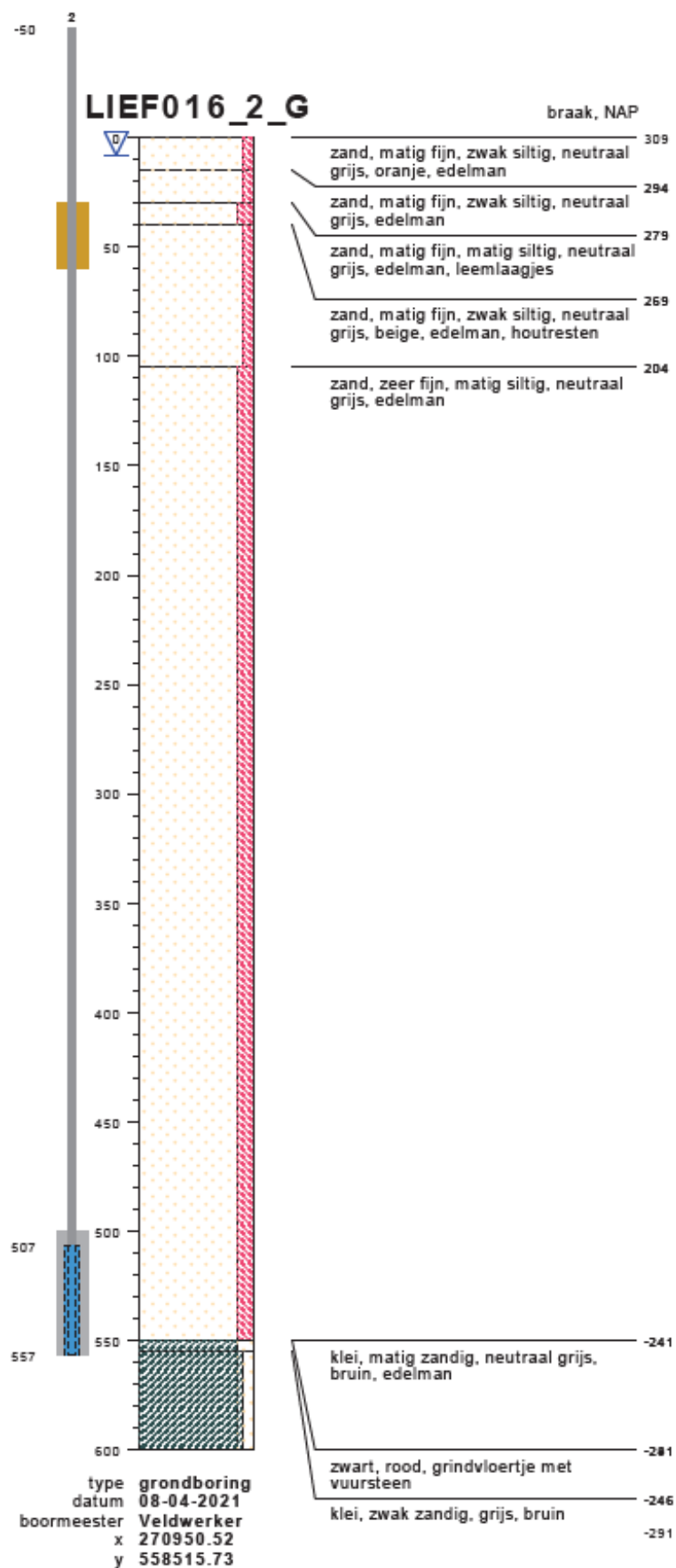
Beekdal noordoost



Bos natuuruitbreiding op dekzandrug ten noordoosten van Liefstingsbroek



Ellersinghuizerveld zuid (1)



Ellersinghuizerveld zuid (2)

IX Eigendomskaart Natuurmonumenten

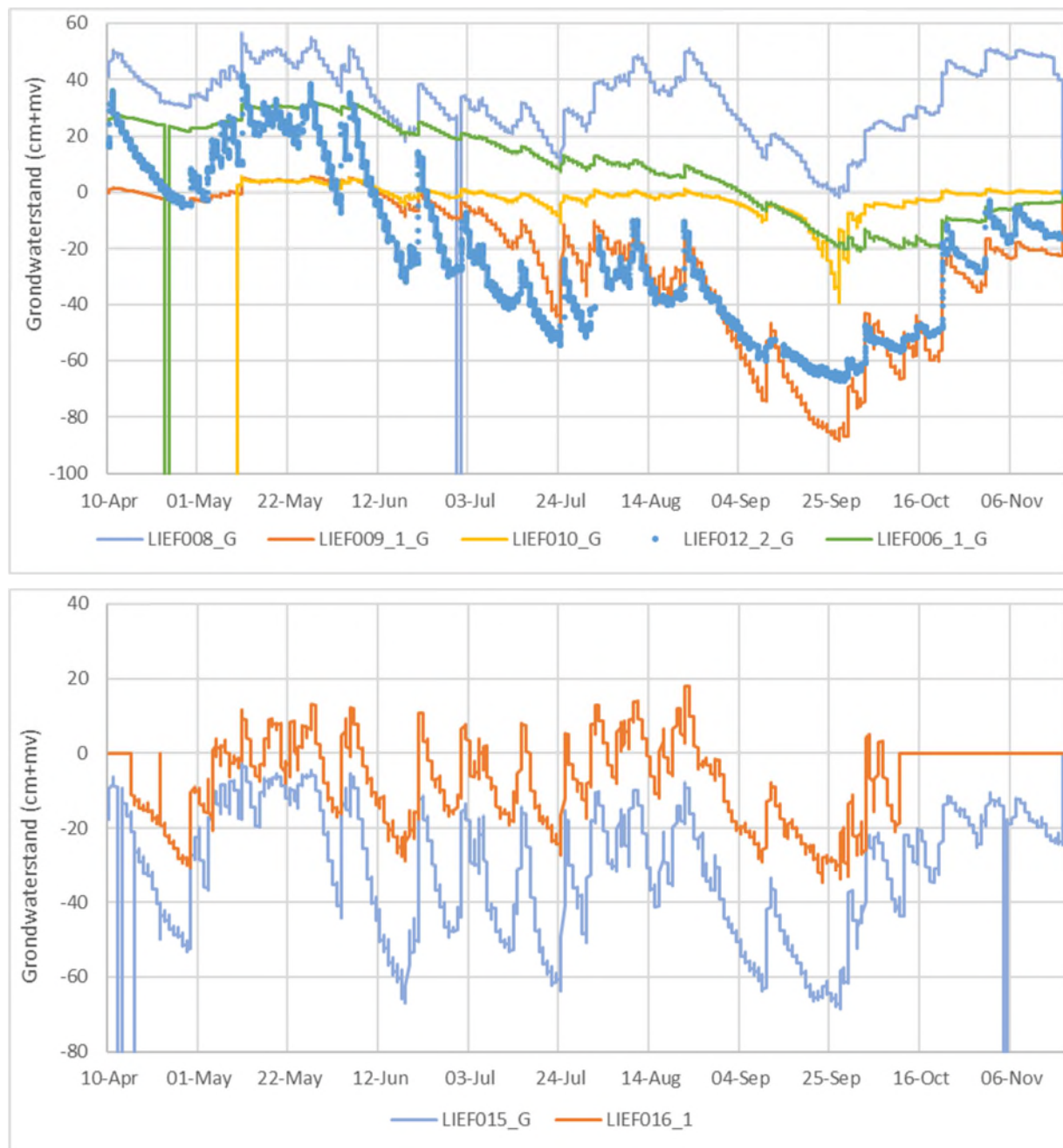


Geel gearceerde gebieden zijn eigendom van Natuurmonumenten.

X Tijdreeksen grondwaterstanden t.o.v. maaiveld

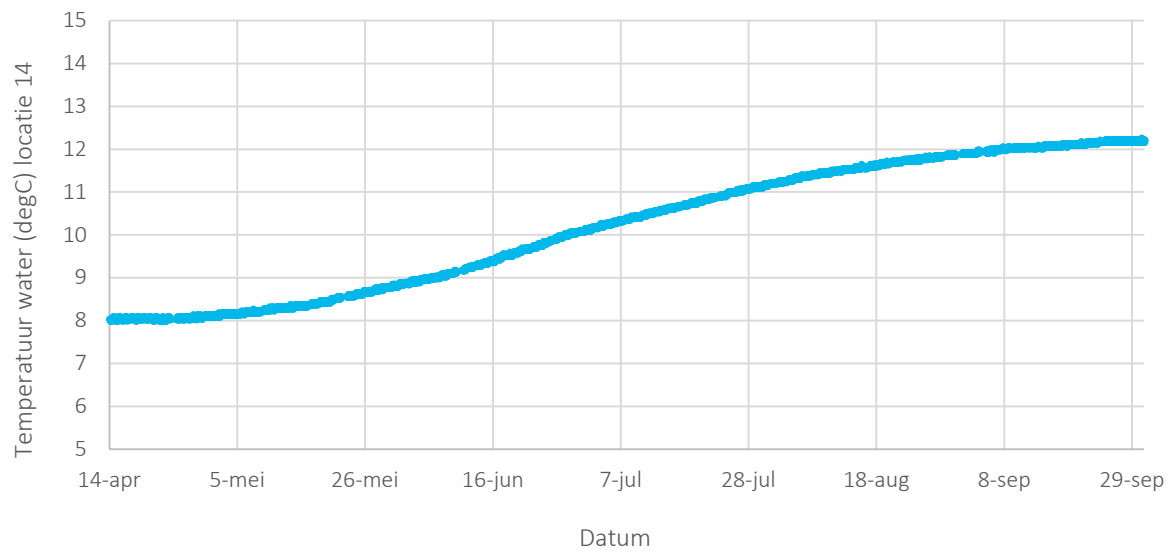


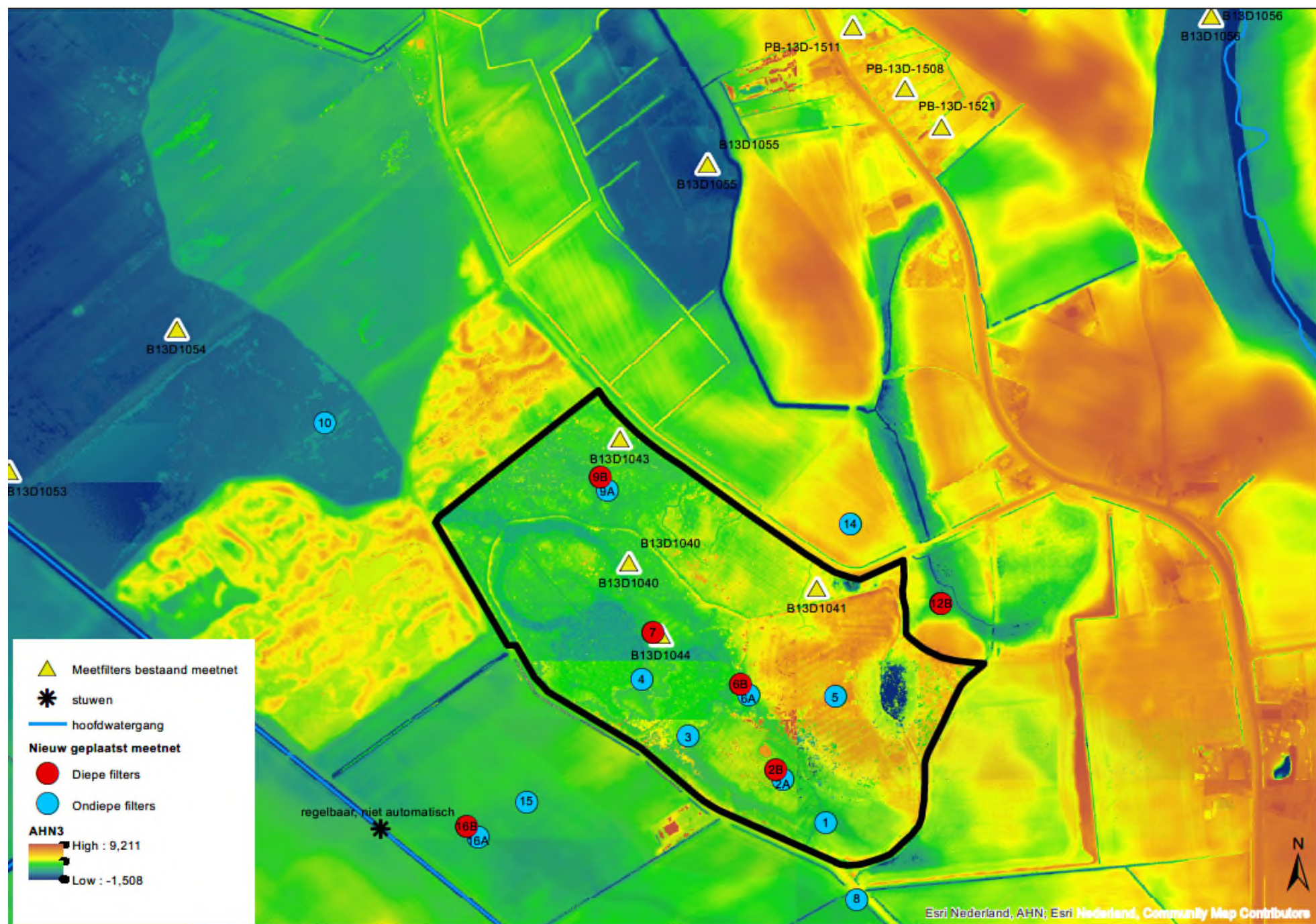
Figuur 10-1. Tijdreeksen van freatische grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld. Artefacten zijn niet verwijderd uit deze reeksen. De reeks van locatie 2 stopt rond 10 oktober.

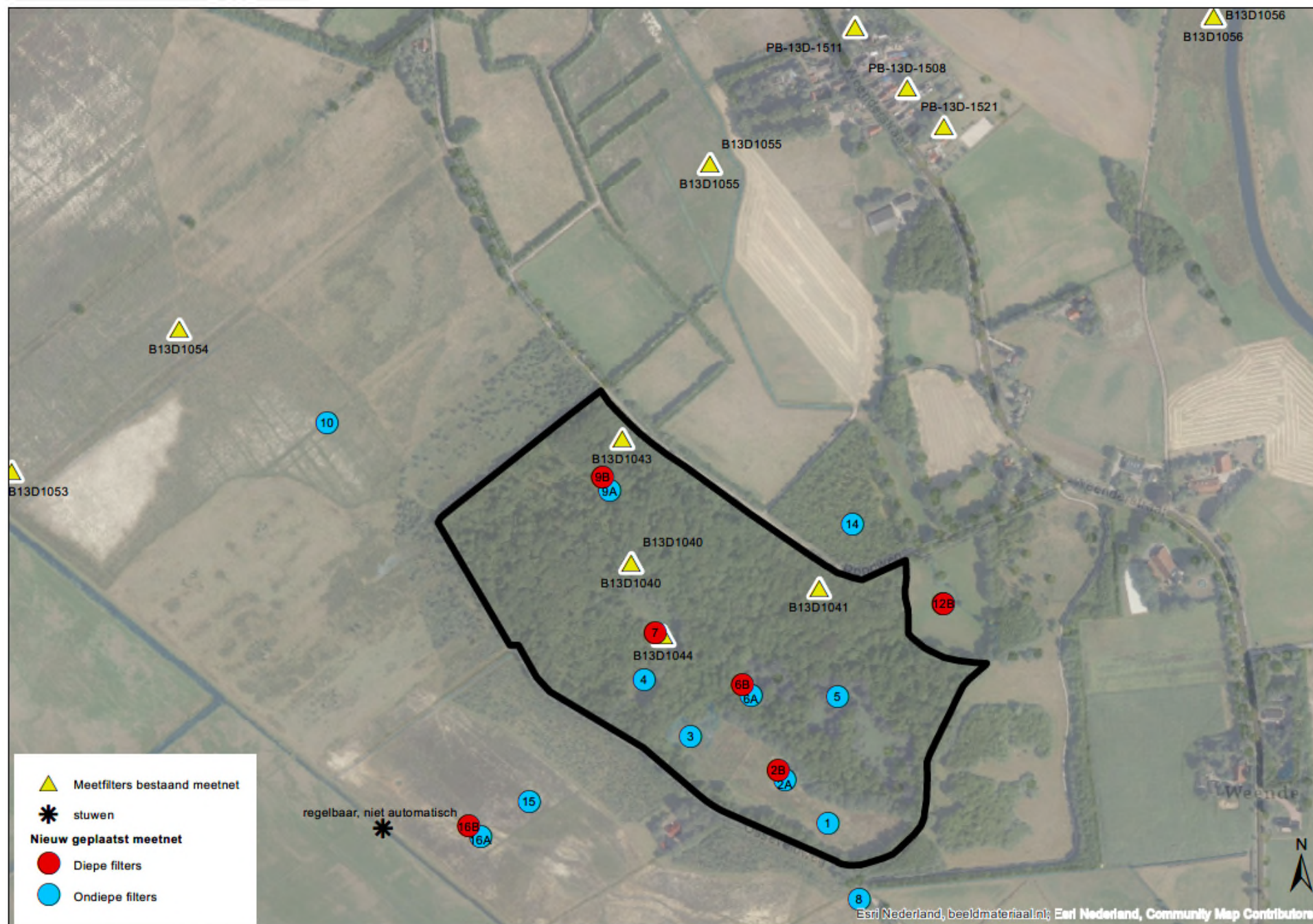


Vervolg Figuur 10-1. Tijdreeksen van freatische grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld. Artefacten zijn niet verwijderd uit deze reeksen. De reeks van locatie 16 stopt rond 10 oktober.

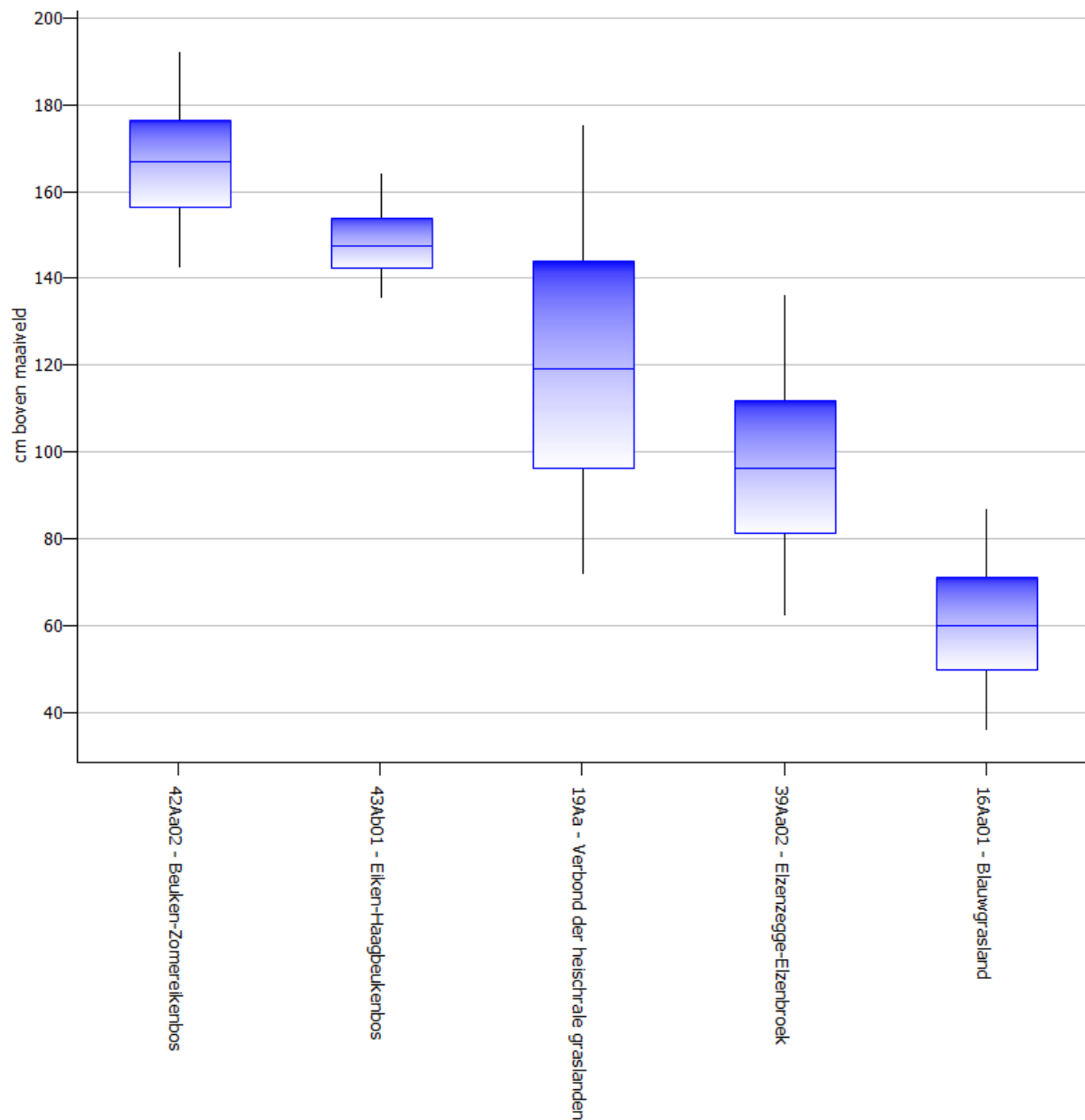
XI Tijdreeks temperatuur grondwater locatie 14



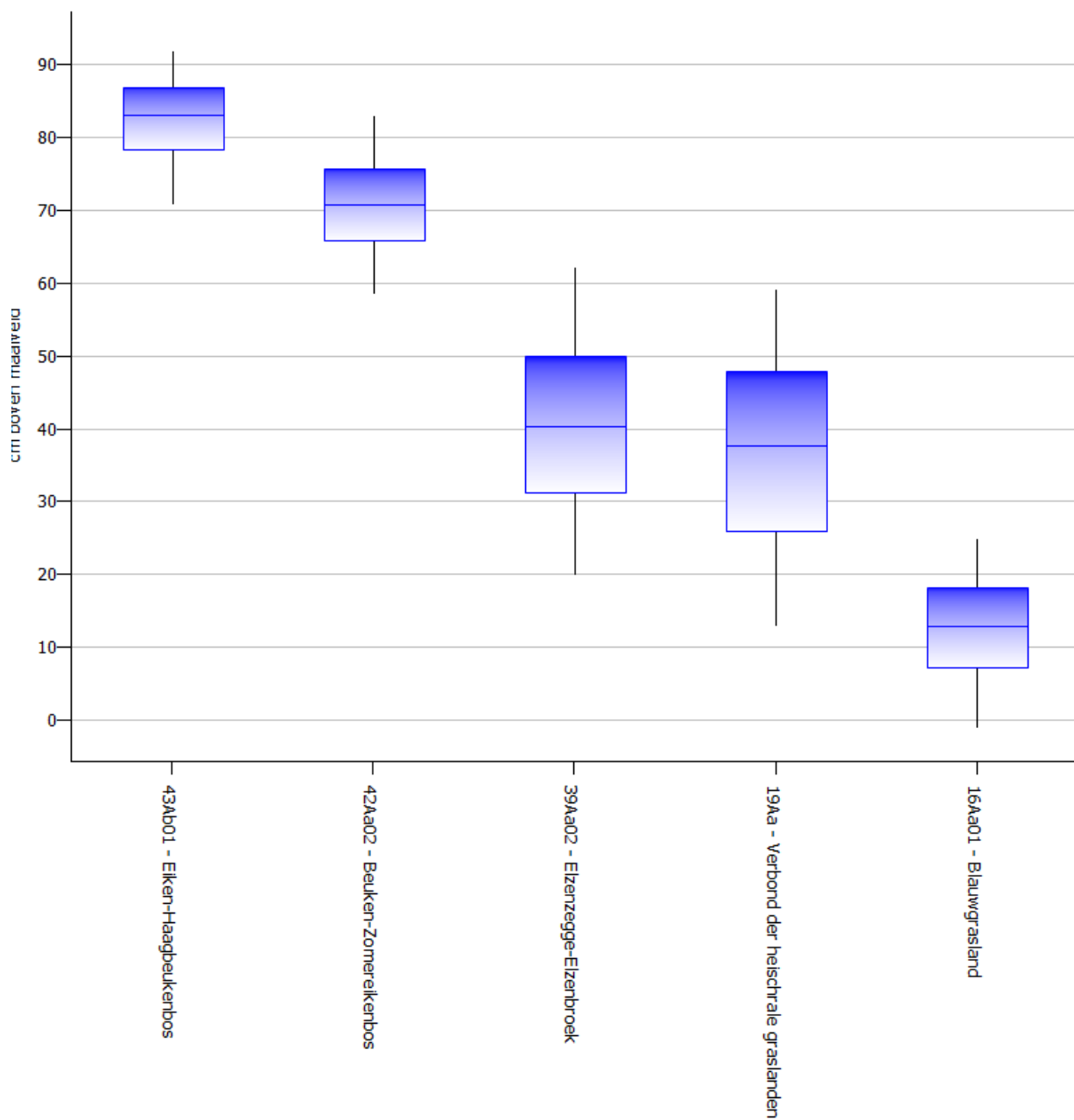




XII Grondwaterregime per habitattype

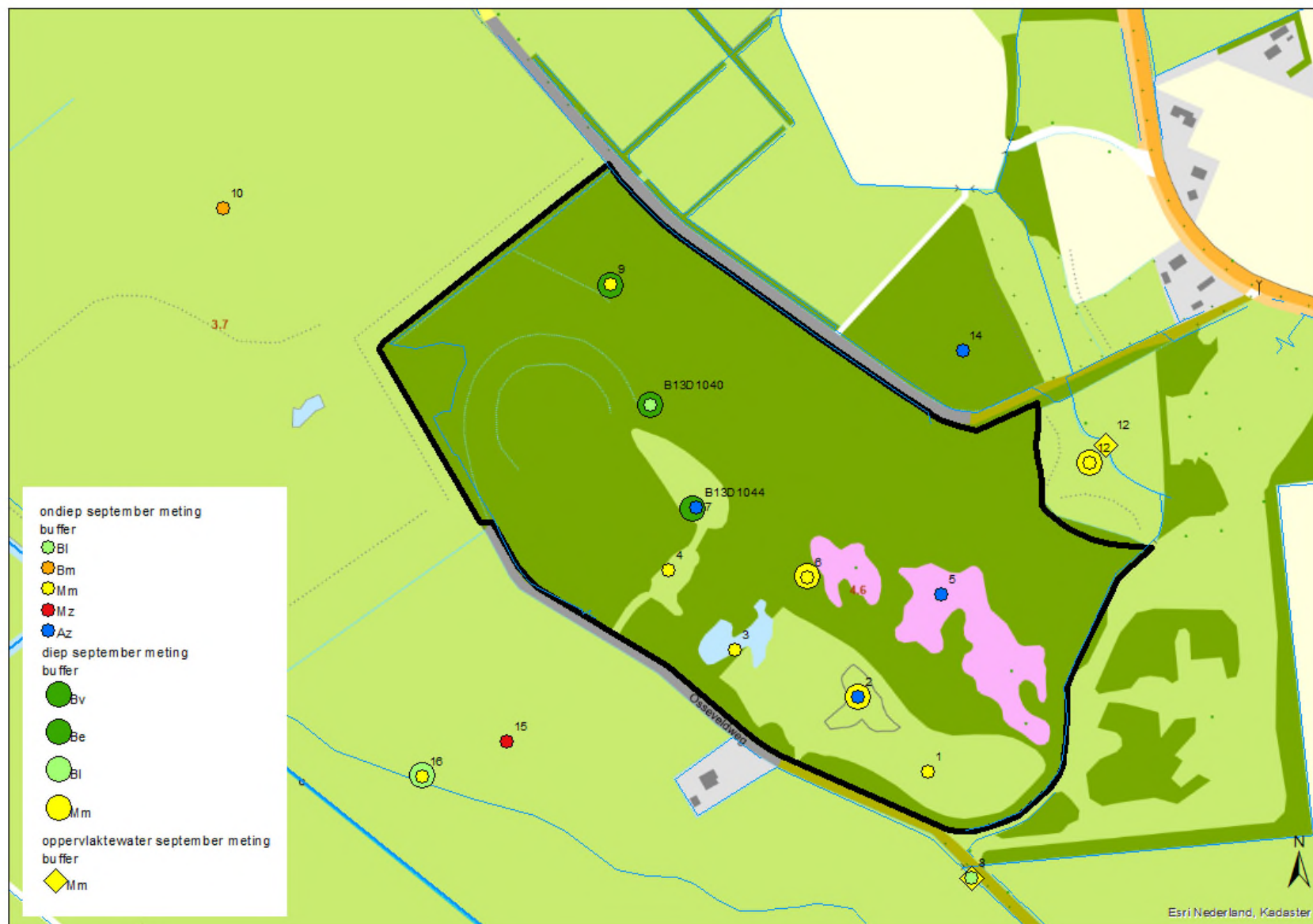


Figuur 10-2. Optimale GLG voor verschillende plantengemeenschappen representatief voor de beoogde habitattypen in het Liefstingsbroek. GLG's zijn afkomstig uit SynBioSys en gebaseerd op Wamelink e.a. (2005).

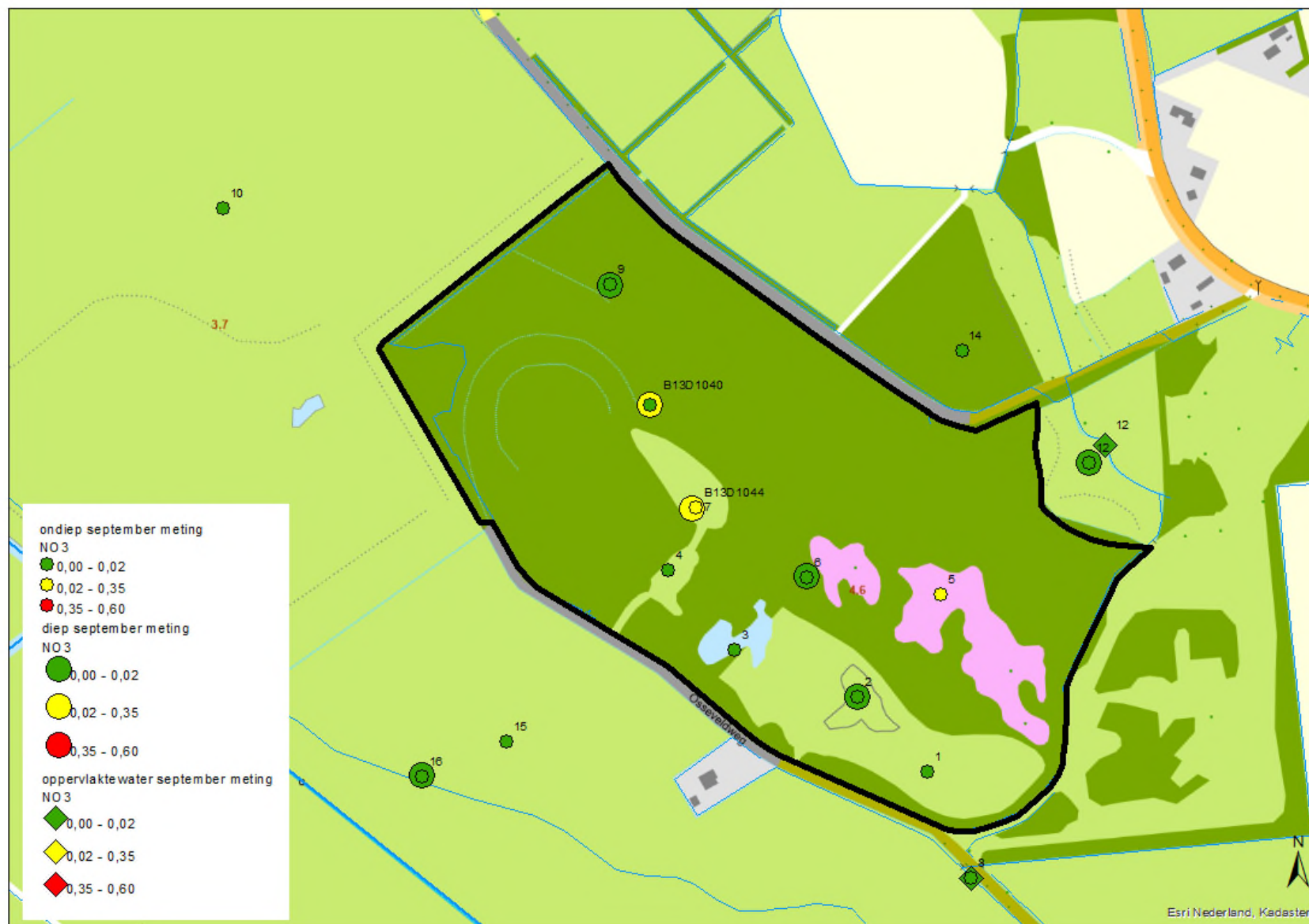


Figuur 10-3. GVG voor verschillende plantengemeenschappen representatief voor de beoogde habitattypen in het Liefstingsbroek. GVG's zijn afkomstig uit SynBioSys en gebaseerd op Wamelink e.a. (2005).

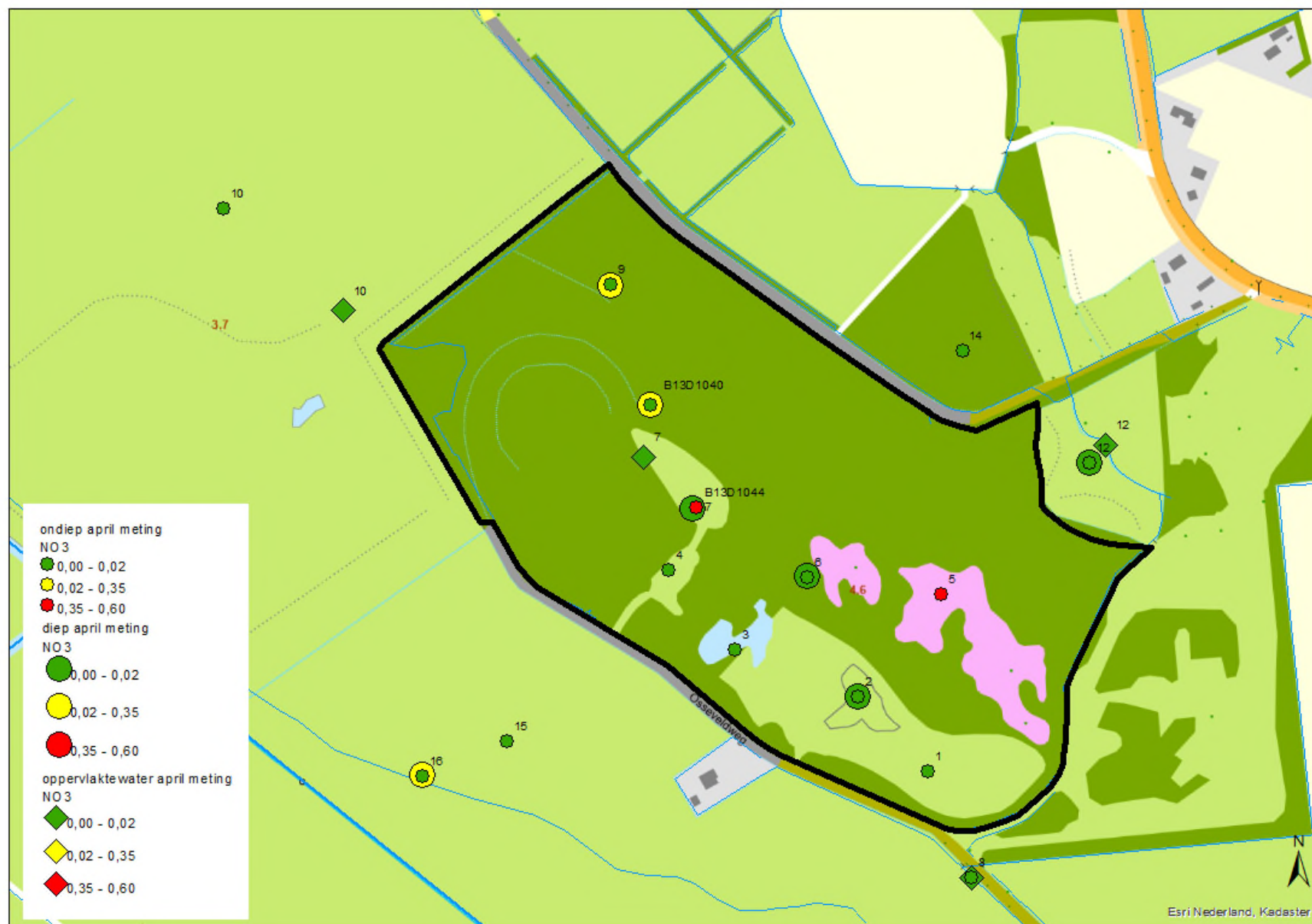
XIII Kaarten grondwaterchemie



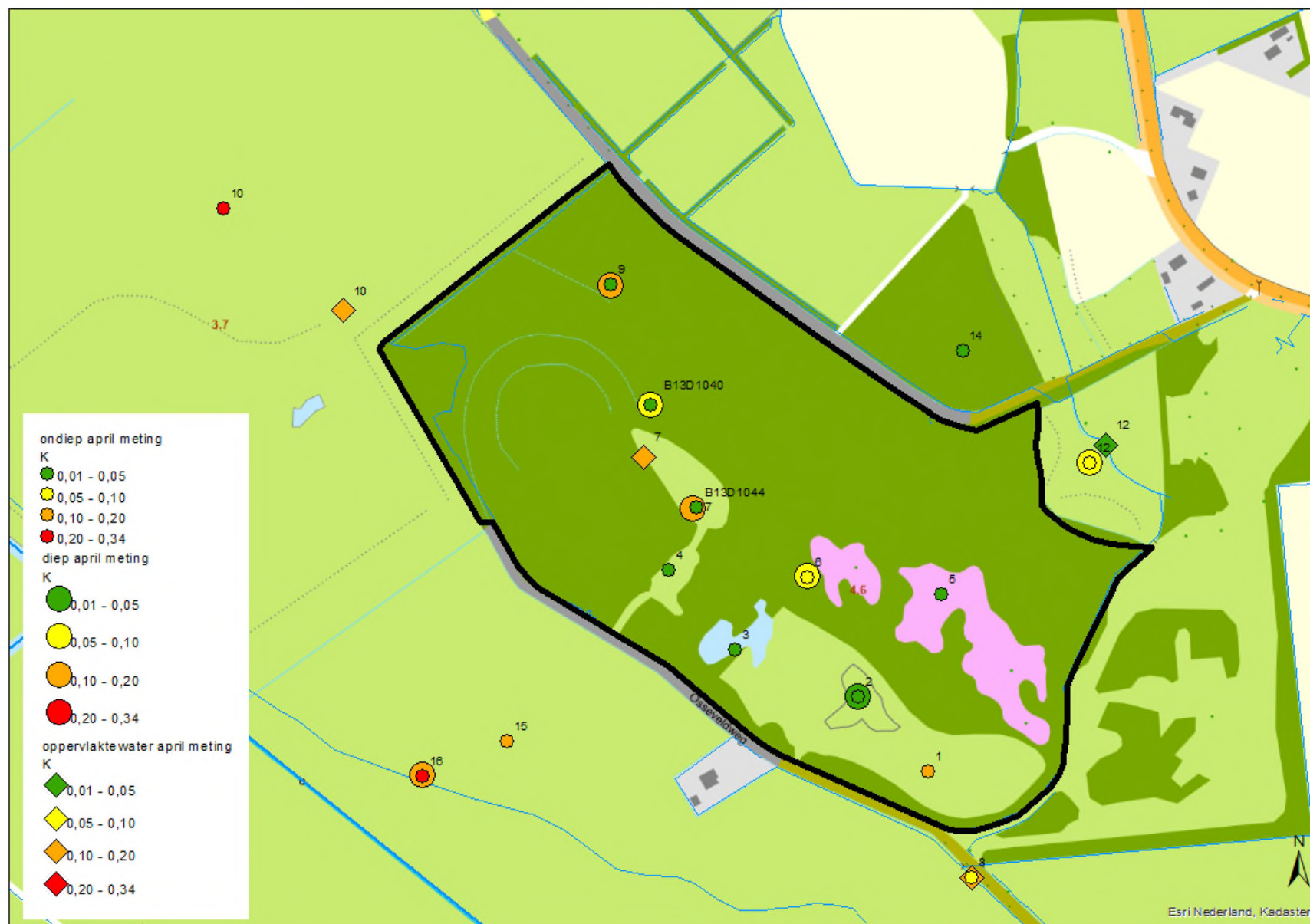
Figuur 10-4. Categorieën basenrijkdom van grondwater in september.



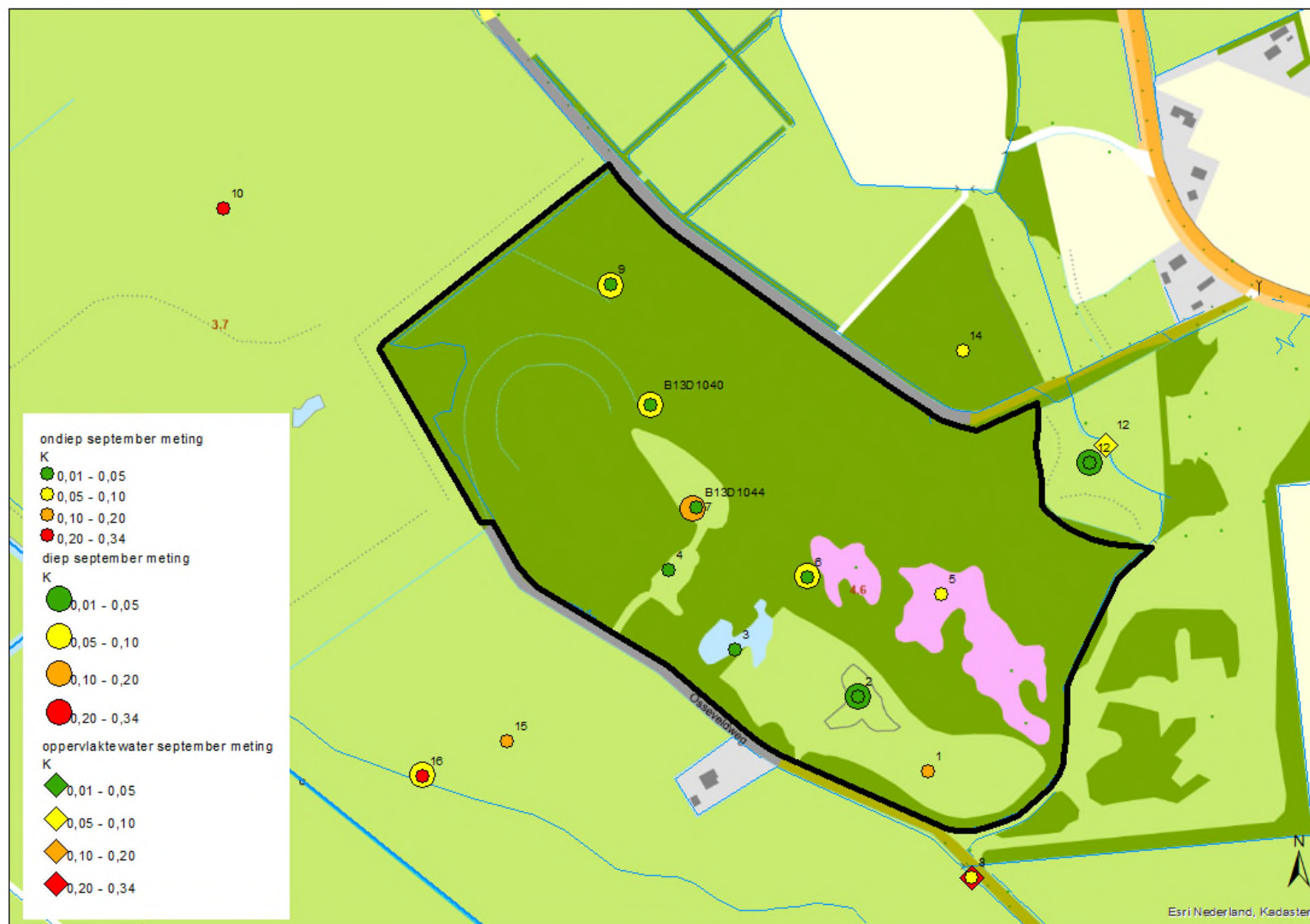
Figuur 10-5. Nitraatconcentratie (mmol/l) in grondwater in september.



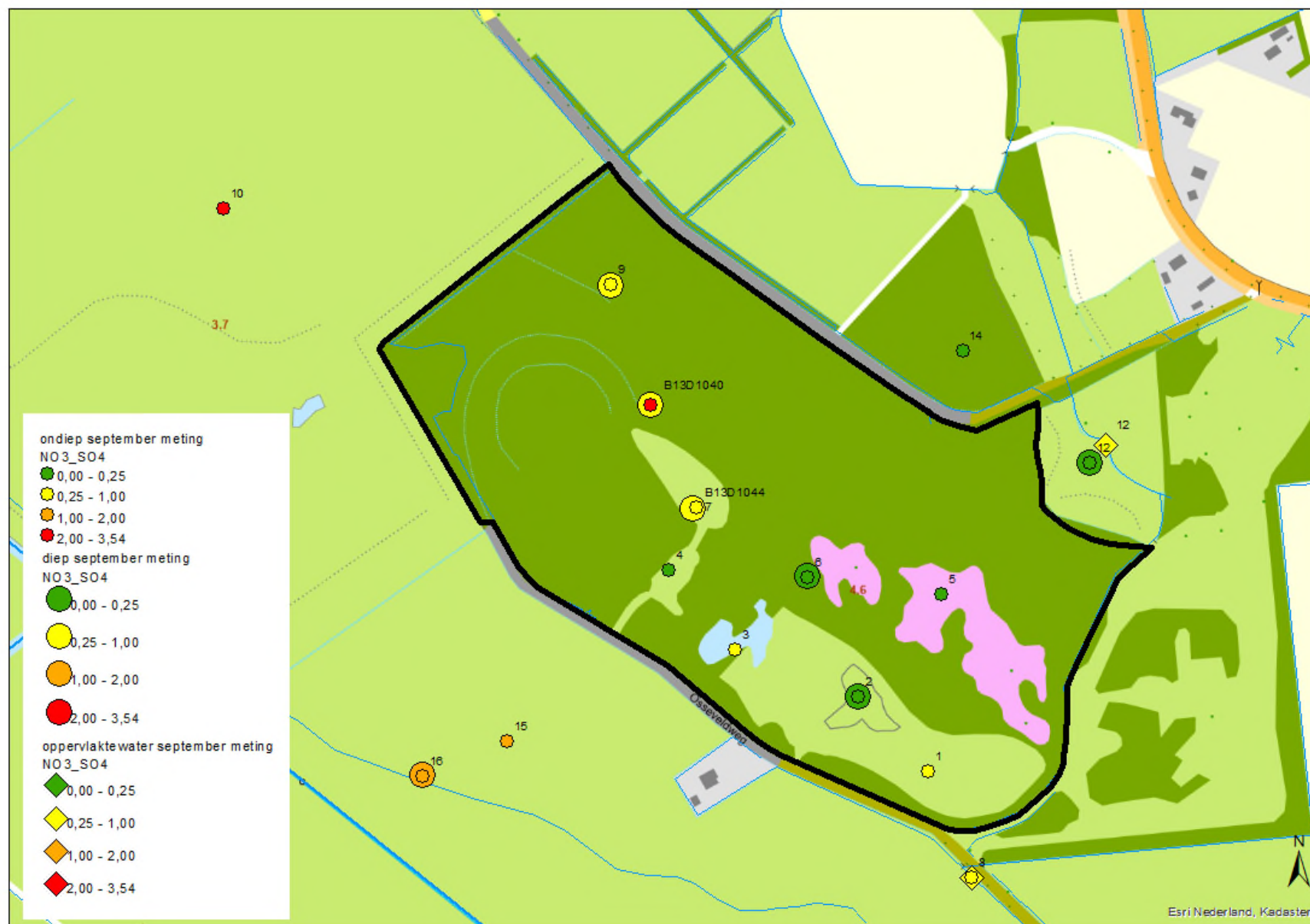
Figuur 10-6. Nitraatconcentratie (mmol/l) in grondwater in april.



Figuur 10-7. Kaliumconcentratie (mmol/l) in grondwater in april.



Figuur 10-8. Kaliumconcentratie (mmol/l) in grondwater in september.



Figuur 10-9. Totaalequivalenten van sulfaat en nitraat (meq/l) in grondwater in september.

XIV Berekening spreidingslengte

De freatische spreidingslengte is een maat voor de invloedsafstand waarop veranderingen in peil effect hebben op de freatische grondwaterstand. Deze maat heeft betrekking op het eerste watervoerende pakket. De spreidingslengte is gedefinieerd als 'de wortel uit het quotiënt van het doorlaatvermogen van een watervoerende laag en de som van de lekvermogens (reciproke van weerstand c) van begrenzend slecht doorlatende lagen' (Commissie voor Hydrologisch onderzoek, 1986) en berekend als:

$$\lambda = \sqrt{kD(c + c_d)}$$

Waarin k de doorlatendheid van het watervoerend pakket is (m/d), D de dikte van het watervoerend pakket (m), en c de weerstand van de toplaag (hier gelijk gesteld aan 0 d) en c_d de totale drainageweerstand (d). k en D zijn geschat op basis van ondergrondgegevens in REGIS II v2.2. De totale drainageweerstand bestaat uit vier componenten: de verticale (c_v), horizontale (c_h), radiale (c_r) en intreeweerstand (c_i):

$$c_d = c_v + c_h + c_r + c_i$$

De afzonderlijke weerstanden zijn, in navolging van {van der Gaast, 2003 #1670}, berekend als:

$$c_v = \frac{D_1^*}{k_{1v}}$$

$$c_h = \frac{L^2}{8 \sum k_h D}$$

$$c_r = L \Omega = L \left(\frac{1}{\pi k_r} \ln \frac{f D_r}{B} \right)$$

$$c_i = L \frac{c_{bs}}{B}$$

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gekozen parameterwaarden

PARAMETER	WAARDE	EENHEID	BESCHRIJVING
D₁*	8	m	Dikte watervoerend pakket
K_{1v}	8	m/d	Verticale doorlatendheid
L	750	m	Afstand tussen waterlopen
F	1.1	-	Geometriefactor (waarde gekozen voor tussenvorm brede ondiepe leidingen en situatie waarbij de natte omtrek van de waterloop een halve cirkel benadert)
B	8	m	Natte omtrek drain of sloot
C_{bs}	1	d	Intreeweerstand voor sloot (geschat op basis van aanname matige doorlatendheid en dunne weerstandslaag).
K_R	8	m/d	Radiale doorlatendheid (bij isotropie geldt $k_v = k_r$)
DR	8	m	Dikte

Op basis van bovenstaande vergelijking zijn onderstaande weerstanden berekend. Hieruit komt naar voren dat de horizontale weerstand het meerendeel van de totale weerstand voor zijn rekening neemt.

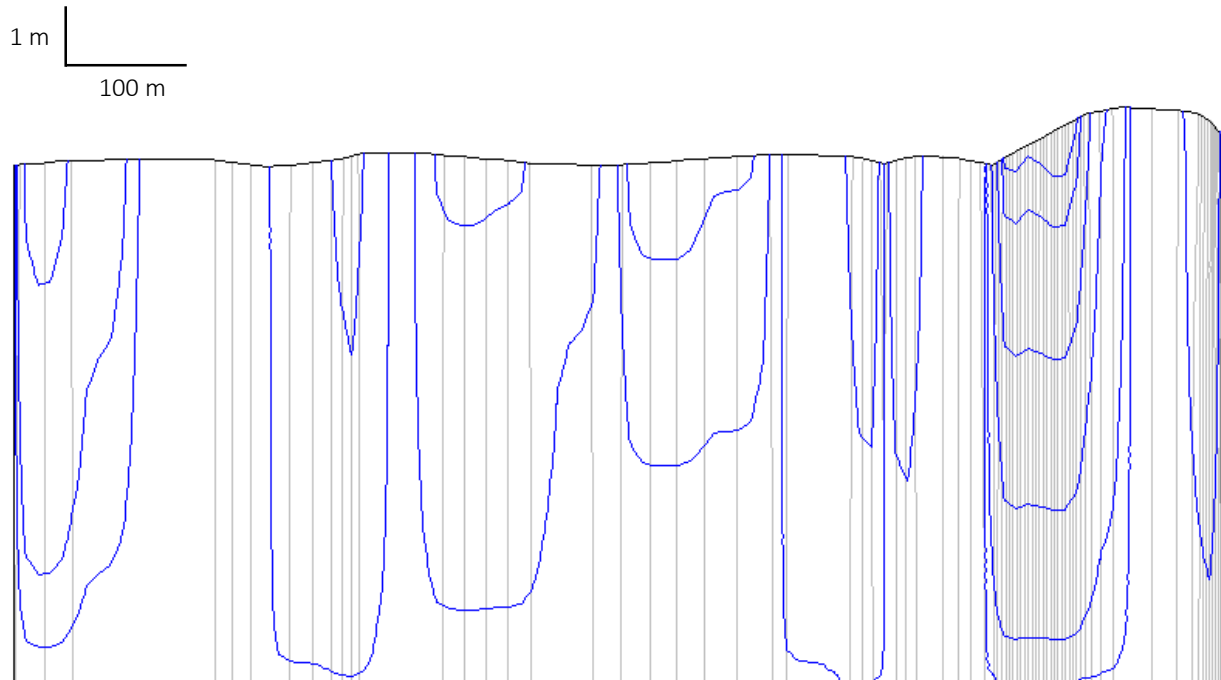
SYMBOOL	WEERSTAND	WAARDE (D)	RELATIEVE AANDEEL (%)
C _V	verticale weerstand	1	0.07
C _H	horizontale weerstand	1098	72.97
C _R	radiale weerstand	313	16.3
C _I	intreeweerstand	93.75	5.86
C _D	totale weerstand	1506	

XV Simulaties grondwaterstroming

Met het open source programma TopoDrive (Hsieh, 2001) voor stationaire grondwaterstroming is met een finite element benadering in combinatie met back/forward flow tracing bepaald hoe stroombanen zouden kunnen lopen langs een dwarsdoorsnede van de Adelaarsvarenbult tot de waterloop ten zuidwesten van het Liefstingsbroek. Dit geeft inzicht in het al dan niet optreden van lokale kwelstromen en een indicatie voor reistijden.

Als invoer is hiervoor het verloop van het freatisch vlak stijghoogte als randvoorwaarde benodigd, evenals de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond. In deze benadering wordt aangenomen dat er geen grondwaterstroming langs de randen van het modeldomein optreedt. In het geval van het Liefstingsbroek is dat het geval: de waterloop en Adelaarsvarenbult fungeren als waterscheiding en van de onderrand wordt aangenomen dat de potklei voor een verwaarloosbare aanvoer van watervoerende pakketten van onderaf plaatsvindt.

Op basis van de geohydrologische systeembeschrijving is voor het freatisch pakket, bestaande uit de Formatie van Bortel, gebruik gemaakt van een doorlatendheid van 10 m/d, een dikte van 8 m, en een porositeit van 30%. De simulaties zijn gebaseerd op een hypothetisch transect vanaf de Adelaarsvarenbult, via de Paardeweide naar het Ellersinghuizerveld naar de waterloop ten zuidoosten van het Liefstingsbroek. Het resultaat is weergegeven in Figuur 10-10. De simulaties dienen om globaal inzicht te krijgen in hoe grondwaterstroming verloopt met enige ruimtelijke variatie in stijghoogte, en in hoeverre lokale depressies in het freatisch vlak doorwerken in grondwaterstroming en reistijden.



Figuur 10-10. Stationaire stroombanen voor een transect van de waterloop ten zuidwesten van het Liefstingsbroek (links) naar de Adelaarsvarenbult (rechts). Het stroomdomein beslaat 1000 m in horizontale richting en 8 m verticaal. De blauwe lijnen de stroombanen, de verticale lijnen de isohypsen. Gegeneerd met Topodrive.