



Landschapsecologische Systemanalyse (LESA) Stroomgebied Boven Slinge en bovenlopen Keizersbeek

Iwema, J., Woolderink, H.A.G., Harkema, T.T.L., Verdonshot, R.C.M., van Delft, S.P.J.,
Veldhuizen, A.A., Maas, G.J.



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Landschapsecologische Systemanalyse (LESA) Stroomgebied Boven Slinge en bovenlopen Keizersbeek

Iwema, J., Woolderink, H.A.G., Harkema, T.T.L., Verdonschot, R.C.M., van Delft, S.P.J., Veldhuizen, A.A.,
Maas, G.J.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, mei 2024

Gereviewd door:

Michael van Buren, onderzoeker en landschapsarchitect (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack, teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3345

ISSN 1566-7197

Iwema, J., Woolderink, H.A.G., Harkema, T.T.L., Verdonshot, R.C.M., van Delft, S.P.J., Veldhuizen, A.A., Maas, G.J., 2024. *Landschapsecologische Systemanalyse (LESA) Stroomgebied Boven Slinge en bovenlopen Keizersbeek*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3345. 224 blz.; 63 fig.; 21 tab.; 58 ref.

Waterschap Rijn en IJssel en de Provincie Gelderland streven naar hoogwaardige natuur in en langs de Winterswijkse beken, zoals onder andere verankerd in de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000. Ondanks reeds genomen maatregelen zijn er nog meerdere knelpunten op te lossen, zoals een verstoorde afvoerdynamiek, achterblijvende waterkwaliteit en droogteproblematiek. Zonder ingrijpen kunnen deze knelpunten verergeren als gevolg van klimaatverandering. Daarom is de uitdaging een robuuster, gedempt watersysteem te creëren, dat minder gevoelig is voor weersextremen met een constantere afvoer en voldoende grondwater voor natuur, landbouw en andere gebruiksfuncties. Met deze Landschapsecologische systemanalyse hebben wij voor het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek onderzocht hoe een robuuster watersysteem bereikt kan worden, met zo min mogelijk (kostbare) technische voorzieningen en kunstwerken en gebruikmakend van de natuurlijke gebiedskenmerken en processen. Uit de resultaten bleek dat grootschalige en langdurige aanpassingen in het watersysteem en in het landgebruik nodig zijn. Met name moet water meer worden vastgehouden in brongebieden en grondwaterstanden moeten omhoog worden gebracht, bijvoorbeeld door het verwijderen van drainerende structuren. Daarnaast zijn aanpassingen nodig om de afspoeling te verminderen van nutriënten en giftige stoffen naar de beeksystemen en om de watertemperatuur minder te laten toenemen. Het resultaat van deze studie kan dienen als 'bouwsteen voor natuur en waterbeheer' in een integraal afwegings- of gebiedsproces.

Regional Water Authority Rijn en IJssel and Province of Gelderland aim for high-quality nature in and along the Winterswijkse beken (Brooks). Goals have been established in the Water Framework Directive and Natura 2000. Despite measures taken already, issues remain, including disturbed water discharge dynamics, limited water quality, and drought. Without measures, these issues can deteriorate substantially in the future. Therefore, the key challenge is to create a more robust, damped system, that is less susceptible to weather extremes. Such system should provide a less temporally variable discharge and sufficient groundwater for nature, agriculture, and other water uses. With the Landscape-ecological system analysis (LES) presented in this report, we have investigated how a more robust water system could be achieved, while taking expensive technical solutions as little as possible, while using the natural properties and processes of the system. The results showed that large-scale, and longlasting measures in both the water system and land use are needed. Most importantly, water needs to be retained more in the upstream source areas. Moreover, groundwater levels need to be elevated. One measure to achieve this is to remove drainage systems. To reduce nutrient and pollutant flux to the brooks and to limit surface water temperature increase, measures are needed too. The outcomes of this research can be used as a building block in integrated stakeholder processes.

Trefwoorden: Landschapsecologische Systemanalyse (LESA), geomorfologie, hydrologie, aquatische ecologie, droogte, waterkwaliteit, klimaatverandering

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/657056> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research.
Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3345 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Natasha Sena, Clasp Visuals

Inhoud

Verantwoording	7
Woord vooraf	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	15
1.1 Inleidende gebiedsbeschrijving Boven-Slinge en Bovenlopen Keizersbeek	17
1.2 Landschapsecologische systeemanalyse (LESA)	18
2 Huidige landschapsecologische relaties	23
2.1 Beschrijving natuurlijk basissysteem	23
2.1.1 Geologie	23
2.1.2 Geohydrologie	28
2.1.3 Geomorfologie, hydromorfologie en deelgebieden	29
2.1.4 Landschappelijke Bodemkaart van het studiegebied	30
2.1.5 Deelgebied 1: Brongebied van de Boven-Slinge in Duitsland	33
2.1.6 Deelgebied 2: Het vereffeningsrestplateau	36
2.1.7 Deelgebied 3: Dekzandrelief in oude erosiegeul	39
2.1.8 Deelgebied 4: Aftakking naar Keizersbeek	42
2.2 Achtergrondsituatie landnatuur	45
2.2.1 Historische ecologie	45
2.2.2 Referentiehydrologie	50
2.2.3 Landnatuur in referentiesituatie	54
2.3 Achtergrondsituatie waternatuur	60
2.3.1 Hydromorfologische systeembeschrijving oorspronkelijke watersystemen	60
2.3.2 Fysisch-chemische referentie	62
2.3.3 Biologische referentie	63
2.4 Effecten van menselijk handelen	64
2.4.1 Ontginningen en aanpassingen watersysteem	64
2.4.2 Landnatuur	71
2.4.3 Waternatuur	79
3 Effecten van klimaatverandering op land- en waternatuur	86
3.1 Effecten klimaatverandering op hydrologie	86
3.2 Effecten veranderende grond- en oppervlaktewaterdynamiek op de beekmorfologie	89
3.3 Effecten veranderende grondwaterdynamiek op landnatuur	90
3.3.1 Effect op Realisatiekansen beheertypen	90
3.3.2 Effect van weersextremen op realisatiekansen	94
3.4 Effecten veranderend klimaat op de waternatuur	97
4 Maatregeleffecten bij klimaatscenario's	100
4.1 Maatregelen per categorie van volgordelijkheid	101
4.2 Ondoorlatende plateaus en hellingen	105
4.2.1 Uit- en afspoeling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw.	105
4.2.2 Oppervlakkige afvoer op de hellingen remmen	105
4.2.3 Water langer vasthouden op landbouwpercelen en in bosgebieden op de plateaus om oppervlakkige afvoer te remmen en verdamping te reduceren.	106
4.3 Plateaus met een doorlatende bovengrond	107

4.3.1	Uit- en afspoeling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw.	107
4.3.2	Water langer vasthouden op landbouwpercelen en in bosgebieden op de plateaus.	107
4.4	Beekdalzones, doorlatende vlaktes en venen	110
4.4.1	Uit- en afspoeling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw	110
4.4.2	Beperking ontwatering in gedraineerde laagtes en beekdalen	110
4.4.3	Periodieke inundatie beekdalen als gevolg van aanpassingen aan het dwarsprofiel	111
4.4.4	Beschaduwning beektrajecten in open landschap door bebossen beekdalzone	111
4.4.5	Waterkwaliteitsverbetering beken door aanpak puntbronnen.	112
4.5	Beoordeling eerder voorgestelde oplossingsrichtingen en vergelijking met de voorgestelde maatregelen	112
4.6	Noodzaak en urgentie van de te treffen maatregelen	113
5	Conclusies	115
	Literatuur	119
Bijlage 1	Methode Landschappelijke Bodemkaart en realisatiekansen en knelpunten voor land- en waternatuur	122
Bijlage 2	Technische tekeningen en kaarten Geologie, geomorfologie en landschappelijke bodemkaart	133
Bijlage 3	Historische ecologie en tussenuitkomsten realisatiekansen referentiesituatie	138
Bijlage 4	Ecologische toestand waternatuur	157
Bijlage 5	Realisatiekansen Huidige situatie	177
Bijlage 6	Verandering realisatiekansen huidig t.o.v. referentie	185
Bijlage 7	Kwalificerende soorten	194
Bijlage 8	Veranderingen realisatiekans per klimaatscenario	210
Bijlage 9	Waterbalans	217
Bijlage 10	Hydromorfologie	222

Verantwoording

Rapport: 3345

Projectnummer: 5200047483

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Ontwerpend onderzoek en Landschapsarchitectuur

naam: Michael van Buuren

datum: 6 november 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 22 december 2023

Woord vooraf

Bij het project 'Landschapsecologische Systemanalyse (LESA) Stroomgebied Boven-Slinge en bovenlopen Keizersbeek' voor Waterschap Rijn en IJssel, is een begeleidingscommissie betrokken geweest. De leden van deze commissie waren:

- Gert-Jan Braas (Waterschap Rijn en IJssel, voorzitter)
- Mathijs de Vos (Waterschap Rijn en IJssel)
- Wouter Akkerman (Waterschap Rijn en IJssel)
- Twan van Rosmalen (Waterschap Rijn en IJssel)
- Vincent van der Tuin (Waterschap Rijn en IJssel)
- Arnoud Soetens (Provincie Gelderland)
- Harry Huijskes (Provincie Gelderland)
- Joris Ernst (Provincie Gelderland)
- Jan Neefjes (Bureau Overland)
- Rob van Dongen (Staatsbosbeheer)

De auteurs bedanken de begeleidingscommissie voor haar werk.

Samenvatting

Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) en de Provincie Gelderland streven naar hoogwaardige natuur in en langs de Winterswijkse beken verankerd in de Kaderrichtlijn Water, de HEN/SED-opgaven, het Gelders Natuur Netwerk (GNN) en Natura 2000-gebied Bekendelle ([Bekendelle | Natura 2000](#)). Ondanks reeds genomen maatregelen zijn er nog meerdere knelpunten op te lossen. Voorbeelden hiervan zijn ten eerste een verstoorde afvoerdynamiek, met droogval van de beken en diepe insnijding van de beekbedding tot gevolg, die weer doorwerkt in verdroogde beekbegeleidende bossen en afnemende kenmerkende terrestrische (ofwel land)vegetatie en ten tweede een achterblijvende waterkwaliteit, met bijvoorbeeld een hoog biologisch en chemisch zuurstofverbruik (BZV/CZV) en hoge stikstofconcentraties (deels uit Duitsland). Vanwege de droogteproblematiek streeft WRIJ naar meer berging van neerslag in de bodem. Door klimaatverandering is de verwachting dat op de hogere zandgronden vaker perioden van droogte gaan optreden, die zullen leiden tot droogteschade aan natuur en landbouw. Daarnaast zullen piekbuien naar verwachting vaker zorgen voor lokale wateroverlast.

De opgaven vanuit klimaatperspectief en ecologie zijn sterk met elkaar verweven en vragen om een integrale aanpak. De uitdaging is om een *robuuster, gedempt watersysteem* te creëren, dat minder gevoelig is voor weersextremen, een hogere basisafvoer heeft, afgevlakte afvoerpieken kent en tot ver in het groeiseizoen voldoende grondwater voor natuur, landbouw en andere gebruiksfuncties levert. Door aan te sluiten op de natuurlijke gebiedskenmerken (de bodemopbouw, watersystemen en ecologie) en de regulerende werking van natuurlijke processen, kunnen (kostbare) technische voorzieningen en kunstwerken zo veel mogelijk achterwege gelaten worden. Daarom hebben de Provincie Gelderland en WRIJ aan WUR gevraagd een *Landschapsecologische systeemanalyse (LESA)* uit te voeren, waarvan het resultaat kan dienen als 'bouwsteen voor natuur en waterbeheer' in een integraal afwegings- of gebiedsproces. De LESA richt zich specifiek op de werking van het watersysteem en op de aan het watersysteem gerelateerde natuur, zoals natuur in of langs beekdalen, infiltratiegebieden, kwelgebieden en bergingsgebieden voor het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek.

Om concrete invulling te geven aan de LESA zijn de onderstaande onderzoeksvragen (dikgedrukt) beantwoord (schuingedrukt).

1. Hoe bepalen de oorspronkelijke relaties (vóór invloed van de mens) tussen ondergrond, morfologie, grond- en oppervlaktewater en de bodem de mogelijkheden voor water- en landnatuur?

In grote lijnen wordt het gebied gekenmerkt door een gevarieerde geologie en geohydrologie met sterk ondoorlatende lagen in de ondiepe ondergrond in het oosten van het gebied. Hierdoor worden de aanvoer en aanvulling van grondwater beperkt en dit zorgt voor (sterk) fluctuerende grondwaterstanden. De afvoeren van beken die hun oorsprong hebben op een ondoorlatende ondergrond zijn dan ook sterk afhankelijk van de neerslag. In het verleden werd dit water vastgehouden en vertraagd afgegeven; er trad in het gebied een sterke sponswerking op. Hierin waren de doorstroommoerassen, venen en natte heiden in de laagtes en beekdalen die de oorsprong-gebieden van de beken vormden, bepalend. Deze habitattypen herbergden een grote biodiversiteit, zowel wat betreft flora als fauna. Verder benedenstrooms konden beken inunderen bij hoge afvoer, omdat er een graduele overgang was tussen beek en het dal dat fungeerde als overstromingsvlakte. De Boven-Slinge, zijn zijbeken en overige natuurlijke beken in het gebied herbergden een soortenrijke, voor laaglandbeken kenmerkende waterfauna, waarbij de soorten een preferentie hadden voor stroming, lage watertemperaturen (grondwatervoeding) en voedselarme en weinig organisch belaste omstandigheden. Daarnaast was er een duidelijke binding met de beboste oeverzone of met de beekbegeleidende moerassen (zie voor nadere toelichting de conclusies uit Hoofdstuk 2, onder 'Natuurlijke achtergrondsituatie en de Referentie situatie (begin 20^e eeuw)' hieronder).

2. Hoe heeft het menselijk handelen deze relaties beïnvloed en daarmee de mogelijkheden voor water- en landnatuur veranderd?

Door toenemende invloed van de mens, met name in de 20^e eeuw, is het landschap verdroogd. De combinatie van ontginning van de natte habitattypen, de aanleg van drainagesloten en het graven van nieuwe waterlopen ten behoeve van de landbouw en normalisatie, kanalisatie en regulatie van de beken, heeft de sponswerking van het gebied tenietgedaan en de beekafvoer van min of meer stabiel naar sterk dynamisch gewijzigd. De natuurlijke afwatering is hierdoor sterk verstoord. Een vergroting van de afvoerpieken heeft geleid tot diepe insnijding met verdroging van het beekdal tot gevolg en de versnelde afvoer tot lage/geen afvoer in droge perioden. Met name in de zomer zakken de grondwaterstanden steeds verder uit en komt steeds meer droogval van beken voor. Landbouw is dominant geworden in het gebied, mede mogelijk gemaakt door de intensieve ontwatering, zowel op de plateaus als in de beekdalen. Intensief agrarisch gebruik van de percelen en urbanisatie hebben geleid tot verhoogde concentraties nutriënten en toxische stoffen in grond- en oppervlaktewater, afkomstig uit diffuse en puntbronnen en een verhoging van de sliblast in de beken. De intensievere ontwatering, sterke toename en intensivering van het landbouwareaal, de toename in bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen hebben de kwaliteit en kansen van soortenrijke land- en waternatuur doen afnemen. Hierdoor zijn de kansen voor van oorsprong voorkomende natte landnatuurtypen zoals natte heide en broekbossen afgenomen en zijn veengebieden verdwenen. Door de sterke verstoring van het systeem zijn veel karakteristieke soorten teruggedrongen in lokale populaties, waar ze zich tot op heden lokaal weten te handhaven in het gebied op plekken waar de milieuomstandigheden nog gunstig zijn. Voor de waternatuur zijn de Slinge en Osink-Bemersbeek kerngebieden waar nog veel kenmerkende soorten macrofauna en vis aangetroffen kunnen worden. Hierin speelt het relatief grote verhang en de jaarrond permanente afvoer een belangrijke rol. Ook zijn hier langs de beken relictpopulaties van grondwaterafhankelijke natuur aan te treffen. Dit biedt kansen voor systeemherstel, waarbij deze relicten kunnen fungeren als bronpopulaties.

3. Hoe zal klimaatverandering, zonder herinrichting van het gebied, ingrijpen op het ecohydrologisch functioneren van het gebied en welke consequenties heeft dat voor de landschapsecologische relaties? Relevante klimaatscenario's hierbij zijn (inclusief de bijstelling op basis van het Klimaatsignaal '21 (zie KNMI - KNMI'14-klimaatscenario's):

- a. W_L2050 : warm scenario met beperkte verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - b. W_H2050 : warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - c. W_H2085 : warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2085
- NB De scenario's van 2023 zijn in deze studie niet meegenomen, omdat het onderzoekswerk reeds was afgerond toen deze werden gepubliceerd en toen ook nog niet waren doorgerekend in hydrologische modellen voor het betreffende gebied.

Onder invloed van klimaatverandering treden drie veranderingen op die kunnen worden gezien als een verslechtering van de huidige situatie:

- i. *toename van de afvoer in de winter en het gedurende alle seizoenen vaker optreden van piekafvoeren die groter van omvang kunnen zijn;*
- ii. *afname van de afvoer in de zomer, met als gevolg lage beekafvoeren en het vaker, eerder en langduriger optreden van perioden van stagnatie of (gedeeltelijke) droogval van de beekbedding;*
- iii. *stijging van de watertemperatuur (jaarrond) en het vaker, eerder en langduriger optreden van extreme temperaturen in de zomer, waardoor de verdamping in deze perioden toeneemt wanneer water beschikbaar is voor planten en plantengroei beperkt wordt waar dit niet het geval is.*

Op de waternatuur heeft dit de volgende gevolgen:

- i. *verdere insnijding van de beken door piekafvoeren, met meer verdroging van aanliggende gronden tot gevolg;*
- ii. *verlies van heterogeniteit van de beekbedding door wegspoelen organische substraten bij piekafvoeren en verslibbing bij lage afvoeren;*
- iii. *sterkere belasting van het systeem met stoffen en slib, hogere temperaturen en droogval versnellen de afbraakprocessen in de beekbedding, heftige buien leiden tot meer inspoeling van stoffen vanuit aanliggende gronden;*

- iv. veranderingen in de levensgemeenschappen, warmte- en droogtegevoelige soorten verdwijnen. Daarnaast is er nu al een verschuiving zichtbaar van natuurtypen van natte, vochtige groeiplaatsen naar die van droge groeiplaatsen in de landnatuur, iets dat verder zal toenemen. Op dit moment hebben alle wateren in het gebied al te kampen met negatieve effecten van klimaatverandering. De knelpunten in de huidige situatie geven aan waar de op dit moment gevoelige trajecten liggen in het gebied, waarbij de belangrijkste risicosignalen zijn: i) stagnatie of droogval in laatste droge zomers, ii) diep ingesneden bedding, iii) benedenstrooms overstort/lozingspunt, iv) geen bos langs de beek (onbeschaduwd traject).

4. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de huidige ecologische kwaliteit die direct samenhangt met de inrichting van het watersysteem te behouden en te versterken (gebiedsbreed, dus niet per se op de huidige plek)?

De problemen in het gebied worden voor een groot deel gestuurd door het bovenstroomse intensieve ontwateringsstelsel dat de haarvaten van het systeem vormt. Pas wanneer hier het water beter kan worden vastgehouden, kan worden geborgd dat benedenstrooms herstel kan optreden. Dit kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld drainerende structuren te verwijderen of ineffectief te maken (afdammen, niet meer maaien, sloten en greppels dempen), natuurlijke laagtes te laten inunderen, meer water te laten infiltreren in de bodem etc. Hierdoor wordt de afvoerdynamiek benedenstrooms gedempt, omdat water langzamer wordt afgegeven vanaf bovenstrooms. Hierdoor worden afvoerpieken kleiner en vermindert de kans op droogval. Hydrologische maatregelen zijn alleen effectief wanneer ze op systeemsgeschaal (het gehele stroomgebied van een beek waarvoor verbeterde condities nodig zijn) worden genomen, wel kunnen ze snel effect sorteren na de ingreep. In het licht van klimaatverandering zijn deze maatregelen cruciaal om de (ecologische) kwaliteit van het systeem te waarborgen. Meer benedenstrooms kan ook worden ingezet op het bergen van water door de beek weer te laten inunderen. Hiervoor moeten echter wel de insnijdingen worden aangepakt (bijv. door aanvullen van bodemmateriaal, i.e. suppletie). Het hydrologisch herstel is nog maar een deel van de oplossing, want een ander probleem is de diffuse en puntbelasting met stoffen die remmend werkt op de fysisch-chemische en ecologische kwaliteit van de beeksystemen. Om te voorkomen dat stoffen van landbouwpercelen uit- of afspoelen, is ten minste optimalisatie van de landbouwkundige bedrijfsvoering of invoer van circulaire of natuurinclusieve landbouw noodzakelijk. Pas wanneer deze bronnen worden aangepakt, kan de waterkwaliteit in de beken worden verbeterd. Puntbronnen moeten worden gesaneerd en er moet worden ingezet op verbeterde zuiveringstechnieken van het effluent. De aanpak van diffuse belasting is een langetermijnmaatregel vanwege nalevering uit de bodem, maatregelen voor puntbronnen kunnen veel sneller effect sorteren. De aanpak van diffuse belasting vraagt, net zoals de hydrologische maatregelen, een aanpak op systeemsgeschaal om effect te sorteren; de tijd tot het waarnemen van succes is lang vanwege nalevering. Ook vanuit klimaatverandering is de aanpak van verontreinigende/milieuvreemde stoffen van belang, met name stagnatie bij lage afvoeren (dus relatief hoge concentraties) in combinatie met hogere watertemperaturen leiden tot waterkwaliteitsproblemen en soms gezondheidsrisico's (bijv. bloei cyanobacteriën, vissterfte). Om de effecten van hogere temperaturen te mitigeren, is beschaduwning van de beken noodzakelijk, omdat dit een temperatuurdempende werking heeft. Het aanplanten van bomen langs beken heeft als neveneffect dat de stromings- en structuurvariatie in de beek wordt verhoogd, waar de fauna van profiteert. Hout inbrengen kan dit nog verder versterken.

Wat zijn hierbinnen (binnen vraag 4) 'quick wins' of 'no regret'-maatregelen die op korte termijn (voor 2027) te realiseren zijn?

De grootste effecten zijn te verwachten van de grootschalige systeemsgeschaalde maatregelen bovenstrooms, dit vraagt echter langdurige gebiedsprocessen die meestal niet voor 2027 gerealiseerd kunnen worden. Gezien de urgentie in het licht van klimaatverandering moeten er ook nu acties worden opgepakt, zeker om de nog in het gebied aanwezige waarden te behouden voor grootschalige ingrepen kunnen worden uitgevoerd. We stellen dat snel kan worden gestart met de onderstaande maatregelen. Hierbij doen wij geen uitspraken over sociologische factoren die de haalbaarheid van de implementatie bepalen.

- *Het zo veel mogelijk afdammen en/of niet meer maaien van drainagesloten om de afwatering te vertragen.*
- *Het uitvoeren van precisiebemesting op percelen om uitspoeling te voorkomen of anderszins verminderen van aanvoer van nutriënten vanuit de landbouw.*

- *Aanplanten van bomen langs de beken op open plekken om de watertemperatuur te dempen en structuurvariatie te verhogen. Dit kan tevens als bufferstrook dienen om inspoelen van nutriënten te voorkomen.*
- *Aanpakken puntbronnen.*
- *Verbeteren habitatkwaliteit in beken door hout in te brengen.*

5. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de bodemberging maximaal te vergroten (ambitie is 100 mm) met minimale schade aan de gebruiksfuncties?

Uit de waterbalansberekeningen is het beeld van de klimaatverandering voor de watervoerendheid van de beken alarmerend te noemen. Om de afvoer in de zomer op peil te houden, zijn maatregelen nodig die zorgen voor meer bodemberging:

1. *Minder gewasverdamping, te denken valt aan mindere intensieve landbouw, een beregeningsverbod en omzetting van bos/landbouwgrond naar natuurgraslanden/heide. Vanuit de waterbalans is het verminderen van de gewasverdamping het effectiefst om de afvoeren in de zomerperiode te verhogen.*
2. *Een zeer sterke vertraging van de afvoer tijdens de winterperiode. Dit lukt niet alleen met het dichtmaken van sloten of het verwijderen van drains. De afwatering van natuurlijke laagtes zal ook moeten worden geblokkeerd om water in het gebied vast te kunnen houden, waarbij periodieke inundatie (water op maaiveld) kan plaatsvinden.*
3. *Hogere grondwaterstanden in de beekdalen, om ervoor te zorgen dat er minder water vanuit de beekgeul naar het watervoerende pakket kan infiltreren. Effectieve maatregelen betreffen een combinatie van minder onttrekkingen, verwijderen van ontwateringsmiddelen en het verondiepen van beken zelf. Ook het verleggen van rechtgetrokken beeklopen draagt bij aan het vertragen van de afvoer uit het stroomgebied. Beekdalen moeten in de winterperiode weer kunnen inunderen; dimensies van de beeklopen moet daarop worden afgestemd. Afvoer die niet door de beekloop plaatsvindt maar over de dalvlakte (stromende berging), zorgt voor een demping van de hydrodynamiek in de beek en heeft een vertragend effect op de afvoer uit het stroomgebied.*

Gekoppeld aan vraag 5, is een specifieke te beantwoorden vraag wat een natuurlijk afvoerregime hier inhoudt. Met welke maatregelen is dit natuurlijke afvoerregime te bereiken?

Een natuurlijk afvoerregime houdt in dat de afvoeren van het watersysteem gedempt zijn en dus gelijkmatiger verdeeld over het jaar. Dit betekent concreet kleinere pieken in de afvoer en hogere en meer constante basisafvoer in de zomer om zo de kans op droogval te verminderen. Dit natuurlijke afvoerregime is te bereiken met het uitvoeren van de bovenstaande beschreven maatregelen. Vanwege klimaatverandering is herstel van afvoerregimes uit het verleden waarschijnlijk moeilijk haalbaar in de praktijk.

De studie laat zien dat het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek in het huidige en toekomstige klimaat gevoelig zijn voor toenemende extreme droogte en neerslag. We hebben gezien dat deze gevoeligheid veroorzaakt wordt door de effectieve en grootschalige ontwateringsstrategie en door veranderingen van landgebruik in de afgelopen eeuwen. Het gebied wordt droger in de zomer. Daardoor neemt de kans op droogval of stagnatie van water in de Boven-Slinge, zijn zijbeken en de bovenlopen van de Keizersbeek sterk toe. Dit heeft nadelige gevolgen voor de flora en fauna in het gebied: soorten die niet tegen deze verdroging bestand zijn, zullen verdwijnen. Door het versneld afwateren van de hoger gelegen gronden spoelen tevens nutriënten uit de bodem. Deze stoffen verzamelen zich vervolgens in de beeklopen en hebben negatieve effecten op de flora en fauna.

Het is dan ook nodig dat het gebied zich aanpast aan de negatieve effecten van verdere klimaatverandering. Dit vraagt om grootschalige en langdurige aanpassingen in het watersysteem en in het landgebruik van het gebied. De gevraagde aanpassingen zijn gericht op het langer vasthouden van water in de brongebieden, het omhoogbrengen van grondwaterstanden in het hele gebied (in de beekdalen en op de plateaus) en het dempen van piekafvoeren van het watersysteem. Daarnaast zijn aanpassingen nodig om de afspoeling te verminderen van nutriënten en giftige stoffen naar de beeksystemen en om de watertemperatuur minder te laten toenemen. Op deze manier kan er toegewerkt worden naar een robuuster bodem-watersysteem dat voldoende (grond)water en bodemkwaliteit voor natuur, landbouw en andere gebruiksfuncties kan leveren.

1 Inleiding

Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) en de Provincie Gelderland streven naar hoogwaardige natuur in en langs de Winterswijkse beken. Dat streven is verankerd in de Kaderrichtlijn Water (KRW -EU; [Kaderrichtlijn Water - BIJ12](#)) opgaven, de HEN/SED-opgaven, het Gelders Natuur Netwerk (GNN) en Natura 2000-gebied Bekendelle ([Bekendelle | natura 2000](#)). De HEN/SED-opgaven gelden voor beken met een bijzondere ecologische functie. HEN staat voor 'Hoogste Ecologische Niveau', waarbij de natuurlijke situatie het dichtst wordt benaderd en alle vormen van negatieve menselijke beïnvloeding moeten worden tegengegaan. SED staat voor Specifiek Ecologische Doelstelling ([324564 \(wur.nl\)](#)), waarbij het doel een situatie is die meer wordt beïnvloed door onnatuurlijke factoren, zoals bovenstroomse verstedelijkte gebieden of landbouw, maar die wel ruimte biedt voor bepaalde ecologische waarden. Deze beleidsvoornemens hebben geleid tot concrete acties, waarbij onder andere overstorten zijn gesaneerd, morfologische aanpassingen zijn doorgevoerd in het dwars- en lengteprofiel, oeverbeschoeiing en stuwen zijn verwijderd en bufferstroken en waterberging zijn gerealiseerd. Biologische monitoring van de beken heeft uitgewezen dat deze maatregelen hebben geleid tot een uitbreiding van voor laaglandbeken kenmerkende soorten macrofauna en vis. Er zijn echter nog meerdere knelpunten op te lossen. Voorbeelden hiervan zijn ten eerste een verstoorde afvoerdynamiek, met droogval van de beken en diepe insnijding van de beekbedding tot gevolg, die weer doorwerkt in verdroogde beekbegeleidende bossen en afnemende kenmerkende terrestrische (ofwel land)vegetatie. Ten tweede een achterblijvende waterkwaliteit, met bijvoorbeeld een hoog biologisch en chemisch zuurstofverbruik (BZV/CZV) en hoge stikstofconcentraties (deels uit Duitsland).

In de droge zomers van 2018, 2019 en 2020 had het gebied te maken met onvoldoende waterbeschikbaarheid waardoor in veel trajecten de stroming wegviel, de kwaliteit van het water sterk afnam of droogval optrad. Vanwege de droogteproblematiek streeft WRIJ naar meer berging van neerslag in de bodem. Hierbij geldt 100 mm extra berging als richtwaarde voor het gehele beheersgebied van WRIJ. Door klimaatverandering is de verwachting dat op de hogere zandgronden vaker perioden van droogte gaan optreden, die zullen leiden tot droogteschade aan natuur en landbouw. Daarnaast zullen piekbuien naar verwachting vaker zorgen voor lokale wateroverlast. Het watersysteem op de hogere zandgronden in het beheergebied van het Waterschap Rijn en IJssel is gevoelig voor deze weersextremen. Ondanks eerdere lokale en regionale inspanningen in het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek (locatie gearceerd in Figuur 1.1), is dit systeem hier nog onvoldoende aan aangepast.

De opgaven vanuit klimaatperspectief en ecologie zijn sterk met elkaar verweven en vragen om een integrale aanpak. De uitdaging is een *robuuster, gedempt watersysteem* te creëren, dat minder gevoelig is voor weersextremen, een hogere basisafvoer heeft, afgevlakte afvoerpieken kent en tot ver in het groeiseizoen voldoende grondwater voor natuur, landbouw en andere gebruiksfuncties. Door aan te sluiten op de natuurlijke gebiedskenmerken (de bodemopbouw, watersystemen en ecologie) en de regulerende werking van natuurlijke processen, kunnen (kostbare) technische voorzieningen en kunstwerken zo veel mogelijk achterwege gelaten worden. Daarom hebben de Provincie Gelderland en WRIJ aan WUR gevraagd een **Landschapsecologische systeemanalyse (LESA)** uit te voeren, waarvan het resultaat kan dienen als 'bouwsteen voor natuur en waterbeheer' in een integraal afwegings- of gebiedsproces. De LESA richt zich specifiek op de werking van het watersysteem en op de aan het watersysteem gerelateerde natuur, zoals natuur in of langs beekdalen, infiltratiegebieden, kwelgebieden en bergingsgebieden. Het rapport dat voor u ligt, beschrijft de uitkomsten van de LESA voor het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek.

Het rapport geeft antwoord op de volgende concrete vragen:

1. Landschapsecologische relaties:
 - a. Hoe bepalen de relaties tussen ondergrond, morfologie, grond- en oppervlaktewater en de bodem de mogelijkheden voor water- en landnatuur?
 - b. Hoe heeft het menselijk handelen deze relaties beïnvloed en daarmee de mogelijkheden voor water- en landnatuur veranderd?

2. Hoe zal klimaatverandering, zonder herinrichting van het gebied, ingrijpen op het ecohydrologisch functioneren van het gebied en welke consequenties heeft dat voor de landschapsecologische relaties? Relevante klimaatscenario's hierbij zijn (inclusief de bijstelling op basis van het Klimaat signaal '21 (zie [KNMI – KNMI'14-klimaatscenario's](#)):
 - WL2050: warm scenario met beperkte verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - WH2050: warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - WH2085: warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2085
3. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de huidige ecologische kwaliteit die direct samenhangt met de inrichting van het watersysteem te behouden en te versterken (gebiedsbreed, dus niet per se op de huidige plek).
 - Wat zijn hierbinnen 'quickwins' of 'no regret'-maatregelen die op korte termijn (voor 2027) te realiseren zijn?
4. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de bodemberging maximaal te vergroten (ambitie is 100 mm) met minimale schade aan de gebruiksfuncties?
 - Gekoppeld aan de vraag wat een natuurlijk afvoerregime hier inhoudt. Hierbij worden de relatie hoogwaterpieken en basisafvoer bedoeld die medeverantwoordelijk zijn voor het behoud van Natura 2000-doelen in Bekendelle. Met welke maatregelen is dit natuurlijke afvoerregime te bereiken?

Het rapport is zo ingedeeld dat de hoofdlijn duidelijk is uit de hoofdtekst. Technische details, waaronder detailresultaten en methoden, staan in de bijlagen. De volgende paragrafen van dit hoofdstuk bevatten een eerste beschrijving van het studiegebied, gevolgd door een nadere, maar voor een breed publiek toegankelijke, toelichting op de LESA-methode zoals toegepast in dit onderzoek. In Hoofdstuk 2 beschrijven wij de huidige landschapsecologische relaties, ofwel hoe zit het systeem in elkaar, zowel van nature als onder invloed van menselijke ingrepen tot nu toe. In Hoofdstuk 3 bespreken we de effecten van klimaatscenario's op land- en waternatuur. Dit geeft een beeld van hoe, bij gelijkblijvend landgebruik, het veranderende klimaat effect kan gaan hebben op de kwaliteit van de natuur en de waterkwaliteit. Vervolgens bekijken we in Hoofdstuk 4 wat de ingeschatte effecten van bepaalde maatregelen bij deze klimaatscenario's zijn. Dit geeft inzicht in wat effectieve maatregelen kunnen zijn en hoe deze bij het verwachte toekomstige klimaat kunnen helpen de natuur- en waterkwaliteit zo goed mogelijk te behouden en te verbeteren. Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies.



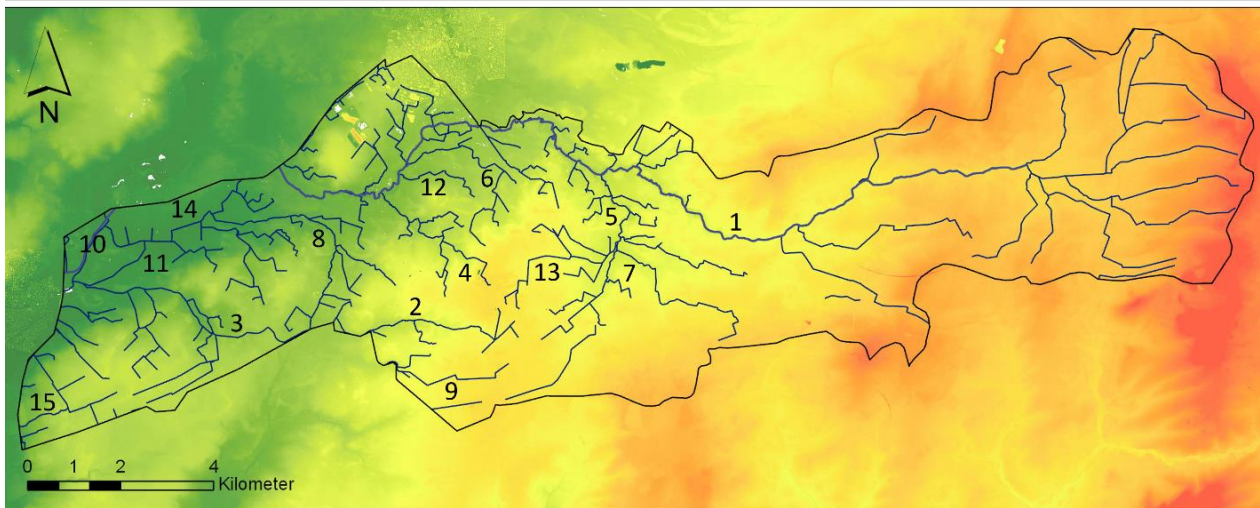
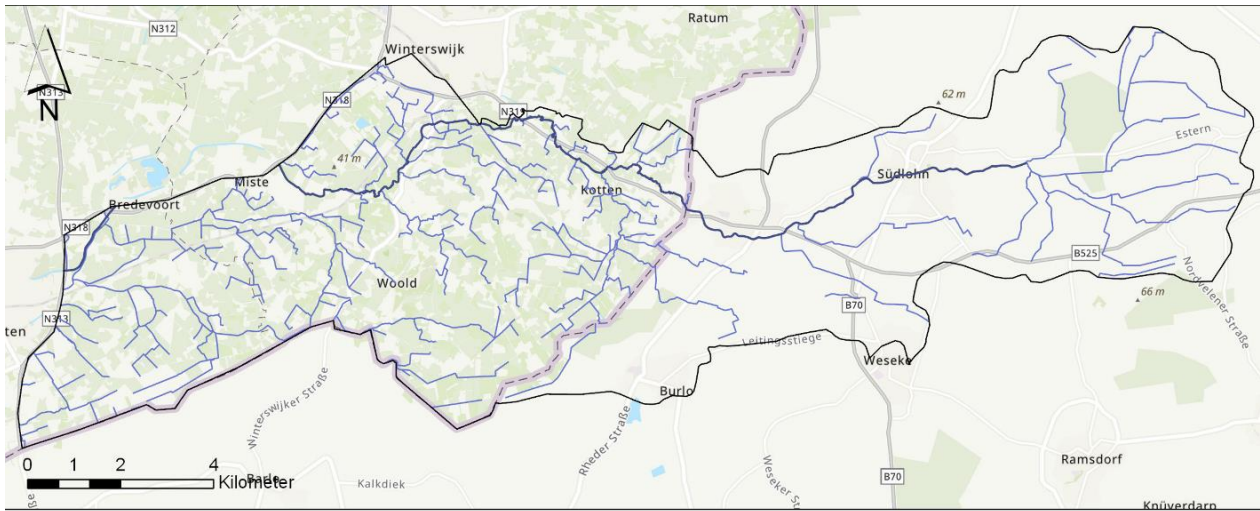
Figuur 1.1 Locatie van het studiegebied (rood gearceerd) binnen de provincie Gelderland en het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. Het oostelijk deel van het projectgebied ligt in Duitsland (het rood gearceerde deel ten oosten van de zwart-gele waterschapsgrens), maar is ook in deze studie betrokken.

1.1 Inleidende gebiedsbeschrijving Boven-Slinge en Bovenlopen Keizersbeek

Het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek waarvoor wij de LESA hebben uitgevoerd, is weergegeven in Figuur 1.2. Het stroomgebied overschrijdt de Duits-Nederlandse grens, afwaterend in westelijke richting, met het verhang van het maaiveld mee (Figuur 1.2). Het stroomgebied is onderdeel van het WRIJ-beheersgebied van de Oude IJssel (<https://www.wrij.nl/statisch/oude-ijssel>). De bovenloop van de Boven-Slinge is relatief snelstromend en meanderend en heeft een relatief groot verhang (steile helling). Meer benedenstrooms is de beek rechtgetrokken en is het verhang kleiner (informatie van Waterschap Rijn en IJssel). De Keizersbeek ontspringt als de Schaarsbeek in het Korenburgerveen bij Winterswijk ([Keizersbeek – statisch waterbeheersysteem \(wrij.nl\)](https://www.wrij.nl/statisch/keizersbeek)). Het verhang van deze beek is over de hele lengte kleiner dan de Slinge.

De oevers van beken zoals de Slinge liggen deels in bos of bosstroken of andere extensief beheerde landgebruiksvormen. Het landgebruik in en om het gebied bestaat echter voor een groot deel uit landbouw, zowel gras als akkerbouw (~62% van het oppervlak binnen het stroomgebied van de Oude IJssel is gras en maïs). Tussen de landbouwvelden bevinden zich stukken bos en natuur (~12% van het oppervlak binnen het stroomgebied van de Oude IJssel). Net onder Winterswijk ligt het Natura 2000-gebied Bekendelle. In en om het gebied zijn er woonkernen van verschillende grootte. De grotere woonkernen variëren van ~4.000 inwoners (Oeding in Duitsland) tot ~24.000 inwoners (Winterswijk in Nederland). Andere plaatsen binnen deze categorie zijn, Südlohn (D), Weseke (D), Gescher (D), Aalten (NL) en Stadtlohn (D). Andere woonkernen in en om het gebied zijn aanmerkelijk kleiner.

De bodemsamenstelling binnen het stroomgebied valt met name in de brede categorie van zandbodems. Deze zandbodems variëren echter sterk van samenstelling met keileem op variërende diepte en oude klei (zogeheten tertiaire, harde klei) in de ondergrond. Daarbij zijn er enkele stukken moerige gronden (hoog percentage organische stof) op plaatsen waar vroeger venen aanwezig waren. De verschillen in bodemtype en grondsoort zijn, samen met subtiele hoogteverschillen zoals in dit rapport naar voren komt, leidend voor verschillen in de waterhuishouding. Hydrologisch valt dit gebied in Nederland binnen Hoog-Nederland, ofwel het vrij afwaterende gebied boven zeeniveau. De afwatering gebeurt via beken, die deels door de mens zijn gegraven om moerassige laagtes te ontwateren en geschikt te maken voor landbouw. Daarbij heeft de mens in het verleden geheel nieuwe watergangen gegraven, om de ontwatering van percelen te bevorderen, en zijn delen van de bestaande beken gekanaliseerd en genormaliseerd. Om in droge perioden ook water vast te kunnen houden ten behoeve van de landbouwproductie is een groot aantal stuwen gebouwd.



- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--|
| 1: Boven Slinge | 6: Siepersbeek | 11: Stuwbeek Aalten | |
| 2: Dambeek | 7: Schippersbeek | 12: Schepers Waterleiding | |
| 3: Haartse Waterleiding | 8: Stortelersbeek | 13: Veenhuis Waterleiding | |
| 4: Limbeek | 9: Wooldse Waterleiding | 14: Zwanenbroek | |
| 5: Osink-Bemersbeek | 10: Keizersbeek | 15: Snijders Veerbeek | |

Figuur 1.2 Topografie en maaiveldhoogte binnen het studiegebied met watergangen.

1.2 Landschapsecologische systeemanalyse (LESA)

Een Landschapsecologische systeemanalyse (LESA) voor de Boven-Slinge/Keizersbeek geeft inzicht in de landschapsecologische/hydrologische relaties en kansen voor verbetermaatregelen op stroomgebiedniveau. Het doel van deze LESA is een heldere beschrijving van het watersysteem en de daaraan gerelateerde natuur in het studiegebied, zoals natuur in of langs beekdalén, infiltratiegebieden, kwelgebieden en bergingsgebieden. De resultaten moeten inzetbaar zijn in een integraal gebiedsproces en zullen daarom zowel goed onderbouwd als goed overdraagbaar moeten zijn.

Gedachtegang achter LESA

Wij sluiten aan op de LESA-methode van het OBN (LESA – Het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN; natuurkennis.nl) en het Handboek Ecohydrologische systeemanalyse (HEB). De door ons gehanteerde methoden bij het opstellen van de LESA gaan, voor de landnatuur, uit van de principes van 'De Landschapsleutel', een werkmethode voor het opstellen van LESA's die door Alterra, de voorganger van WENR, ontwikkeld is in samenwerking met een groot aantal partijen (Kemmers et al., 2011). Een centraal onderdeel hiervan is het afleiden van een 'Landschappelijke Bodemkaart' (Van Delft & Maas, 2022), waarbij informatie van geomorfologische kaarten en bodemkaarten gebruikt wordt om een fysisch-geografische

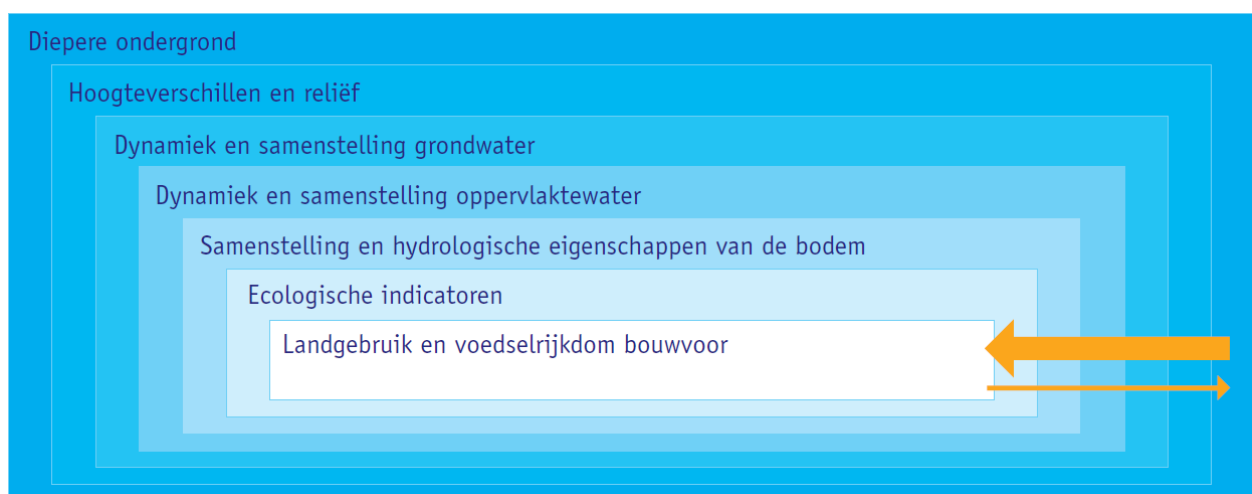
karakterisering te geven van het gebied en de betekenis daarvan voor de landschapsecologische relaties. Vanuit deze karakterisering kunnen wij aangeven welke soorten landnatuur voor kunnen komen bij diverse grondwateromstandigheden (hydrologische scenario's). De gebruikte methode beschrijven wij uitgebreider in Bijlage 1. Voor het studiegebied hebben wij een Landschappelijke Bodemkaart afgeleid die wij toelichten in § 2.1.4. Omdat in natte gebieden, zoals beekdalen, land- en waternatuur naast elkaar voorkomen en elkaar wederzijds beïnvloeden, besteden wij in § 2.3 aandacht aan het samenspel tussen de natuur in de beken en in de aangrenzende moerassen, graslanden en bossen.

De LESA-methode is een toepassing van systeemgericht denken. Deze denkwijze is nodig, omdat het landschapsecologische systeem een complex samenspel is van bodem, hydrologie, ecologie en antropogene invloeden. Een LESA is een interdisciplinair project waarin de dominante processen worden aangeduid door de systeembenadering. Fixatie op één of enkele onderliggende processen, die wellicht in het complexe samenspel van het geheel aan processen onderliggend zijn, wordt daarmee voorkomen. Om zo een complex, interdisciplinair project tot een goed einde te brengen, is een stapsgewijze aanpak nodig, waarbij van groot naar klein wordt 'ingezoomd' op het functioneren van het gebied en de betekenis daarvan voor de natuur. (Besselink et al., 2017).

Concreet worden de dominante processen bepaald door het Rangordemodel (Bakker et al., 1979) toe te passen. Dit model neemt aan dat er een hiërarchie bestaat in hoe verschillende landschapsvormende factoren elkaar beïnvloeden. Het toont de diverse abiotische en biotische componenten van het landschapsecologische systeem in hiërarchische samenhang. De beïnvloeding werkt twee kanten op, maar op de lange termijn hebben factoren van een hogere orde meer invloed op factoren van een lagere orde. Ruimtelijke variatie in gesteentesoort beïnvloedt het ontstaan van reliëf op de lange termijn bijvoorbeeld sterker dan andersom (verschil in reliëf bepaalt waar bepaalde gesteenten terechtkomen duidelijk minder sterk). Door verschil in weerstand tegen erosie eroderen zachtere gesteenten namelijk meer dan hardere. Aan de andere kan bepaalt verschil in reliëf duidelijk minder sterk waar bepaalde gesteenten terechtkomen.

De hoogste landschapsvormende factor is het klimaat, dat binnen Nederland redelijk gelijk is. Klimaat is binnen het rangordemodel voor Nederland dan ook niet verder uitgewerkt. De huidige klimaatverandering wordt niet gevat binnen het rangordemodel, omdat het een snelle verandering is en geen langdurig proces. Een plotselinge verandering in het klimaat zoals die nu speelt, heeft niet eenzelfde effect op lagere landschapsvormende factoren zoals bodemvorming. De effecten van klimaatverandering nemen wij daarom mee met onze klimaatscenario's.

De niveaus die wel worden meegenomen, zijn van diepere ondergrond tot landgebruik en voedselrijkdom van de bouwvoor, weergegeven in Figuur 1.3 (Bakker et al., 1979). Deze hiërarchie of rangorde komt ook terug in de werkwijze van groot naar klein. Dat zien wij ook terug in de indeling van de Landschappelijke Bodemkaart die een hiërarchische legenda kent.

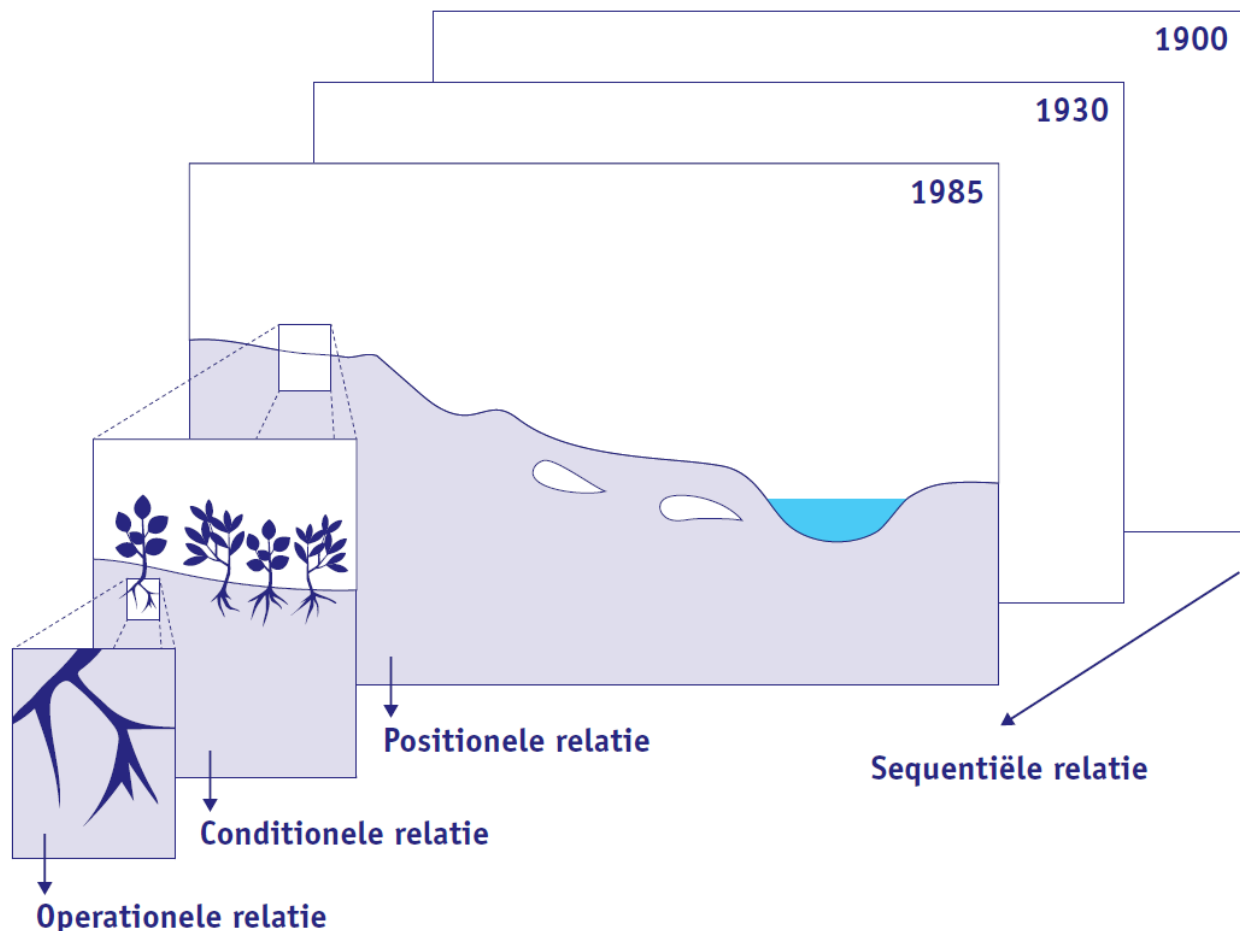


Figuur 1.3 Rangordemodel van Bakker et al. (1979), overgenomen uit Besselink et al. (2017).

Hoewel het rangordemodell primair is opgesteld voor landnatuur, is het ook geldig voor de waternatuur in beekdalen, omdat de positionele factoren de afvoercharacteristieken voor de beken bepalen (Besselink et al., 2017). Dit bepaalt vervolgens de abiotische randvoorwaarden voor de waternatuur. Door deze componenten zo veel mogelijk in onderlinge samenhang te beschrijven, geven wij vorm aan een geïntegreerde aanpak voor de land- en waternatuur. In § 2.4 gaan wij daar nader op in.

Naast de tijdschaal en onderlinge beïnvloeding van landschapsvormende factoren zoals gevat binnen het rangordemodell, is ruimtelijke schaal een kernfactor binnen het systeemdenken. Op verschillende niveaus zijn verschillende processen dominant en bepalend voor ruimtelijke variatie. Dit geeft verschillende relaties tussen processen en factoren en het voorkomen van verschillende ecosystemen en het functioneren daarvan, op verschillende niveaus (Figuur 1.4).

- Op stroomgebiedniveau (ook een landschap of beekdal) zijn zogeheten positionele relaties dominant. Positionele relaties bepalen bijvoorbeeld waar — door de ruimtelijke variatie van grotere sturende processen binnen een stroomgebied — een beek een bepaalde vorm heeft of waar een natuurgebied uit hydrologisch oogpunt het beste hersteld kan worden.
- Op standplaatsniveau (waar een bepaalde planten- of diersoort of gemeenschap daarvan voorkomt of voor zou kunnen komen) hebben conditionele relaties de dominante rol. Met conditionele relaties worden relaties bedoeld die bepalen of specifieke condities geschikt zijn voor een bepaald proces of een type ecologie.
- Op nog kleiner schaalniveau, namelijk het wortelmilieu, spelen operationele relaties de hoofdrol. Deze volgen uit de relaties op een hoger niveau en de veranderingen die daarin optreden, bijvoorbeeld als gevolg van verdroging of verzuring. Dit schaalniveau is echter te klein om binnen een systeemanalyse expliciet te beschrijven, het wordt wel impliciet meegenomen. Onze focus ligt op het stroomgebiedniveau, met aandacht voor het standplaatsniveau. Wij geven aan waar kansen en knelpunten liggen, maar werken dit niet in detail uit op standplaatsniveau voor het gehele stroomgebied. Het doel van deze LESA is namelijk een verkenning die inzicht moet geven in kansen op stroomgebiedniveau (Van Wirdum, 1979; Besselink et al., 2017).



Figuur 1.4 Ruimtelijke schalen en relaties binnen Landschapsecologische Systeemanalyse (LESA), uit Jalink en Jansen (1995), overgenomen uit Besselink et al. (2017).

Naast de hierboven beschreven ruimtelijke relaties geeft Figuur 1.4 een sequentiële relatie aan die illustreert hoe relaties ook in de tijd kunnen veranderen, bijvoorbeeld onder invloed van ingrepen in de waterhuishouding of klimaatverandering. Door het vergroten van de ontwatering zijn grondwaterstromingen veranderd, wat door veranderingen in de positionele relaties van invloed is op de conditionele relaties en daarmee op de operationele relaties. In deze LESA vergelijken wij de relaties in een natuurlijke achtergrond- en referentiesituatie met de actuele situatie en hoe deze verder zal veranderen bij klimaatverandering. Deze vergelijkingen betreffen de sequentiële relaties.

Zoals het rangordemodell en ruimtelijke schaal bij een LESA van grotere naar kleinere ruimte- en tijdschaal worden beschouwd, gaat ook het werkproces van een LESA van grovere naar fijnere schaal. Het begin is altijd een algemene oriëntatie op het stroomgebied. Er wordt bekeken wat er al bestaat aan informatie en een eerste beeld van het gebied wordt opgesteld. Na deze verkenning wordt gekeken naar de positionele relaties op stroomgebiedniveau. In de Landschappelijke Bodemkaart komt dit tot uiting in steeds verdere detaillering van de legenda van fysisch-geografische regio (hier overal Hogere zandgronden), naar de fysisch-geografische secties op stroomgebiedniveau, -series en typen op het laagste niveau. De laatste stap is een analyse van conditionele relaties. Deze laatste stap is in ons onderzoek beperkt, vergeleken met LESA's op kleinere schaal. Hoe fijner de schaal, hoe meer het beeld dat is opgesteld op grovere schaal, (lokaal) wordt bijgesteld. Ook geldt hoe fijner de ruimtelijke schaal, hoe kwantitatiever er over het algemeen wordt gewerkt en dus hoe meer gebruik van rekenmodellen wordt gemaakt. Binnen ons onderzoek hebben wij gewerkt met uitkomsten van hydrologische modellen en hebben wij zelf schattingen gemaakt middels eenvoudige berekeningen. Bij alle werkfasen kunnen veldbezoeken komen kijken om de theorie te toetsen aan de praktijk, zoals ook uitgevoerd binnen ons onderzoek.

Beoordeling realisatiekansen natuur

Voor de beoordeling van de conditionele factoren vergelijken wij o.a. de vochttoestand en de zuurgraad met de standplaatsvereisten voor de verschillende typen natuur die voor zouden kunnen komen bij elke eenheid van de Landschappelijke Bodemkaart. De mate waarin deze standplaatsfactoren overeenkomen met de standplaatsvereisten (abiotische randvoorwaarden) is bepalend voor de kans dat een bepaald type natuur voor kan komen (realisatiekans). De methode om deze standplaatsfactoren te toetsen aan de standplaatsvereisten wordt toegelicht in Bijlage 1. Omdat de standplaatsfactoren kunnen veranderen in de tijd (sequentiële relaties) veranderen dan ook de realisatiekansen. In § 2.2.3 beschrijven wij wat de realisatiekansen zouden zijn in de referentiesituatie. **Deze waarden voor de referentiesituatie geven een indicatie van de situatie aan het begin van de 20^e eeuw, dus voordat door grootschalige ontwatering en insnijding van de beken sinds 1960 verdroging is opgetreden, maar nadat er al eerdere ingrepen in het bodem- en watersysteem zijn genomen vergeleken met de natuurlijke achtergrondsituatie.** Door deze te vergelijken met de realisatiekansen in de huidige situatie brengen wij het effect van het menselijk handelen in de twintigste eeuw in beeld in § 2.4.2. Voor de klimaatscenario's maken wij een vergelijkbare vergelijking in Hoofdstuk 3. Uit de aldus gevonden knelpunten in de huidige situatie en bij klimaatverandering volgen maatregelen die genomen kunnen worden om deze knelpunten aan te pakken. Die maatregelen en het mogelijke effect daarvan bespreken wij dan in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 tot slot geven wij de belangrijkste conclusies van ons onderzoek.

Wat betekent het rangordemodell voor de natuur in het stroomgebied van de Boven Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek?

In het studiegebied zijn de samenstelling van de *diepere ondergrond* en het *regionale reliëf* bepalend geweest hoe, bij het in Nederland voorkomende *klimaat*, het *oppervlaktewater* de weg naar het laagste punt heeft gezocht en daarmee het landschap heeft gevormd. Bij het smelten van het landijs aan het eind van de ijstijd heeft het smeltwater de grote vormen bepaald die later bij een milder klimaat verder zijn ingevuld. Het overblijvende reliëf en de samenstelling van de ondergrond met meer of minder goed doorlatende lagen en verschillende mineralogische opbouw geven vervolgens sturing aan de *grondwaterstromen* en *-samenstelling*. Deze *positionele factoren* bepalen de *conditionele factoren* in verschillende delen van het gebied. Omdat sinds het einde van de ijstijd het klimaat min of meer constant geweest is, zijn er bodems gevormd die ons laten zien welke *conditionele factoren* in die periode dominant geweest zijn.

Het gaat daarbij vooral om de grondwaterstanden en *-samenstelling*. Op droge plekken wordt een andere bodem gevormd dan op natte en ook de chemische uitwisseling tussen grondwater en de ondergrond is van groot belang. Omdat water dat in de grond infiltreert stoffen opneemt, verdwijnen in de hogere delen mineralen uit de bodem. Hetzelfde water komt verderop in de lagere delen weer als kwelwater naar boven en voert daarmee mineralen aan in die gebieden. Door deze processen zijn verschillende type *bodems* gevormd in diverse delen van het landschap. Op plekken waar het water niet goed weg kan stromen, worden plantenresten slecht afgebroken en kan veen ontstaan zijn. Op de hogere delen komt dat bijvoorbeeld omdat er leem voorkomt waarin het regenwater niet kan wegzakken, waardoor voedselarm en zuur 'hoogveen' ontstaan is; in sommige lage delen van de beekdalen kon juist het kwelwater niet goed wegstromen waardoor daar wat voedselrijker en meer basisch beekdalveen ontstond. Op plekken waar de beek bij hoog water overstroomt, is op de oudere bodems vaak weer een laag klei afgezet, waardoor weer een ander bodemtype ontstaan is.

De *conditionele factoren* in al die verschillende bodems, in combinatie met grondwaterstanden en *samenstelling* in een periode, bepalen welk type natuur dan voor kan komen op welke plek in het gebied.

Op de Landschappelijke bodemkaart geven wij aan welke *conditionele factoren* dominant geweest zijn tijdens de bodemvorming en dat beschouwen wij dan als *referentiesituatie* voor de hydrologie. In de huidige situatie is dat vaak veranderd, bijvoorbeeld door verdroging, waardoor ook de *conditionele factoren* en daarmee de kansen voor natuur veranderd zijn. Bij veranderingen in de hydrologie, bijvoorbeeld na maatregelen of als gevolg van klimaatverandering zullen dus ook de kansen voor natuur veranderen. In de LESA geven wij aan wat de consequenties voor de natuur zijn bij de verschillende scenario's.

2 Huidige landschapsecologische relaties

2.1 Beschrijving natuurlijk basissysteem

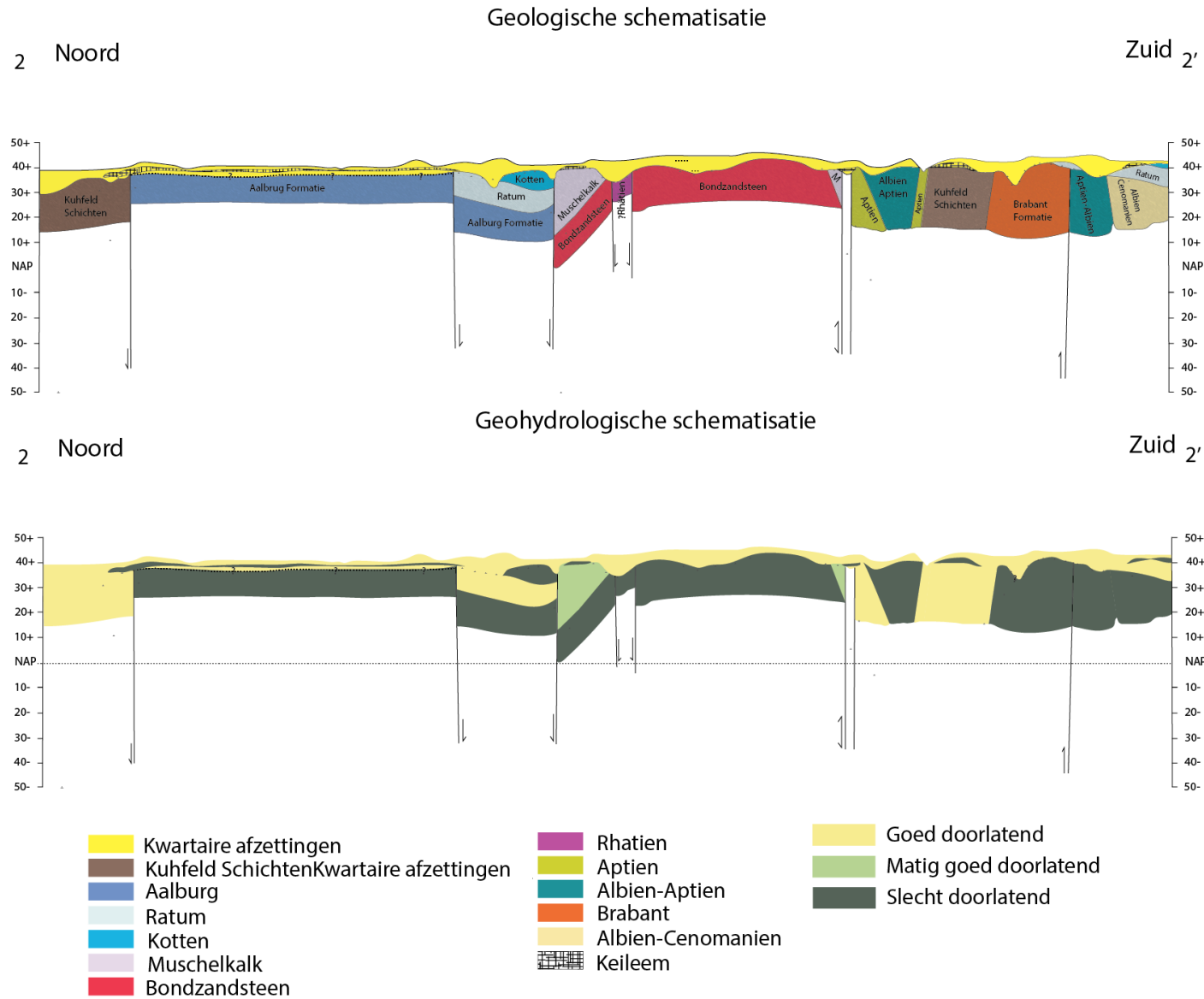
2.1.1 Geologie

In de geologie staan de ontstaansgeschiedenis van de aarde en de ruimtelijke verspreiding van verschillende gesteente- en sedimentpakketten centraal. Doordat geologische processen veelal plaatsvinden op zeer lange tijdschalen (honderdduizenden tot miljoenen jaren) is de geologie van een gebied vaak van groot belang voor de hoogteverschillen en reliëf, maar ook voor de dynamiek van het grondwater (Bakker et al., 1979). In het rangordemodel (Figuur 1.3) is de geologie direct gerelateerd aan de diepere ondergrond, het hoogste niveau van het rangordemodel dat in deze studie wordt meegenomen. De afgelopen decennia zijn er meerdere publicaties verschenen die in detail op de geologische geschiedenis van de gemeente Winterswijk ingaan (Van den Bosch, 1975; Van den Bosch & Kleijer, 2003; Van den Bosch & Brouwer, 2009; Neefjes & Willemse, 2009). Om te veel herhaling te voorkomen, worden hieronder beknopt de geologische geschiedenis en de geologische en geohydrologische opbouw van het gebied beschreven.

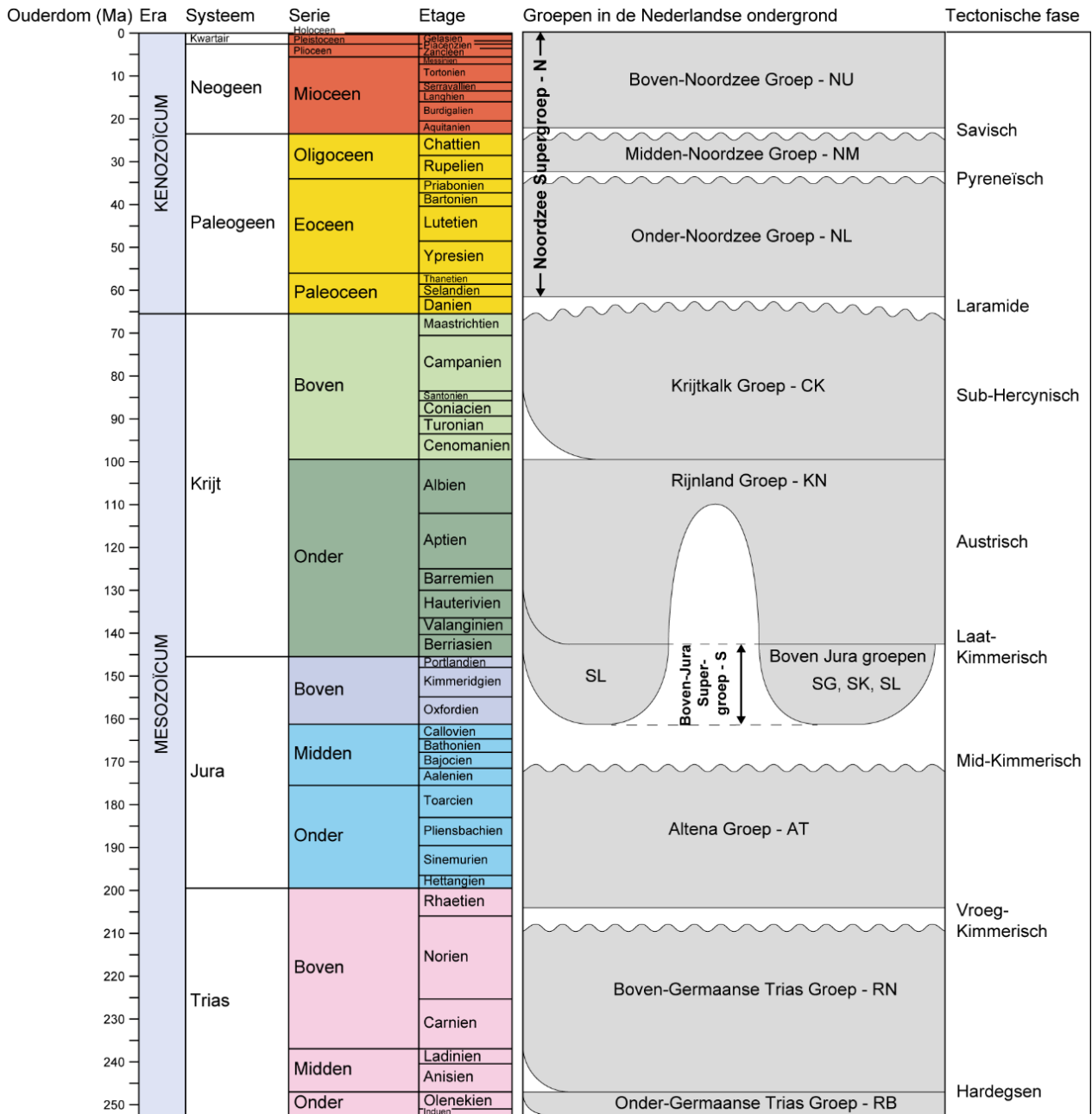
De geologische geschiedenis van de relevante gesteentelagen en sedimenten in het gebied begint ongeveer 250 miljoen jaar geleden, met het begin van het geologische tijdperk Mesozoïcum. Na dit tijdperk begon 66 miljoen jaar geleden het Kenozoïcum. Deze periode is verdeeld in (1) het Tertiair (tussen 66 en 2,5 miljoen jaar geleden), wat weer onderverdeeld is in het Paleogeen (tussen 66 en 23 miljoen jaar geleden) en Neogeen (tussen 23 en 2,5 miljoen jaar geleden), (2) het Pleistoceen (van 2,5 miljoen jaar geleden tot 0,8 miljoen jaar geleden) en (3) het Holoceen, de huidige geologische periode die begon na het Pleistoceen. Aan de hand van deze fasen is hieronder de geologie beschreven.

Mesozoïcum

Het studiegebied kent een complexe geologie en geschiedenis. Door opheffing van het gebied zijn hier zeer oude geologische Formaties (eenheid van gesteente) aan of nabij het oppervlak te vinden in het oostelijke deel van het gebied (Figuur 2.1). Ook zijn bepaalde delen van de ondergrond verzakt door uitrekking van de aardkorst. De oudste geologische afzettingen die ondiep voorkomen, dateren uit het Trias (251,0-201,3 miljoen jaar geleden, Figuur 2.2) en bestaan uit de zogenaamde Bontzandsteen en Muschelkalk (Figuur 2.3) die zijn afgezet in een kust(nabij)gebied (Neefjes & Willemse, 2009). De afzettingen uit de opvolgende periode, de Jura (201,3-145,0 miljoen jaar geleden), bestaan voornamelijk uit (fossielrijke) kalkrijke kleistenen, kleimergels en zandsteen (Neefjes & Willemse, 2009). Tijdens het Krijt (145,0-66,0 miljoen jaar geleden) bestond de omgeving van Winterswijk, net als grote delen van Noordwest-Europa, uit een ondiepe en relatief warme zee waarin verschillende kalkrijke sedimentpakketten werden afgezet.



Figuur 2.1 Schematische doorsnede geologische opbouw (naar Van den Bosch & Brouwer, 2009) en geohydrologische interpretatie (onderste doorsnede) ten oosten van Winterswijk (locatie transect zie kaart Bijlage 2).



Figuur 2.2 Stratigrafie van de Nederlandse ondergrond gegroepeerd naar ouderdom (TNO-GDN, 2019/12).



Figuur 2.3 Muschelkalk in de steengroeve bij Willinks Weust (Foto: Bas van Delft).

Kenozoïcum: Paleogeen en Neogeen (ofwel het Tertiair)

Aan het einde van het Krijt en het begin van het daaropvolgende Paleogeen (66,0-23,03 miljoen jaar geleden) was er een fase van tektonische activiteit in het gebied die ontstond door het botsen van de continenten Europa en Afrika (waarbij ook de Alpen werden gevormd). Hierdoor zijn de oudere afzettingen aanzienlijk verstoord geraakt en heeft er een fase van erosie plaatsgevonden, wat ervoor zorgde dat tijdens het begin van het Oligoceen (33,9-23,03 miljoen jaar geleden) het gebied waarschijnlijk geheel was afgevlakt (Van den Bosch, 1969). Ten tijde van het Rupelien (33,9-28,1 miljoen jaar geleden) werden in een relatief ondiepe kust(nabije) omgeving zware donkere siltige kleien en zanden afgezet (Rupel Formatie). In het zuiden van het gebied komen lokaal ook nog afzettingen voor uit het Mioceen (23,03-5,333 miljoen jaar geleden) die behoren tot de Formatie van Breda. De afzettingen bestaan uit zogenaamde groenzanden en pakketten kalkrijke en niet-kalkrijke klei (Neefjes & Willemse, 2009).

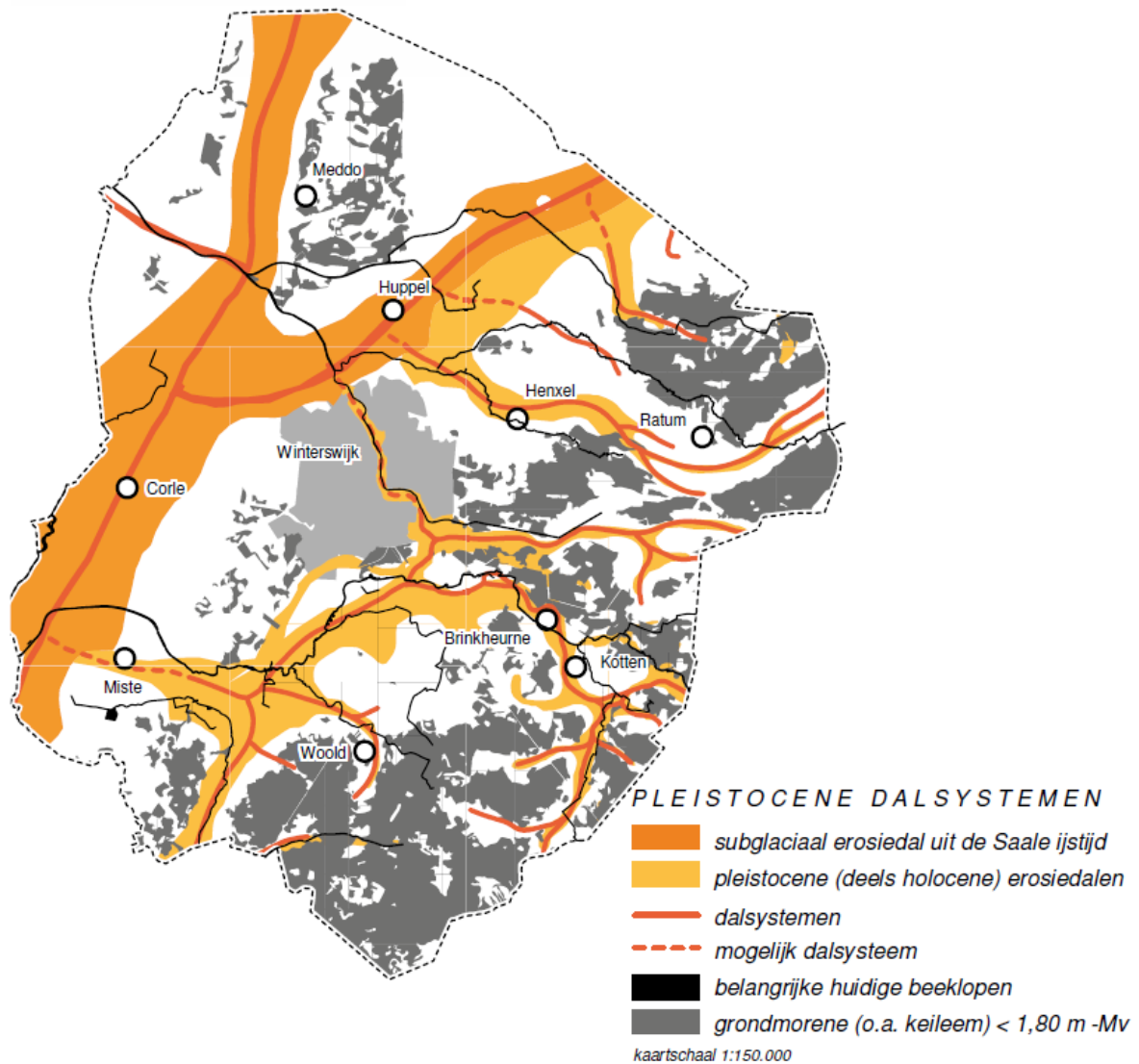
Kenozoïcum: Pleistoceen

Lokaal worden er in het gebied rond Winterswijk afzettingen gevonden die behoren tot de Formatie van Sterksel. Dit zijn rivierafzettingen die zijn afgezet tijdens het vroeg Pleistoceen (circa 2,58-0,773 miljoen jaar geleden) en vaak bestaan uit grof zand, grind en lokaal kleiige lagen kunnen bevatten.

De grootste impact tijdens het Pleistoceen op het hedendaagse landschap vond echter plaats tijdens de voorlaatste ijstijd, het Saalien. In deze periode reikte de Scandinavische ijskap tot in Nederland, en lag het studiegebied onder een dik pakket ijs. De contouren van de gletsjer zijn nog duidelijk herkenbaar in het hoogtemodel van de regio. Het ijspakket bracht grote stenen mee vanuit Scandinavië, zogenaamde zwerfstenen, waarvan soms zeer grote exemplaren gevonden worden in de omgeving van Winterswijk. Daarnaast heeft de ijskap een grondmorene gevormd die bestaat uit een laag keileem. Keileem is een ongesorteerde mix van zand, leem en klei en komt, voornamelijk ten oosten van Winterswijk, veelvuldig voor in de ondiepe ondergrond. Het pakket is meestal minder dan 3 meter dik (Van den Bosch & Kleijer, 2003), maar heeft een belangrijke invloed op de hydrologie van het gebied door zijn ondoorlatende karakter en de grillige verspreiding van het sedimentpakket.

Naast de grondmorene afzettingen heeft de ijskap van het Saalien nog een belangrijke impact gehad op het landschap. Zo zijn er door water dat onder hoge druk onder de ijskap vandaan stroomde diepe smeltwatergeulen gevormd. Ten tijde van het terugtrekken van de ijskap vormden deze diepe dalen een meer dat voor een deel ingevuld is met kleiige afzettingen, maar ook met zandige smeltwaterafzettingen. De

omringende, hoger gelegen plateaus waren onderhevig aan erosie door afstroming waardoor er (diepe) erosiedalen ontstonden (Figuur 2.4 [Neeffjes & Willemse, 2009]).



Figuur 2.4 Overzicht van de Pleistocene erosiedalen en het ondiep voorkomen van grondmorene afzettingen in de omgeving Winterswijk (Kaart uit Neeffjes & Willemse, 2009).

Tijdens het laatste interglaciaal, het Eemien (~0.126-0.116 miljoen jaar geleden), is er door het destijds heersende warme en vochtige klimaat veel klei en veen afgezet in het midden van de bekkens en dalen, maar ook zandige lagen aan de randen (Van den Bosch & Kleijer, 2003).

Het opvolgende Weichselien (~0.116-0.0117 miljoen jaar geleden) is voor het overgrote deel een barre ijstijd waarin veel oppervlakkige afstroming en erosie plaatsvindt op de plateaus, waarvan de sedimenten vervolgens worden afgezet in de bestaande (erosie)dalen waardoor deze verder opgevuld raken. De diepere delen van de beekdalen van de Boven-Slinge en Stortelersbeek bestaan daardoor voornamelijk uit deze zogenaamde fluvioperiglaciale afzettingen. Afzettingen die dateren uit het latere deel van het Weichselien, met name die van de Slinge, bevatten onder andere veel brokjes krijtgesteente, wat erop wijst dat krijtafzettingen in het bovenstroomse deel van de Slinge op dat moment actief werden geërodeerd (Van den Bosch & Kleijer, 2003).

De laatste fase van het Weichselien is een erg koude en droge periode waarin er verstuiving door de wind plaatsvindt. Dit zorgt voor de vorming van de zandige dekzanden, die zowel een licht golvend als lokaal een

relatief steil reliëf karakter in de vorm van landduinen vertonen. Het grootschalig verstuiven van zand heeft een belangrijke invloed gehad op de aanwezige (beek)dalen. Door het grote volume aan eolisch transport raakten deze beken lokaal 'verstopt' met (fijne) zanden wanneer de stroming niet groot genoeg was. Hierdoor moesten de beeklopen zich her en der verplaatsen om de verstuivende zandduinen te omzeilen (Van den Bosch & Kleijer, 2003). Ondanks dat de verstuivingen lokaal ook voorkwamen in het opvolgende Holoceen, is het overgrote deel gevormd tijdens het laatste deel van het Weichselien.

Holoceen

Aan het begin van het Holoceen steeg de temperatuur snel en nam ook de mate van neerslag toe. Daarnaast stegen de grondwaterstanden mee met het opvullen van de (beek)dalen tijdens het voorgaande Pleistoceen (Neefjes & Willemse, 2009) en stagneerde veel van de neerslag op de relatief ondoorlatende keileem en Tertiaire kleien in de ondergrond op de plateaus. Hierdoor ontstonden er kleiige en venige afzettingen in de beekdalen en konden er ook zogenaamde 'hoogvenen' ontstaan. Deze hoogvenen worden gekenmerkt doordat ze gevoed worden door regenwater, waardoor er specifieke soorten die tegen voedselarme en zure groeiomstandigheden bestand zijn kunnen groeien, zoals veenmossen (*Sphagnum*). Aan de randen van deze hoogvenen waren zones met laagveen en/of overgangsvveen aanwezig waar mineralenrijkere omstandigheden aanwezig waren. Hieruit ontsprongen beken die het afstromende water afvoerden.

Tevens verandert het landschap van een kale, toendra-achtige vlakte naar een dichtbegroeid loofbos tijdens de loop van het Holoceen. De sedimenten die tijdens het Holoceen door de aanwezige beken zijn afgezet, bestaan veelal uit zand, leem, klei en plaatselijk beekdalveen (Kleijer, 2001) en behoren tot het laagpakket van Singraven uit de Formatie van Boxtel. De natuurlijke vegetatiebedekking heeft bestaan totdat de bevolking in het gebied toenam en er ontginningen plaatsvonden voor akkers en boerderijen. Deze ontginningsgeschiedenis is in detail in kaart gebracht door o.a. Neefjes & Willemse (2009) en zal om deze reden slechts ten dele worden beschreven in § 2.2.1. Als gevolg van de ontginningen kon er lokaal hernieuwde verstuiving van de aanwezige dekzanden plaatsvinden in dit late deel van het Holoceen, waardoor er stuifzandgebieden ontstonden met bijbehorende stuifzandduinen. Als gevolg van het agrarisch gebruik ontstonden, vooral op dekzandruggen, dikke esdekken. Door turfwinning en ontwatering zijn grote delen van het voormalige hoogveen verdwenen.

2.1.2 Geohydrologie

Onder geohydrologie wordt met name de stroming van grondwater verstaan. De geohydrologie is een gevolg van de geologische geschiedenis en de geologische opbouw zoals beschreven in § 2.1.1. De eigenschappen van gesteentelagen en sedimentpakketten kunnen behoorlijk verschillen. Hierdoor bestaan er ook aanzienlijke verschillen in de mate van doorlatendheid van de verschillende geologische formaties, wat van groot belang is voor de grondwaterstromingen. Door de complexe geologie in de omgeving van Winterswijk en in het stroomgebied van de Slinge is ook de dynamiek van het grondwatersysteem gecompliceerd (Bijlage 2). In het bovenstroomse gedeelte van de Boven-Slinge, in Duitsland, komt krijtgesteente relatief ondiep onder het maaiveld voor (Bijlage 2). In dit gebied bevinden zich inziggingszones in het krijtgesteente (Neefjes & Willemse, 2009). Het inziggende grondwater uit Duitsland wordt voor een deel afgegeven als kwelwater aan de Boven-Slinge rond Kotten (Van den Bosch & Kleijer, 2003). Dit geeft aan dat een deel van de Krijtafzettingen (gedeeltelijk) watervoerend zijn en, afhankelijk van de positie in het landschap, inziggings- of kwelzones kunnen vormen. De aanwezige Pleistocene dalsystemen zijn voor een groot deel gevuld met beter doorlatende zandige afzettingen en vormen daardoor een watervoerend pakket. Daarnaast worden deze dalsystemen gevoed door diepere grondwaterstromen daar waar ze oudere watervoerende pakketten aansnijden.

De aanwezige (kleiige) afzettingen uit het Tertiair in het gebied worden veelal aangemerkt als de basis van het eerste watervoerende pakket, omdat deze kleien (zeer) slecht doorlatend zijn. Echter, in het oostelijke deel van de omgeving Winterswijk is dit hoogstwaarschijnlijk niet (overal) terecht. Daar zijn de zanden boven de tertiaire kleien namelijk lokaal hydrologisch verbonden met dieper gelegen aquifers, omdat de tertiaire afzettingen lokaal ook zandig van aard zijn (Van den Bosch & Kleijer, 2003). Daarnaast komt er vooral in het oostelijke deel van het gebied op geringe diepte (slecht doorlatend) keileem voor (Figuur 2.4), al is de verbreiding hiervan grillig. De combinatie van deze slecht doorlatende geologische afzettingen zorgt ervoor dat de grondwaterstand sterk kan fluctueren in het gebied (Neefjes & Willemse, 2009). Zo kan de

relatief ondoorlatende klei ervoor zorgen dat de plateaus in de winter erg nat zijn door stagnerend (regen)water, terwijl droge periodes in de zomer kunnen leiden tot droogte op de plateaus door een gebrek aan aanvulling vanuit grondwaterstromingen. Op delen van de plateaus werd water in het verleden wel lang vastgehouden, waardoor permanent natte situaties en hoogveenvorming ontstond, zoals in Wooldse Veen, Blekkinkveen en Witte Veen (Sevink et al., 2014). *Al met al zorgt de sterk variërende ondergrond van het gebied er voor een complexe geohydrologie met sterke lokale variaties.*

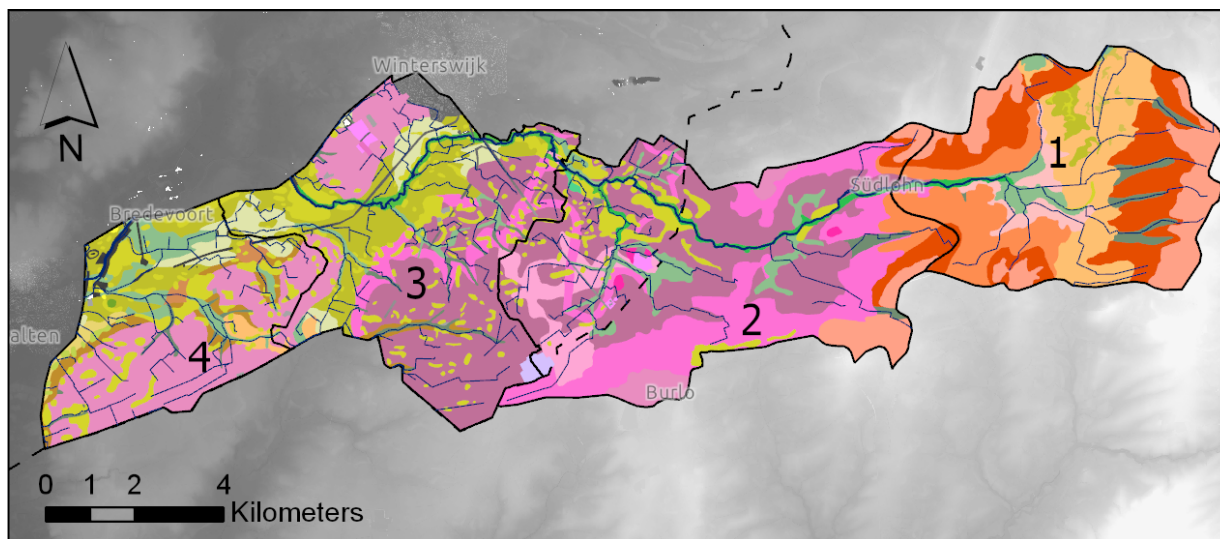
2.1.3 Geomorfologie, hydromorfologie en deelgebieden

In Figuur 2.5 is te zien hoe gevarieerd de geomorfologie van het projectgebied is. In tegenstelling tot grote delen van Nederland, waar in het landschap vooral de invloeden van het Pleistoceen en Holoceen te zien zijn, is het landschap hier sterk afhankelijk van oudere geologische afzettingen die hier relatief ondiep liggen (§ 2.1.1). De bovenstroomse delen van het stroomgebied van de Boven-Slinge worden vooral gekenmerkt door vereffeningsrestanten en grondmorene morfologie. Vereffening is het erosieproces waarbij het landschap vlaksgewijs wordt verlaagd. Door geringe reliëfgradiënten en het ontbreken van een diepe erosiebasis, overheersen de horizontale erosieprocessen over de verticale. Door het proces van vereffening liggen pre-pleistocene afzettingen relatief dicht aan het aardoppervlak. De benedenstroomse delen worden daarentegen gekenmerkt door een sterkere invloed van het beekdal en omliggende dekzandvormen. Om rekening te kunnen houden met de verschillen in geologie en geomorfologie bij de beschrijving van het systeem, is het onderzoeksgebied verdeeld in vier deelgebieden (Figuur 2.5). De indeling van de deelgebieden is gebaseerd op natuurlijke waterscheidingen, de huidige stroomgebieden van de watergangen, geomorfologie en geologie:

1. Brongebied van de Boven-Slinge
2. Het vereffeningsrestplateau
3. Dekzandreliëf in oude erosiegeul
4. Aftakking naar Keizersbeek

Om de hydromorfologische karakteristieken van de Boven-Slinge in de verschillende secties uit te drukken, wordt het stabiliteitsdiagram van Kleinhans & Van den Berg (2011) toegepast (voor uitleg zie Bijlage 10). De overige beeksystemen in het projectgebied kunnen door afwezigheid van (betrouwbare) debietgegevens niet worden meegenomen in het stabiliteitsdiagram. De gekozen deelgebieden worden in § 2.1.5 tot en met § 2.1.8 beschreven met betrekking tot geomorfologie, hydromorfologie en de Landschappelijk Bodemkaart.

Omdat er geen bestaande geomorfologische kaart beschikbaar is voor het bovenstroomse gedeelte van het projectgebied in Duitsland is deze in dit project vervaardigd. De geomorfologische kaart geeft een indeling van het landschap op reliëf, ondergrond, genese en ouderdom. De geomorfologische kaart vormt daarnaast een input voor de Landschappelijke Bodemkaart. Voor het overgrote deel van het studiegebied dat in Nederland ligt, is een detailbodemkaart beschikbaar (schaal 1:10.000 (Kleijer, 2001)). Deze geeft meer detail in de afgeleide Landschappelijke Bodemkaart in dit Nederlandse deel van het studiegebied (Figuur 2.6). Voor het overige deel van het Nederlandse gebied hebben we de Bodemkaart en Geomorfologische Kaart van Nederland gebruikt zoals te raadplegen op bodemdata.nl. Voor het deel van het studiegebied dat in Duitsland ligt, hebben we vertalingen gemaakt van de Duitse bodemkaart naar de Nederlandse bodemclassificatie.



Geomorfologische Kaart

B: Geïsoleerde heuvels, heuvelruggen en dijken

- B13 Grondmoreenerug
- B31 Vereffeningrest-heuvel
- B52 Dekzandkopje
- B53 Dekzandrug
- B56 Gordeldekzandrug

F: Plateau-achtige vormen

- F11 Plateau-achtige grondmoreenerug
- F31 Plateau-achtige vereffeningrest
- F91 Plateau-achtige storthoop, opgespoten terrein of kunstmatig eiland

G: Waaiervormige glooiingen

- G21 Daluitspoelingswaaier

H: Niet-waaiervormige glooiingen

- H12 Grondmoreneglooiing
- H31 Vereffeningrestglooiing
- H32 Glooiing van hellingafspoelingen

L: Heuvels en heuvelruggen met bijbehorende vlakten en laagten

- L11 Grondmorenewelvingen
- L31 Vereffeningrest-welvingen

L51 Complex van dekzandwelvingen

L52 Complex van gordeldekzandwelvingen

L54 Landduinen met bijbehorende vlakten en laagten

L91 Storthopen met grind-, zand-, kleigaten of ijzerkuilen

M: Vlakten

M11 Vlake van grondmorene

M31 Vereffeningrest-vlake

M53 Vlake van ten dele verspoelde dekzanden of löss

M83 Veenrestvlakte

N: Niet-dalvormige laagten

N51 Uitblazingskom

N94 Laagte ontstaan door afgraving

R: Dalen

R21 Droogdal

R23 Dalvormige laagte

R42 Beekdalbodem

R43 Restgeul

R46 Beekdalbodem met meanderruggen en geulen

R91 Holle weg

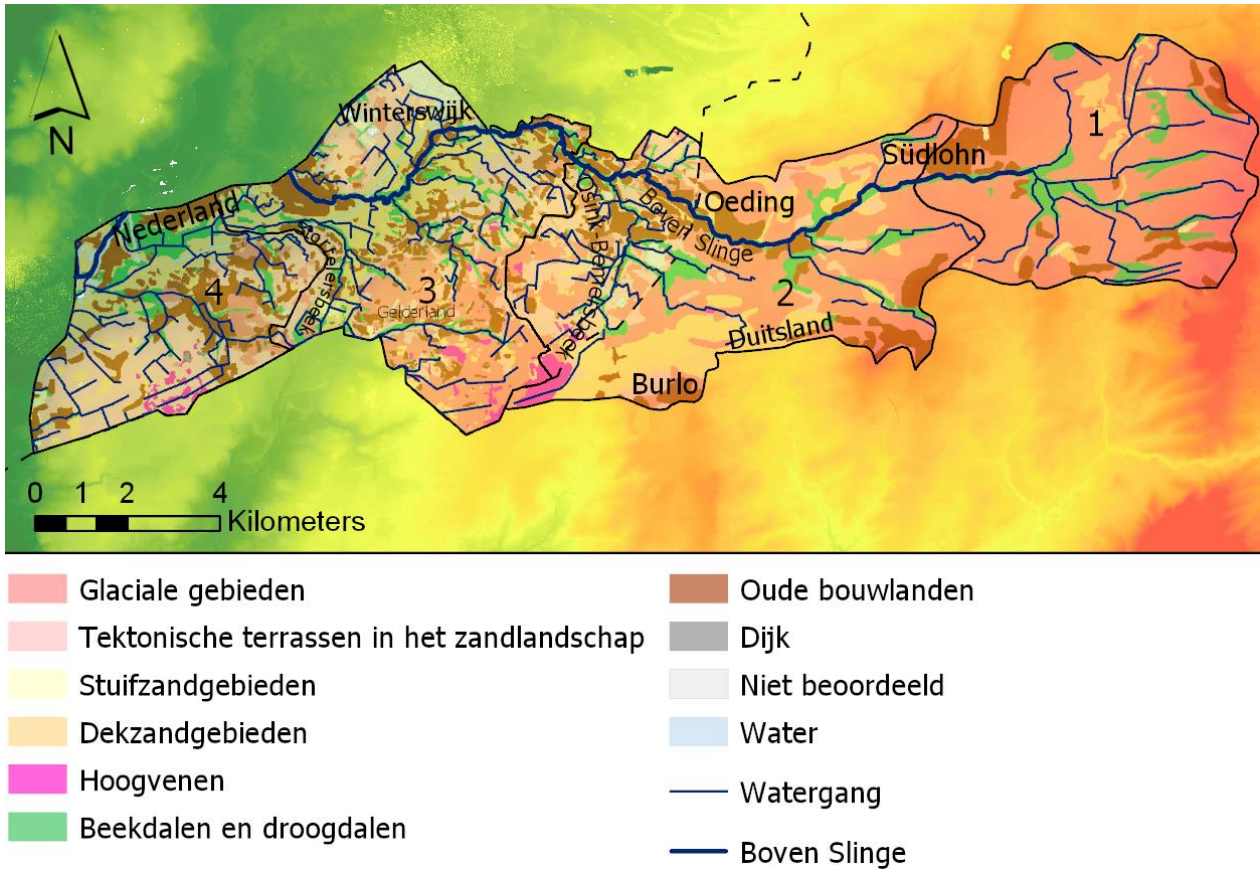
— Watergang

Figuur 2.5 Overzicht nieuwe gebiedsdekkende geomorfologische kaart van het projectgebied. De verschillende deelgebieden zijn aangegeven met de dikke zwarte lijnen en de getallen 1-4, waarbij: 1) Brongebied van de Boven-Slinge, 2) Het vereffeningrestplateau, 3) Dekzandrelief in oude erosiegeul en 4) Aftakking naar Keizersbeek. De gestreepte zwarte lijn geeft de grens tussen Nederland en Duitsland weer.

2.1.4 Landschappelijke Bodemkaart van het studiegebied

Een Landschappelijke Bodemkaart (LBK) beschrijft de fysisch-geografische structuur van het landschap. Met de fysisch-geografische structuur bedoelen we de landvormen en bodemtypen in het gebied en de hydrologische situatie die geleid heeft tot de bodemtypen die we er nu aantreffen (zie Bijlage 1). We hebben een LBK afgeleid voor het studiegebied uit de bodemkaarten en geomorfologische kaarten. De legenda van de LBK heeft een hiërarchische indeling. Daardoor kan de kaart worden weergegeven op verschillende schaalniveaus. De niveaus in de legenda zijn Fysisch-Geografische (FG) Regio's, FG-Secties, FG-Series en FG-Typen. De methode voor het afleiden van de LBK en de legenda wordt toegelicht in Bijlage 1. De Landschappelijke Bodemkaart voor het studiegebied is in Figuur 2.6 weergegeven op het niveau van FG-Secties. De FG-Secties worden vooral door de geomorfologie bepaald.

Voor de deelgebieden tonen we de LBK op het niveau van FG-Series (§ 2.1.5 t/m 2.1.8). Op dit niveau zijn de kaarteenheden grotendeels afhankelijk van de eenheden op de bodemkaart. Tabel 2-1 geeft de oppervlakten van de FG-Secties en FG-Series in het studiegebied. Eenheden op het laagste niveau van de LBK, de FG-Typen, zijn te klein om op de kaartschaal weer te geven die we gebruiken voor de deelgebieden. De FG-Typen worden echter wel gebruikt voor de analyse van de realisatiekansen in § 2.2.3 en 2.4.2 en bij het beoordelen van de klimaatscenario's in Hoofdstuk 3.



Figuur 2.6 Landschappelijke Bodemkaart (LBK) van het studiegebied op het niveau van FG-Secties.

Tabel 2-1 Oppervlakte van de in het studiegebied voorkomende Fysisch Geografische Secties en Series (FG-Secties en FG-Series) op de Landschappelijke Bodemkaart. Codes en namen als in de legenda van de LBK (zie Tabel B1.1).

FG-Sectie	FG-Serie	Oppervlakte (ha)	
		Sectie	Serie
HzB Beekdalen en droogdalen		1280	
	HzBB Brongebieden en kwelgevoede beekdalen		414
	HzBD Droogdalen		213
	HzBN Niet kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken		273
	HzBV Beekdalvlakte		357
	HzBW Beekoeverwallen		0
	HzB Beekdalen en droogdalen – niet onderverdeeld		23
HzD Dekzandgebieden		1820	
	HzDA Leemarme droge dekzandgebieden		340
	HzDG Grondwater gevoede vennen		3
	HzDL Lemige dekzandgebieden en dekzand op leem		565
	HzDR Regenwater gevoede vennen		3
	HzDV Vochtige dekzandlaagten		910
HzG Glaciale gebieden		4688	
	HzGK (Kei)leemopduikingen		2896
	HzGPa Leemarme puinwaaiers en smeltwaterafzettingen		23
	HzGPI Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen		650
	HzGSa Leemarme stuwwallen		451
	HzGSI Lemige stuwwallen		667
	HzG Glaciale gebieden – niet onderverdeeld		1
HzH Hoogvenen		183	
	HzHO Overgangsvenen in hoogveen		183
HzO Oude bouwlanden		2130	
	HzOB Bruine eerdgronden		610
	HzOK Kleiige eerdgronden		23
	HzOL Lage eerdgronden		201
	HzOZ Zwarte eerdgronden		1296
HzS Stuifzandgebieden		47	
	HzSD Landduinen		13
	HzSF Forten en Overstoven laagten		12
	HzSL Uitgestoven laagten		22
HzT Tektonische terrassen in het zandlandschap		2057	
	HzT Tektonische terrassen in het zandlandschap		3
	HzTA Leemarme terrassen		1417
	HzTG Grofzandige terrassen		1
	HzTK Kleiige terrassen		61
	HzTL Lemige terrassen		575
Overig			
	D Dijk		46
	NB Niet beoordeeld		311
	W Water		14
Eindtotaal		12576	

Landschappelijke Bodemkaart: niveau FG-Secties

De Landschappelijke Bodemkaart op het niveau van FG-Secties wordt voornamelijk bepaald door de geomorfologie van het landschap, ofwel de landvormen, hun ontstaanswijze en het reliëf (zie ook § 2.1.3). In de ondergrond komen in grote delen van het gebied tertiaire en oudere afzettingen voor die door bewegingen van de aardkorst tijdens de overgang van het Krijt naar het Paleogeen zijn opgeheven. Deze afzettingen zijn in de westelijke helft van het studiegebied herkenbaar als plateaus, die op de LBK staan

aangeduid als 'Tektonische terrassen in het zandlandschap' (FG-Sectie HzT – 16,4% van het studiegebied, zie Tabel 2-1). In Figuur 2.7 is de rand van zo'n plateau bij Aalten te zien.

Door de landijsbedekking tijdens het Saalien zijn de tertiaire en oudere afzettingen in een groot deel van het gebied afgedekt met keileem of andere glaciale afzettingen. Deze komen vooral in de oostelijke helft voor en zijn op de LBK aangegeven als 'Glaciale gebieden' (HzG – 37,3% van het studiegebied). De pleistocene erosiegeulen die ontstaan zijn bij het afsmelten van landijs (Figuur 2.4) zijn grotendeels opgevuld met smeltwaterafzettingen en afgedekt door fluvioperiglaciale afzettingen en dekzanden die wij rekenen tot de 'Dekzandgebieden' (FG-Sectie HzD – 14,5% van het studiegebied). Ook buiten de erosiegeulen is dekzand afgezet op de oudere glaciale afzettingen. Waar deze dekzandafzettingen aan maaiveld voorkomen, worden deze gerekend tot dezelfde FG-Sectie.

Op slecht doorlatende tertiaire kleien en keileem op de plateaus is door stagnatie van regenwater hoogveen ontstaan (FG-Sectie 'Hoogvenen': HzH – 1,5% van het studiegebied). De grootste oppervlakte aan hoogvenen vinden we nu nog in het Wooldse Veen en Burlo-Vardingholter Venn. Restanten komen verspreid voor op de plateaus, maar een groot deel is verdwenen door turfwinning, ontwatering en ontginning. Zo komen nog wat resten voor van het Witte Veen bij De Haart (Figuur 2.14).

Door het oppervlakkig afstromende water zijn beekdalen gevormd en in de terrasranden zijn droogdalen uitgeslepen. De hoofdlopen volgen grotendeels de pleistocene erosiegeulen, waarbij ook kwel mogelijk is via de goed doorlatende dalopvulling. Bovenlopen en zijlopen liggen veelal in delen met ondiep slecht doorlatende lagen. Een deel van deze lopen is kunstmatig om de afwatering van voorheen natte laagtes te verbeteren. De FG-Sectie 'Beekdalen en droogdalen' (HzB) omvat 10,2% van de totale oppervlakte van het studiegebied.



Figuur 2.7 Door tektoniek gevormd terras bij Aalten (Foto: Bas van Delft).

Waar de hoogvenen grotendeels door menselijk toedoen zijn verdwenen en een deel van de beeklopen gegraven is, zijn de laatste twee FG-Secties vrijwel geheel ontstaan onder invloed van de mens: op de dekzandruggen en andere voldoende droge gronden is door het gebruik als akker een esdek ontstaan. Dat zien wij terug in de 'Oude bouwlanden' (HzO – 16,9%). Deze vinden we vooral terug in de nabijheid van de dorpen en op de overgang van beekdalen naar de hogere gronden. Zeer lokaal is door overexploitatie het dekzand gaan verstuiven. Hierdoor zijn enkele 'Stuifzandgebieden' (HzS – 0,4%) ontstaan.

2.1.5 Deelgebied 1: Brongebied van de Boven-Slinge in Duitsland

Geomorfologie

Het brongebied van de Boven-Slinge (deelgebied 1 in Figuur 2.5) heeft keileemlagen van de grondmorene en ondiep voorkomend gesteente uit het Krijt. In de grondmoreneruggen zijn droge dalen gevormd door oppervlakkig afstromend smeltwater tijdens de laatste ijstijd (Figuur 2.5). Deze leidden het smeltwater naar de trechtersvormige vlakke in het midden van het deelgebied. Een duidelijk geulpatroon ontbreekt. Dit geeft aan dat het gebied diffuus afwaterde en fungeerde als spons. Indicaties van vroegere veenvorming op de vlakke zijn nog aanwezig. Nu liggen gegraven watergangen in de droge dalen en in de vlakke, waardoor het

gebied snel kan afwateren en zijn sponswerking verloren heeft. Het water van de Boven-Slinge verzamelt zich in een smalle geul in het westen van het deelgebied waarbij het een natuurlijke drempel doorsnijdt in de omgeving van Südlohn (Figuur 2.5).

Hydromorfologie

De bovenste watergangen in dit deelgebied van het systeem zijn gegraven in de droge dalen (helling $\approx 0.25^\circ$) en op de accumulatievlakte (helling $< 0.05^\circ$). Er zal hier weinig tot geen sedimenttransport plaatsvinden door een combinatie van een laag debiet en de flauwe helling. Niet alle watergangen in dit gebied zullen het gehele jaar watervoerend zijn. Hierdoor vindt weinig sedimenttransport plaats en wordt het rechte karakter van de waterlopen niet actief aangepast. Waar de Boven-Slinge tussen de twee grondmorenen het brongebied verlaat, is de helling nog relatief beperkt ($< 0.05^\circ$), maar is het debiet hoger. Door het lemige karakter van de aangrenzende grondmorenen wordt de Boven-Slinge echter beperkt in zijn laterale migratie en verdere insnijding. Systemen die door invloed van de omgeving lateraal niet vrij kunnen migreren, passen eigenlijk niet in de geulpatroonvoorspeller. Echter, als we het stuk van de Boven-Slinge dat tussen de twee grondmoreneruggen stroomt plotten in de geulpatroonvoorspeller van Kleinhans & Van den Berg (2011), zien we dat de Boven-Slinge hier wel de potentie heeft om lateraal te migreren en te meanderen (Bijlage 10). Indicaties hiervan zijn in het smalle dal wel terug te zien, ondanks dat de beekloop grotendeels is gekanaliseerd. In de natuurlijke achtergrondsituatie zal het hydromorfologische karakter van dit deel van de Boven-Slinge er soortgelijk uit hebben gezien. Weinig laterale migratie kon plaatsvinden door de combinatie van lagere piekafvoeren en de aangrenzende grondmoreneruggen.

Op basis van een geulvormende afvoer van $5 \text{ m}^3/\text{s}$ is de evenwichtsbreedte van de Boven-Slinge in dit deelgebied rond de 10.5 m en de evenwichtsdiepte van de geul 1.0 m (Tabel 2-2). Voor dit deel van het studiegebied zijn geen gedetailleerde dwarsprofielen van de geul beschikbaar. Uit analyse van het hoogtemodel blijkt dat de huidige breedte van de geul iets kleiner is dan de evenwichtsbreedte, ca. 8 à 9 m. De huidige diepte van de geul is rond de 1.5 tot 2 m, wat duidt op insnijding.

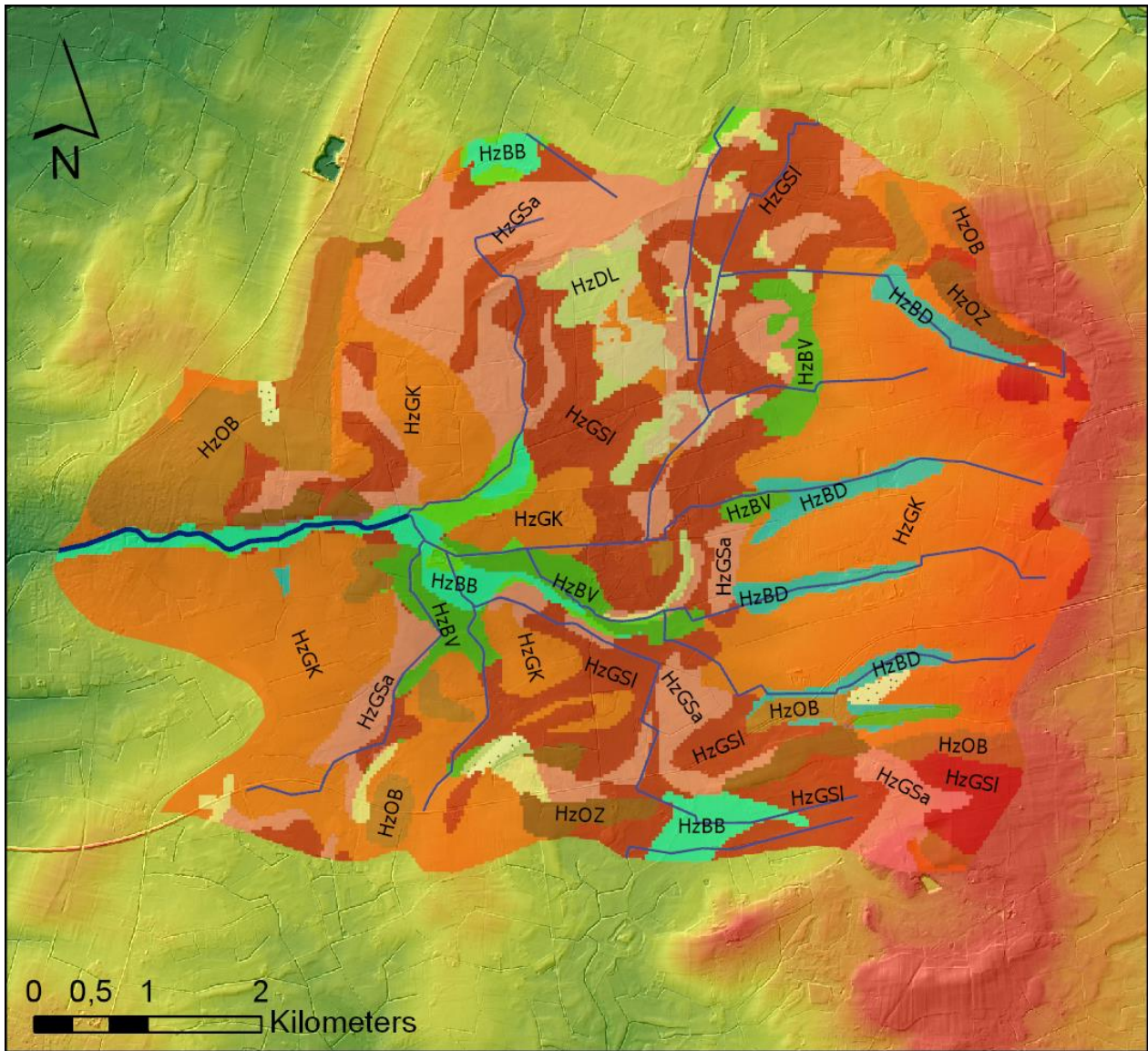
Tabel 2-2 Gebruikte waarden voor de berekening van de invulling van het stabiliteitsdiagram en waarden voor de evenwichtsbreedte en -diepte van de Boven-Slinge in de verschillende deelgebieden.

Deelgebied	Geulvormende afvoer [m^3/s]	Dalhelling [-]	Mediane korreldiameter [μm]	Evenwichtsbreedte [m]	Evenwichtsdiepte [m]
1	5	0.0007 (0.04°)	210	10.5	1.0
2	8	0.0016 (0.09°)	300	13.3	1.2
3	11	0.0014 (0.08°)	375	15.6	1.4
4	11	0.0006 (0.03°)	350	15.6	1.4

Landschappelijke Bodemkaart

Figuur 2.8 geeft de Landschappelijke Bodemkaart voor deelgebied 1. Hier komen voornamelijk glaciële afzettingen voor (HzG). Het oostelijke en westelijke deel bestaan uit plateaus met ondiep voorkomende keileem '(Kei)leemopduikingen' (HzGK). Hierin is een aantal 'Droogdalen' (HzBD) uitgesleten. In het middengebied tussen deze plateaus komen 'Lemige stuwwallen' (HzGSI) en 'Leemarme stuwwallen' (HzGSa) voor, plaatselijk bedekt door dekzand (eenheden HzDL en HzDV).

In het dekzand zijn oude bouwlanden ontwikkeld, voornamelijk 'Bruine eerdgronden' (HzOB) (Figuur 2.8). Het brongebied van de Boven-Slinge is herkenbaar als een strook kwelgevoede bodems (eenheid 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen': HzBB). Naast het beekdal en aan de rand van het oostelijke plateau komen 'Beekdalvlakten' (HzBV) voor. Hier is een kleidek afgezet door verspoeling van keileem.



- | | |
|--|--|
| ■ HzBB Brongebieden en kwelgevoede beekdalen | ■ HzOZ Zwarte eerdgronden |
| ■ HzBN Niet kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken | ■ HzOB Bruine eerdgronden |
| ■ HzBV Beekdalvlakte | ■ HzOK Kleiige eerdgronden |
| ■ HzBW Beekoverwallen | ■ HzOL Lage eerdgronden |
| ■ HzBD Droogdalen | ■ HzSD Landduinen |
| ■ HzB Beekdalen en droogdalen | ■ HzSF Forten en Overstoven laagten |
| ■ HzDA Leemarme droge dekzandgebieden | ■ HzSL Uitgestoven laagten |
| ■ HzDL Lemige dekzandgebieden en dekzand op leem | ■ HzTL Lemige terrassen |
| ■ HzDV Vochtige dekzandlaagten | ■ HzTA Leemarme terrassen |
| ■ HzDG Grondwater gevoede vennen | ■ HzTG Grofzandige terrassen |
| ■ HzDR Regenwater gevoede vennen | ■ HzTK Kleiige terrassen |
| ■ HzGSI Lemige stuwwallen | ■ HzT Tektonische terrassen in het zandlandschap |
| ■ HzGSa Leemarme stuwwallen | ■ NB Niet beoordeeld |
| ■ HzGPI Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen | ■ D Dijk |
| ■ HzGPa Leemarme puinwaaiers en smeltwaterafzettingen | ■ W Water |
| ■ HzGK (Kei)leemopduikingen | — Boven Slinge |
| ■ HzG Glaciale gebieden | — Watergang |
| ■ HzHO Overgangsvenen in hoogveen | |

Figuur 2.8 Landschappelijke Bodemkaart van deelgebied 1, het brongebied van de Boven Slinge in Duitsland, op het niveau van FG-Series.

2.1.6 Deelgebied 2: Het vereffeningsrestplateau

Geomorfologie

In het tweede deelgebied spelen ondiepe keileemlagen nog steeds een grote rol, zoals ook te zien is in Figuur 2.5. De Boven-Slinge komt ter hoogte van Südlohn uit de versmalling tussen twee grondmoreneruggen. Hier gaat de grondmorene over in een vereffeningsrest en wordt het dal van de Boven-Slinge breder. Door het proces van vereffening verdwijnt eerder gevormd reliëf door erosie, in dit geval door landijsbedekking, en blijft een relatief vlak gebied over. Hierdoor liggen in dit gebied de oudere, pre-pleistocene, afzettingen dicht aan het aardoppervlak. Dalvormige laagten die zorgen voor afwatering van de laagten in de vereffeningsresten ten noorden en zuiden de Boven-Slinge komen in dit deelgebied samen in het dal. De natuurlijke hydrologische kenmerken van deze kleinere systemen in de dalvormige laagten zijn grotendeels verstoord. Dit is vooral te zien ten oosten van Oeding, waar de Eschbach – Rottgraben niet meer de natuurlijke dalvormige laagte volgt, maar door een rug geleid wordt.

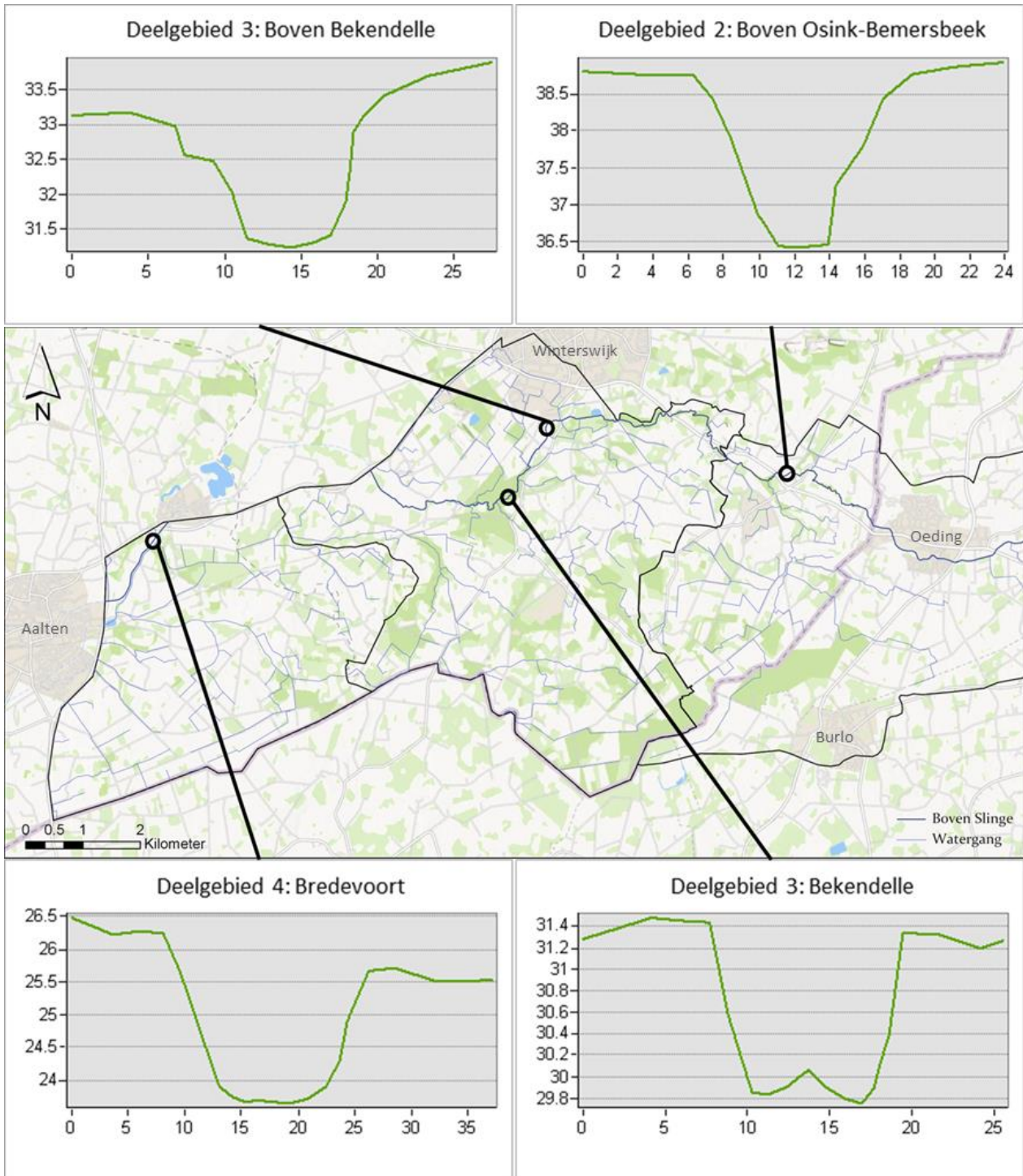
Dekzandvormen zoals dekzandruggen spelen rondom de grens Duitsland en Nederland een grotere rol voor de beekmorfolgie. De vorm van het beekdal wordt grotendeels bepaald door de aangrenzende dekzandruggen. Daarnaast vindt er een overgang plaats van een beekdalbodembodem (in Duitsland) naar een beekdalbodembodem met meanderruggen en geulen (Figuur 2.5). Net voorbij de grens voegen zich twee dalvormige laagten bij het dal van de Boven-Slinge. Een relatief klein systeem (Rotman Water-Leiding) vanuit het noorden en een groot systeem, de Osink-Bemersbeek, uit het zuiden. Het dal van de Boven-Slinge wordt na samenkomst met deze twee systemen duidelijk breder (Figuur 2.5).

De Osink-Bemersbeek heeft een vergelijkbaar verloop met de bovenloop van de Boven-Slinge. Het brongebied bestaat uit een kleine accumulatievlakte die wordt gevoed door omliggende droge dalen en dalvormige laagten in een vereffeningsrest. Enkele gegraven watergangen verbinden het Wooldse Veen ook met deze accumulatievlakte. Het is onduidelijk of in de natuurlijke situatie deze connectie ook bestond, aangezien het Wooldse Veen voornamelijk richting het zuiden afwatert. De beek snijdt door een dekzandrug heen waarna het een ingesneden en meanderend karakter heeft en zich binnen 1,5 kilometer bij de Boven-Slinge voegt.

Hydromorfologie

In deelgebied 2 is het dal van de Boven-Slinge minder beperkt door omliggende landvormen, en daardoor kan de beek vrij migreren. Dit is terug te zien in het huidige landschap in het Nederlandse deel van de beekloop, en ook te zien op historische topografische kaarten van het Duitse deel. Uit de toepassing van het stabiliteitsdiagram voor geulvormen blijkt dat de beek in de natuurlijke achtergrondsituatie de potentie had om een vlechtend systeem te vormen (Bijlage 10), maar er is aan de aanwezigheid van afgedankte meanders in het gebied te zien dat de Boven-Slinge in de natuurlijke achtergrondsituatie desalniettemin meanderend door het landschap stroomde.

De Osink-Bemersbeek heeft in de natuurlijke achtergrondsituatie lateraal kunnen migreren. Dit blijkt uit een analyse van de morfologie, gradiënt van het beekdal en het beddingssubstraat. Dit geldt voornamelijk voor de beekloop ten noorden van de Buitinkweg. Verder bovenstrooms hebben substraat en debiet laterale activiteit van de beek waarschijnlijk beperkt. Nu kan de beek in delen niet meer vrij migreren, omdat hij diep is ingesneden.



Figuur 2.9 Dwarsdoorsneden van de geul van de Boven-Slinge binnen de verschillende deelgebieden en hun ligging in het projectgebied.

Op basis van een geulvormende afvoer van $8 \text{ m}^3/\text{s}$ is de evenwitsbreedte van de Boven-Slinge in dit deelgebied 13.3 m en de evenwichtsdiepte van de geul 1.2 m (Tabel 2-2). Figuur 2.9 toont een dwarsprofiel van de geul van de Boven-Slinge net bovenstrooms van het instroompunt van de Osink-Bemersbeek. De geul is hier ongeveer 11 m breed en meer dan 2 m diep. Insnijding verklaart waarom de breedte-diepteverhouding van de geul niet overeenkomt met die van de evenwichtssituatie.

Landschappelijke Bodemkaart

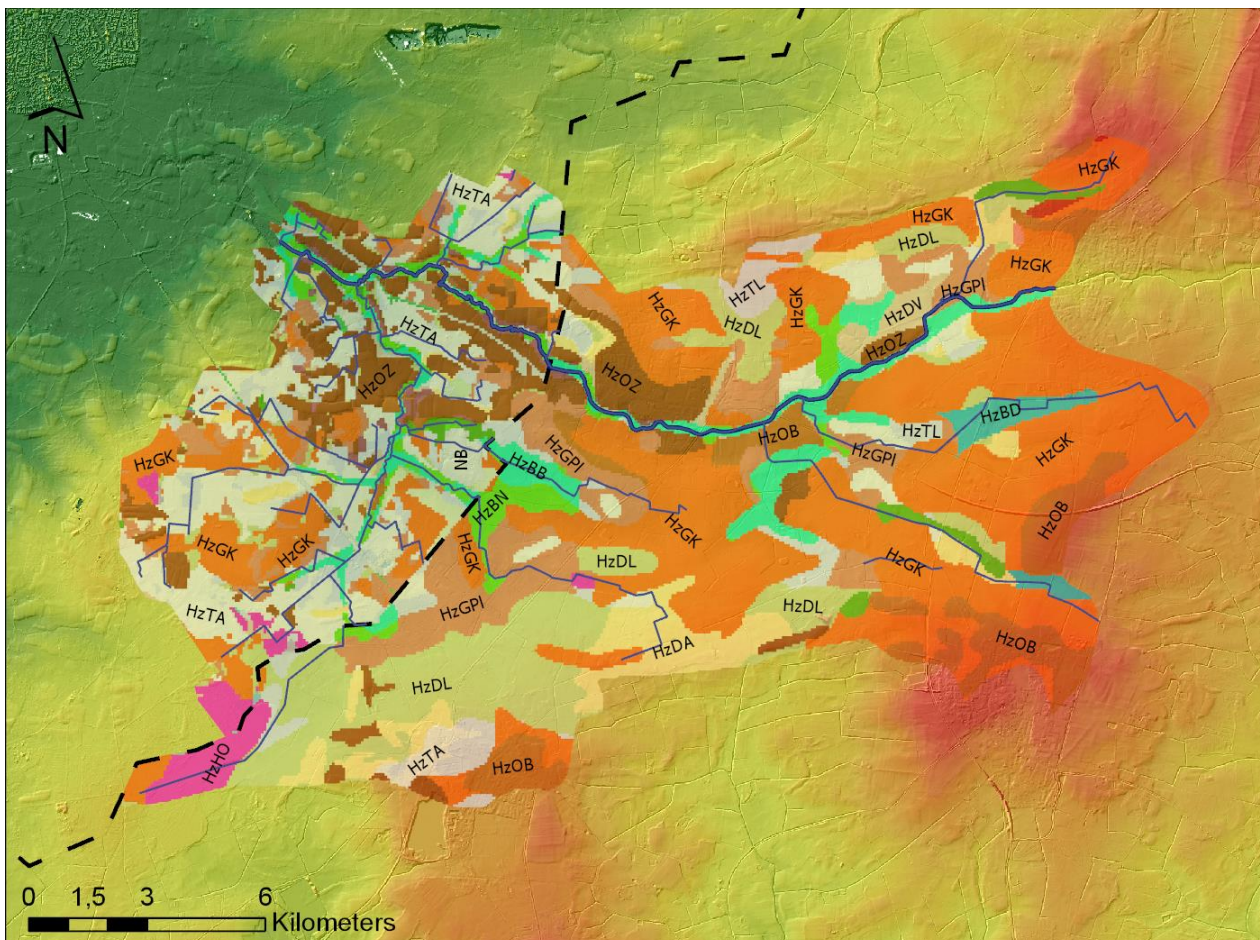
Figuur 2.10 geeft de Landschappelijke Bodemkaart voor deelgebied 2. De kaart heeft meer detail aan de Nederlandse kant van het gebied, omdat voor dit deel gebruikgemaakt is van de detailbodemkaart (Kleijer, 2001). Het is dus niet zo dat de bodem hier gevarieerder is dan in Duitsland.

In het Duitse deel komen vooral de eenheden '(Kei)leemopduikingen' (HzGK) voor, deels bedekt met dekzand, 'Lemige dekzandgebieden en dekzand op leem' (HzDL) met keileem, en 'Leemarme droge dekzandgebieden' (HzDA) in de dekzandruggen. Ook zijn hier nog enkele 'Droogdalen' (HzBD) te herkennen in de grondmorenerug die de westelijke begrenzing van dit deelgebied vormt. Op de overgangen naar de beekdalen komen smeltwaterafzettingen voor zonder keileemdek ('Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen', HzGPI).

In het Nederlandse deel ontbreken de glaciële afzettingen op de tertiaire en oudere afzettingen ('Leemarme terrassen', HzTA). De beekdalen en de bovenlopen van de zijbeken behoren meestal tot de 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen' (HzBB), terwijl de rest van de beekdalen vallen onder 'Niet kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken' (HzBN). De brongebieden van de beekdalen liggen in de puinwaaiers (HzGPI) en leemarme terrassen (HzTA), omdat daar keileem en tertiaire kleien ontbreken en er kwel mogelijk is.

In het noordwestelijke deel van het deelgebied stromen de beken langs dekzandruggen. Deze dekzandruggen zijn vrijwel allemaal omgezet in oud bouwland ('Zwarte' en 'Bruine eerdgronden' (HzOZ en HzOB).

In de zuidwesthoek vinden we het grootste hoogveenrestant in het studiegebied ('Overgangsvenen in hoogveen', HzHO). Het gedeelte in Duitsland is het Burlo-Vardingholter Venn (Figuur 2.11). Het Nederlandse deel is het Wooldse Veen. Het ligt grotendeels in deelgebied 3. Dit veen is ontstaan door stagnatie van regenwater op slecht doorlatende keileem en tertiaire kleien (Sevink et al., 2014).



Figuur 2.10 Landschappelijke Bodemkaart van deelgebied 2 op het niveau van FG-Series. Voor de legenda, zie Figuur 2.8. De zwart gestreepte lijn geeft de landsgrens weer.



Figuur 2.11 Het Wooldse Veen/ Burlo-Vardingholter Venn met een grenspaal op de Rijksgrens
(Foto's: Bas van Delft).

2.1.7 Deelgebied 3: Dekzandrelief in oude erosiegeul

Geomorfologie

In deelgebied 3 stroomt de Boven-Slinge in een Pleistocene erosiegeul, een zijtak van de smeltwatergeul van Winterswijk (Figuur 2.4). De beek stroomde voorheen via het dal van de huidige Wehmerbeek door Winterswijk (Van der Hoek, 1997). De loop is verlegd en aangesloten op een (bron)loop van de Aaltense Slinge. De erosiegeul is opgevuld met fluvio-periglaciale afzettingen en afgedekt met een laag dekzand. Hierdoor zijn er in het beekdal van de Boven-Slinge dekzandwellingen en -ruggen te vinden (Figuur 2.5). In enkele gevallen zijn de dekzandvormen leidend voor de loop van de beek en fungeren nu als dalranden bij sterk ingesneden delen van het beekdal (zoals in Bekendelle). De Boven-Slinge verlaat het projectgebied in het oosten van dit deelgebied.

Vanaf het vereffeningsrestplateau dat de erosiegeul aan weerszijden flankeert stromen enkele kleinere dalvormige laagten richting het beekdal van de Boven-Slinge. De grootste loop die zich ter hoogte van Bekendelle bij de Boven-Slinge voegt is de dalvormige laagte waarin de Limbeek stroomt. De dalvormige laagte waarin de Stortelersbeek stroomt, bevindt zich ook in dit deelgebied, maar komt hier nog niet samen met de Boven-Slinge/Keizersbeek. De bovenloop van de Stortelersbeek bevindt zich in dezelfde erosiegeul als de Boven-Slinge, daar waar deze verder richting het zuidwesten loopt. In deze erosiegeul zijn natuurlijke laagten tussen dekzandruggen gevormd, zoals het Blekkinkveen. Om deze relatief natte laagten af te kunnen waten, is een aantal waterlopen aangelegd of aangepast. De bovenloop van de Stortelersbeek is verder verdiept en uitgegraven richting het Blekkinkveen. Daarnaast zijn de Dambeek en de Haartse Waterleiding aangelegd om water uit het gebied te leiden. De natuurlijke afwatering vanuit het Blekkinkveen (en omgeving) richting Duitsland is hierdoor grotendeels in ongebruik geraakt.

Hydromorfologie

Toepassing van het stabiliteitsdiagram voor geulvormen (zie Bijlage 10) geeft voor deelgebied 3 het patroon 'Vlechtend of meanderend, met scrolls en chutes'. We vermoeden dat de Boven-Slinge in de natuurlijke achtergrondsituatie geen vlechtend beekstelsel was door lagere piekafvoeren dan tegenwoordig en een gebufferd afvoersysteem. De Boven-Slinge heeft vrij kunnen meanderen in het dekzandrelief totdat de beekloop werd gekanaliseerd. Dit is nog te zien in natuurgebieden zoals Bekendelle, waar de loop grotendeels onveranderd is gebleven.

De geulpatronen van de Stortelersbeek, Limbeek, Siepersbeek, Dambeek en de Wooldse Waterleiding kunnen niet geanalyseerd worden met het stabiliteitsdiagram, maar er kan op basis van de morfologie, de gradiënt van het beekdal en het beddingsubstraat wel een inschatting gemaakt worden van de laterale activiteit in de natuurlijke achtergrondsituatie van deze waterlopen.

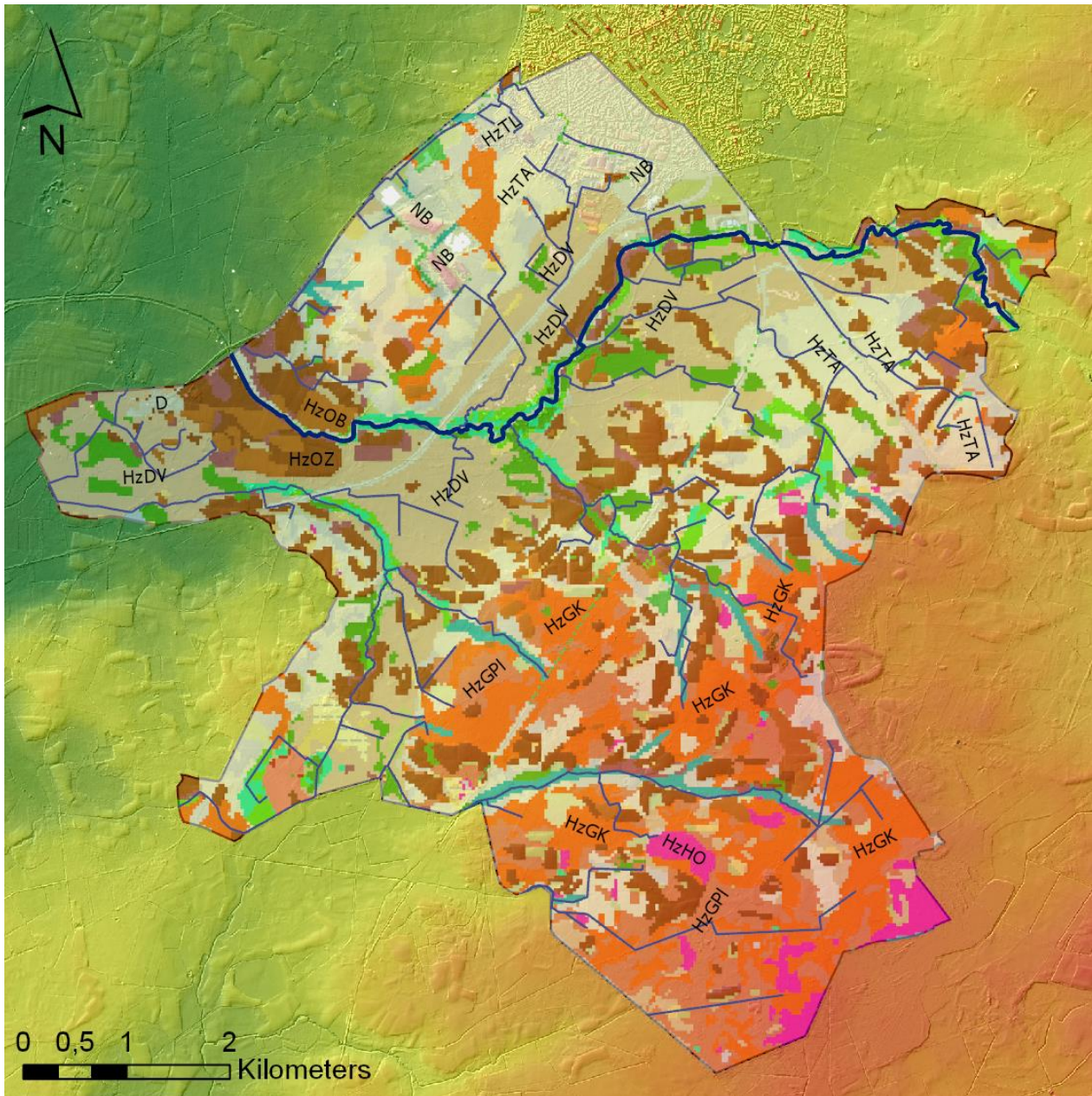
De Stortelersbeek ligt in de zandige opvulling van een pleistocene erosiegeul. De gradiënt van het beekdal is voldoende steil om te veronderstellen dat er in de natuurlijke achtergrondsituatie laterale migratie mogelijk was over vrijwel de gehele loop (afhankelijk van het geulvormende debiet). Ook in de huidige situatie is er sprake van een lateraal actief beekstelsel.

De bovenlopen van de Limbeek en de Dambeek liggen voor een groot deel op een vereffeningsrestplateau waardoor het substraat van de beek een beperkende factor is voor vrije laterale migratie ondanks het steile verhang van het beekdal. Zodra deze beken in het zandig substraat van de pleistocene erosiegeul stromen, is er echter wel genoeg potentie (afhankelijk van het geulvormende debiet) voor laterale migratie van deze systemen. Aanwijzingen voor laterale migratie zijn in de huidige morfologie nog terug te zien waar de Oude Bochtsebaan de Dambeek kruist en waar de Wooldse weg de Limbeek kruist. Deze locaties komen ongeveer overeen met de overgang het vereffeningsrestplateau naar het zandige substraat van de Pleistocene erosiegeulen. In het geval van de Dambeek is de natuurlijke loop richting het zuiden verlegd en afgedamd, waardoor de potentie tot laterale migratie is afgenomen.

De Siepersbeek en de Wooldse Waterleiding zijn twee waterlopen waarvoor geen tot weinig potentie lijkt te zijn geweest voor vrije laterale activiteit. De morfologie van de Wooldse Waterleiding is vergelijkbaar met die van de Dambeek. Het gehele Nederlandse deel van de loop ligt op een vereffeningsrestplateau waardoor het substraat een limiterende factor is voor vrije laterale migratie. De waterloop komt op Duits grondgebied pas in de zandige pleistocene erosiegeul waar (afhankelijk van het geulvormende debiet) potentie is voor vrije laterale migratie. Voor de Siepersbeek geldt ook dat een groot deel van de loop zich op het vereffeningsrestplateau bevindt waardoor potentie voor laterale migratie beperkt is. Daarnaast is het dalverhang van de Siepersbeek over het deel wat zich wel in een zandige pleistocene erosiegeul bevindt relatief beperkt en lijkt er ook hier geen potentie voor laterale migratie te zijn. In het huidige reliëf zijn voor de Siepersbeek ook geen aanwijzingen terug te vinden voor enige vorm van laterale activiteit.

Op basis van een geulvormende afvoer van $11 \text{ m}^3/\text{s}$ is de evenwichtsbreedte van de Boven-Slinge in dit deelgebied rond de 15.6 m en de evenwichtsdiepte van de geul 1.4 m (Tabel 2-2). In Figuur 2.9 zijn twee gedetailleerde dwarsprofielen van deelgebied 3 te zien. Het eerste dwarsprofiel is net bovenstrooms van Bekendelle, waar de geul ongeveer 13 m breed en 1.8 m diep is. Net als de eerdergenoemde bovenstroomse delen lijkt de geul hier ingesneden, waardoor de breedte-diepteverhouding niet overeenkomt met de evenwichtssituatie. Het tweede dwarsprofiel komt uit Bekendelle, waar de geul ongeveer 12 m breed en 1.4 m diep is. Deze afmetingen van de geul komen dicht bij een evenwichtssituatie dan de bovenstroomse delen van de Boven-Slinge.

Landschappelijke Bodemkaart



Figuur 2.12 Landschappelijke Bodemkaart van deelgebied 3 op het niveau van FG-Series. Voor de legenda, zie Figuur 2.8.

Deelgebied 3 bestaat oorspronkelijk uit terrassen, voornamelijk 'Leemarme terrassen' (HzTA) en plaatselijk 'Kleiige terrassen' (HzTK) waar de tertiaire of oudere kleien dagzomen. Dat is in de noordelijke helft van het deelgebied nog goed herkenbaar. Vooral in het zuidoostelijke deel zijn de terrassen afgedekt met keileem '(Kei)leemopduikingen' (HzGK) waarin een aantal 'Droogdalen' (HzBD) is uitgesleten en waarop door stagnatie van regenwater veenvorming heeft plaatsgevonden ('Overgangsvenen in hoogveen' (HzHO)). Op de grens vinden we het Wooldse Veengebied (zie § 2.2.10 en Figuur 2.19), maar ook andere resten van hoogveen zijn hier herkenbaar. Er zijn ook aanwijzingen dat de verbreiding van Wooldse Veengebied vroeger veel groter was en dat de restanten ten noordwesten van het huidige veengebied hierbij horen (De Vries, 2019). Van het Blekkinkveen, dat in het brongebied van de Stortelersbeek gelegen heeft (Neefjes & Willemsse, 2009), is op de huidige bodemkaarten waarop de LBK gebaseerd is weinig meer te vinden. Enkele vlakjes met moerige eerd- en veengronden zonder podzol wijzen eerder op een bronsituatie die hier dan ook is gekarteerd (HzBB). Ook het voorkomen van moeraskalk wijst op een bronsituatie (Neefjes & Willemsse, 2009; De Vries, 2019). Het is mogelijk dat op dit meer basische veen door verdere isolatie en accumulatie van neerslagwater

ook hoogveen gegroeid is (o.a. Sevink et al., 2014; 2022), maar dat is niet duidelijk. Er komen, in tegenstelling tot Wooldse Veen, geen storende lagen voor en er zijn op oude kaarten geen sporen van vervening te zien (De Vries, 2019).

Het plateau wordt doorsneden door twee grote erosiegeulen (zie § 2.1.10) die opgevuld zijn met fluvioperiglaciaal materiaal dat gerekend wordt tot 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV). Hierbinnen liggen de belangrijkste beekdalen van Boven-Slinge, Stortelersbeek en enkele zijbeken. In het centrum van de erosiedalen komen vooral 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen' (HzBB) voor, met langs de randen van het beekdal ook 'Niet-kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken' (HzBN). Ook hoger in de erosiegeulen en deels op de plateaus komen brongebieden voor, zoals bij het voormalige Blekkinkveen. Mogelijk is dat veen eerder een bronveen of een doorstroomveen geweest dan een hoogveen. Blekkinkveen waterde in de natuurlijke situatie af naar het zuiden. Het was dus wel een brongebied, maar niet voor de Boven-Slinge, maar voor de Bocholter Aa/Aa Strang. Bij de overgangen naar de terrassen is ook meer klei afgezet en vinden wij vaak 'Beekdalvlakte' (HzBV). Net als in deelgebied 2 zien we dat de beken vaak tussen dekzandruggen met oud bouwland doorstromen, o.a. bij Miste. Op de ruggen zijn dat zowel 'Bruine eerdgronden' (HzOB) als 'Zwarte eerdgronden' (HzOZ). Ook in het beekdal zelf komen oude bouwlandgronden voor. Dat zijn de 'Lage eerdgronden' (HzOL). In de zuidwesthoek heeft wat verstuing plaatsgevonden. Hier vinden wij 'Uitgestoven laagten' (HzSL) waar de oude bodems deels zijn weggestoven en 'Forten en Overstoven laagten' (HzSF), waar het verstoven zand is afgezet over andere bodems heen.

2.1.8 Deelgebied 4: Aftakking naar Keizersbeek

Geomorfologie

De Boven-Slinge stroomt dit deelgebied in bij Bredevoort, net bovenstrooms van de aftakking met de Keizersbeek. De Boven-Slinge stroomt hier door de opvulling van de grote smeltwatergeul van Winterswijk, die de noordelijke helft van het deelgebied opmaakt (Figuur 2.4). Net als in deelgebied 3 is de smeltwatergeul opgevuld met fluvioperiglaciale afzettingen en afgedekt met dekzandvormen (Figuur 2.5). Doordat de smeltwatergeul breder is dan de zijtak ter hoogte van Bekendelle is het reliëf hier relatief vlak. Dekzandruggen en -welvingen worden hier afgewisseld met dekzandvlakten en brede dalvormige laagten, waardoor de zijlopen van de Keizersbeek stromen. De Stortelersbeek is hier een van de zijlopen van, die door dit relatief natte en vlakke deel van de smeltwatergeul stroomt.

De zuidelijke helft van het deelgebied wordt gekenmerkt door het vereffeningsrestplateau. Enkele dalvormige laagten en droge dalen zijn ingesneden in het plateau en wateren tegenwoordig af op de Keizersbeek (voorheen op de Boven-Slinge). Door de breedste laagte in het vereffeningsrestplateau stroomt de Haartse Waterleiding. Dit was waarschijnlijk een natuurlijk brongebied van de voorloper van de Haartse Waterleiding die dit relatief lage en natte gebied afwaterde. Tegenwoordig is de Haartse Waterleiding doorgetrokken door de hoge delen van het vereffeningsrestplateau en over de waterscheiding naar de Dambeek (Figuur 2.36). Hierdoor watert de Haartse Waterleiding ook water van buiten het natuurlijke stroomgebied van de Boven-Slinge/Keizersbeek af. In het zuidwesten van het deelgebied ligt de Snijders Veerbeek ingesneden in het vereffeningsrestplateau. Deze watergang stroomt richting het zuidwesten en watert, net als de Keizersbeek, uiteindelijk af in de Aa Strang. De Snijders Veerbeek watert in een vochtige laagte op het vereffeningsrestplateau af.

Hydromorfologie

Door de afname van zowel de gemiddelde geulvormende piekafvoer als de helling in dit deelgebied komt de Boven-Slinge in dit deelgebied lager uit in het stabiliteitsdiagram (zie Bijlage 10). In de huidige situatie komt de Boven-Slinge uit op 'Meanderend met scrolls', maar ook hier zal de beek in de natuurlijke achtergrondsituatie lager zijn uitgekomen. De beek zal niet over zijn gehele loop genoeg stromingsvermogen hebben gehad om vrij te kunnen migreren en zal afhankelijk zijn geweest van het omliggende reliëf en landvormen. Hetzelfde geldt voor de Keizersbeek, die qua substraat en dalverhang in dit deel van het projectgebied hetzelfde functioneert als de Boven-Slinge.

De Haartse Waterleiding kan niet in de geulpatroonvoorspeller geplot worden, maar er kan op basis van de morfologie, de gradiënt van het beekdal en het beddingsubstraat wel een grove inschatting gemaakt worden van de potentie voor laterale activiteit van de huidige situatie. Omdat de huidige loop sterk verschilt van de

'natuurlijke' situatie, is het erg lastig om een uitspraak te doen over de potentie voor vroegere laterale migratie. De loop ten oosten van de Spiekerdijk wordt hier buiten beschouwing gelaten. De bovenloop van de Haartse Waterleiding bevindt zich op een vereffeningssrestplateau waardoor het substraat een limiterende factor vormt voor vrije laterale migratie, ondanks het steile verhang van het dal. Verder benedenstrooms richting de samenkomst met de Keizersbeek komt de Haartse Waterleiding in de zandige opvulling van het pleistocene erosiedal. Het verhang is hier nog groot genoeg, waardoor er mogelijk potentie is voor laterale migratie, dit is echter volledig afhankelijk van de grootte van de piekafvoer. In het huidige reliëf zijn geen indicatoren voor laterale migratie te vinden. In de natuurlijke achtergrondsituatie was het totale debiet voor deze waterloop vele malen kleiner doordat de aantakking met de Dambeek niet bestond. Hierdoor lijkt het onwaarschijnlijk dat de voorganger van de Haartse Waterleiding lateraal actief was.

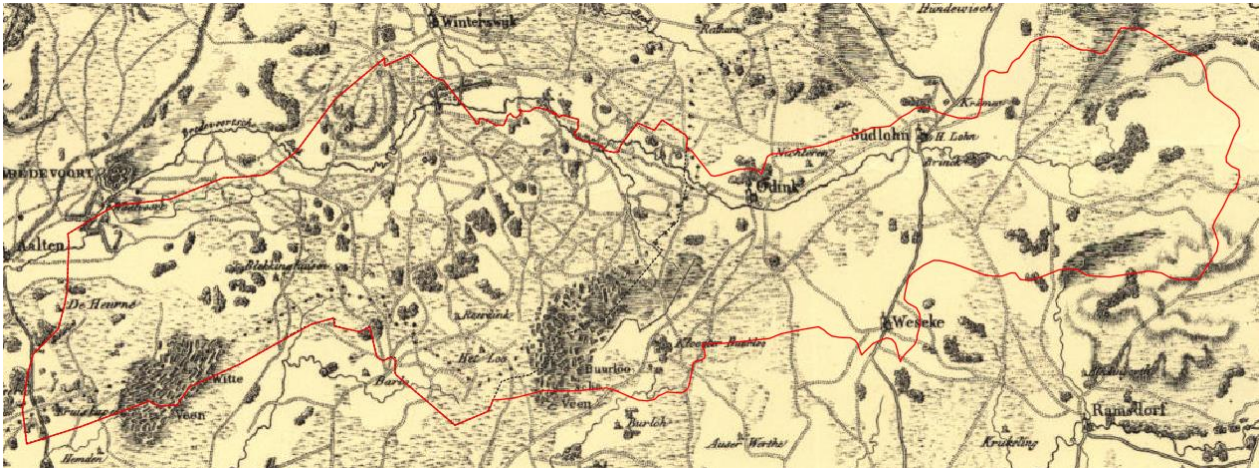
De Sniijders Veerbeek ligt in het begin van zijn verloop vrij diep ingesneden in het vereffeningssrestplateau. Het vereffeningssrestplateau is hier bedekt met een relatief dikke laag dekzand, waardoor de beek ondanks de diepe insnijding nog niet op de ondoorlatende ondergrond is gestuit. Het steile verhang van het plateau naar de opgevulde erosiegeul geeft voldoende potentie voor laterale migratie (afhankelijk van het geulvormende debiet), maar de mate van insnijding kan hier een limiterende factor zijn. De beek heeft een bochtig karakter, deels door herstelwerkzaamheden, maar er is waarschijnlijk sprake geweest van een vrij meanderend karakter voordat de beek zich diep heeft ingesneden. De Sniijders Veerbeek stroomt buiten het projectgebied via een gegraven watergang door het zandige substraat van de pleistocene erosiegeul. Op oude topografische kaarten zijn hier mogelijk indicaties te zien van laterale migratie, maar de aanwijzingen daarvoor zijn door kanalisatie en vereffening verdwenen in het huidige reliëf. Op basis van een geulvormende afvoer van $11 \text{ m}^3/\text{s}$ is de evenwichtsbreedte van de Boven-Slinge in dit deelgebied rond de 15.6 m en de evenwichtsdiepte van de geul 1.4 m (Tabel 2-2). In Figuur 2.9 is een gedetailleerd dwarsprofiel van de geul in deelgebied 4 te zien. Het dwarsprofiel is net ten zuiden van de afsplitsing naar de Keizersbeek te vinden. De geul is hier ongeveer 20 m breed en bijna 2 m diep. In vergelijking met de evenwichtssituatie is de breedte-diepteverhouding van de geul hier vrijwel gelijk. De afmetingen van de geul zijn daarentegen bijna 1.5 keer groter dan die van de berekende evenwichtssituatie.

eerdgronden' (HzOL) ontstaan. Hetzelfde is te zien in het zuidwesten van het projectgebied waar de Sniijders Veerbeek tussen twee dekzandruggen met oud bouwland doorstroomt.

Het noordelijke deel van dit deelgebied (ca. 1/3) ligt in de grote smeltwatergeul van Winterswijk, die grotendeels is opgevuld met dekzand. Hier vinden wij 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV) met wat dekzandruggen waarin oud bouwland ontstaan is (HzOZ en HzOB). Door deze geul lopen de beekdalen met in de kwelgevoede delen 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen' (HzBB), maar ook delen met 'Beekdalvlakte' (HzBV) waar klei en leem zijn gesedimenteerd.

2.2 Achtergrondsituatie landnatuur

2.2.1 Historische ecologie

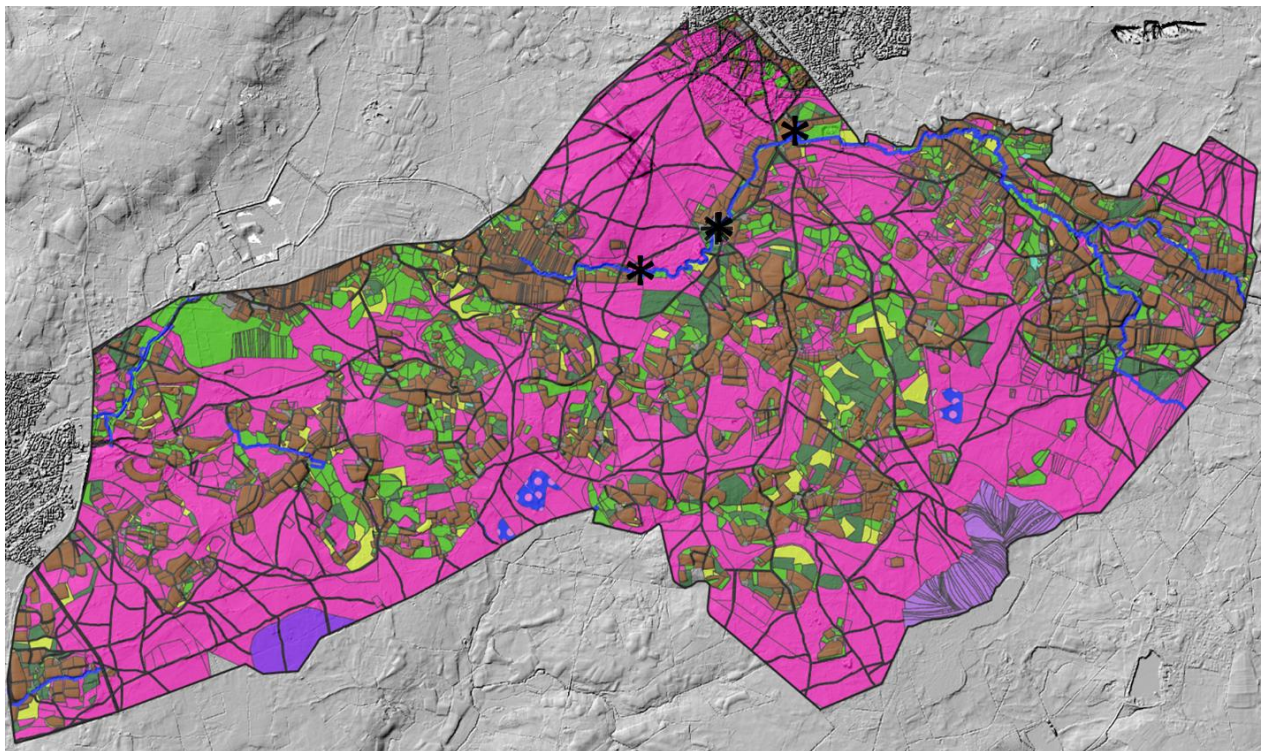


Figuur 2.14 Topografische kaart van het studiegebied in de eerste helft van de 19^e eeuw (1823, bron: <https://www.topotijdreis.nl/>). Als gevolg van projectieverschillen in het kaartmateriaal past de kaart niet exact onder de begrenzing van het stroomgebied. Dat is goed te zien aan het verloop van de Rijksgrens bij Blekkinkveen.















Een uitgebreide analyse van de landschapontwikkeling en de daaraan verbonden ecologie gedurende het Holoceen valt buiten het bereik van dit onderzoek en is door anderen al uitvoerig gedaan (o.a. Neefjes & Willemse, 2009; De Vries, 2019). Wij beperken ons hier tot de periode vanaf de referentiesituatie, waar de mens door middel van ontginningen en verveningen al een grote stempel op het landschap heeft gedrukt. Ook de invloed van met name watermolens op de beeklopen is dan al prominent aanwezig. In de eerste helft van de 19^e eeuw zien wij in het studiegebied een vrij open landschap met op de hogere delen (terrassen, al dan niet afgedekt met keileem en dekzand) heidevelden en akkers met verspreid wat bossen (Figuur 2.14). Wooldse Veen en Witte Veen zijn in vervening en hoewel Blekkinkveen wel op de kaart is aangegeven, is het niet duidelijk als hoogveen herkenbaar. In Duitsland zijn wel enkele venige beekdalen herkenbaar, ten oosten van Westendorf en ten noorden van Ramsdorf. Ook valt op dat de ontsluiting in het Nederlandse deel veel fijnmaziger is dan in het dunner bevolkte Duitse deel. De beekdalen en ook in bredere zin de erosiedalen zijn over het algemeen open, zonder broekbossen.

Meer in detail wordt de situatie in de eerste helft van de 19^e eeuw beschreven door de kadastrale kaart van 1811-1832 en zien we hetzelfde beeld (Figuur 2.15). Per kadastraal perceel is het grondgebruik aangegeven, met in het onderliggende GIS-bestand ook de belastingklasse die een indicatie geeft van de kwaliteit van de grond. De hogere delen in het landschap zijn open, met vooral heide en hoogveen (Witte Veen) en veenderij (Wooldse Veen). Ter hoogte van het Blekkinkveen staat water aangegeven, volgens het GIS-bestand is dat 'Water als heide', mogelijk natte heide. De (oude) bouwlanden liggen veelal op dekzandruggen op de terrassen of langs de beekdalen. In de beekdalen en de erosiedalen komt vooral veel weiland voor en op kleine schaal elzenbos. Bossen en hakhoutpercelen lijken vooral gebonden te zijn aan de overgangsgebieden tussen de dalen en de terrassen. Omdat het grondgebruik per kadastraal perceel is opgenomen, is water

alleen aangegeven in de grotere lopen zoals de Boven-Slinge, Osink-Bemersbeek, Veenhuis Waterleiding en Snijders Veerbeek. Ontwatering binnen de beekdalen zien wij hier niet terug, maar de terrassen, die grotendeels bedekt zijn met heide, zijn nog niet ontwaterd en ook andere beken en waterleidingen bestonden nog niet of waren veel kleiner (zie Figuur 1.2 voor het huidige afvoerpatroon van dit gebied). Binnen de kadastrale kaart is slechts één watermolen (Berenschots) aangegeven.

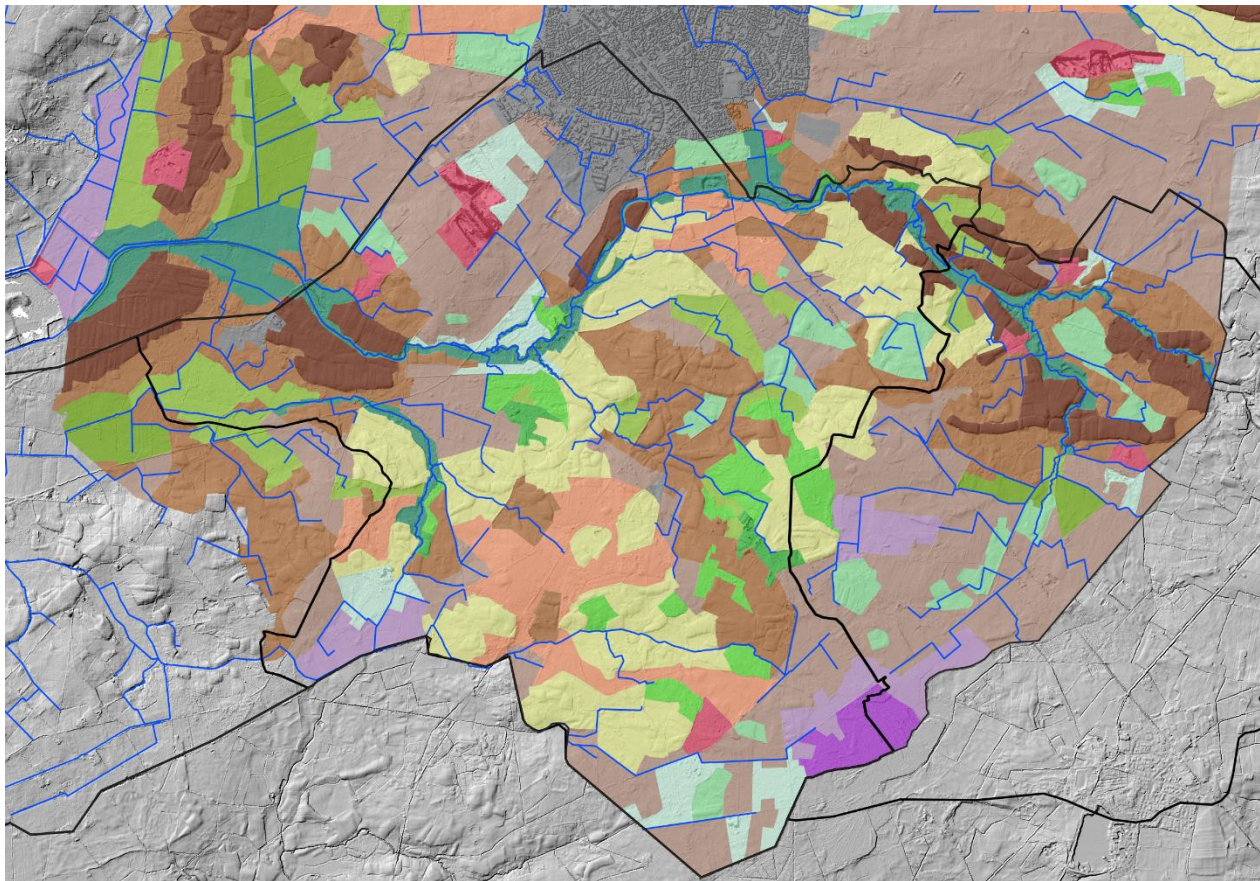


Kadastrale kaart 1832

 Bouwland	 Bos en opgaande bomen	 Weg
 Weiland	 Elzenbos	 Water
 Heide	 Hakhout	 Water als heide
 Veengrond	 Boomgaard	 Watermolen
 Veenderij	 Erven en gebouwen	

Figuur 2.15 Grondgebruik volgens de kadastrale kaart 1811-1832.

De ontwikkeling van het landschap en daarmee de ecologie wordt in hoge mate bepaald door de fysisch-geografische opbouw (zie ook §1.2). Het ligt dus voor de hand om bij de bespreking van de historische ecologie aan te sluiten bij historische landschappen die sterk gerelateerd zijn aan de fysische geografie. Voor zover het studiegebied binnen de grenzen van Gemeente Winterswijk ligt, zijn de historische landschappen volgens Neefjes & Willemse (2009) weergegeven in Figuur 2.16. Voor deze bespreking van de historische ecologie sluiten wij aan bij deze landschapsindeling, die natuurlijk ook toepasbaar is in de rest van het studiegebied. De relatie met de Landschappelijke Bodemkaart geven wij weer in Tabel B3.1 in Bijlage 3. In dit onderzoek hebben wij onvoldoende gegevens voor een uitgebreide analyse van de historische ecologie op soortniveau. Omdat we in de verdere analyse van de landnatuur in § 2.2.3, § 2.4.2 en Hoofdstuk 3 steeds de SNL Beheertypen (Subsidiestelsel Natuur en Landschap: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/>) beoordelen, geven wij hier aan welke beheertypen passen bij die landschappen, ook al speelde een dergelijke indeling toen natuurlijk geen rol. De natuur die voorkwam, was een product van enerzijds de fysisch-geografische positie en anderzijds het beheer, wat een agrarisch of bosbouwkundig doel had.



Figuur 2.16 Historische Landschappen in Winterswijk (bron: Neefjes & Willemse, 2009).

Droge kamptonginningen, essen

Op de LBK komt dit landschap vooral overeen met de 'Oude bouwlanden', voornamelijk HzOZ en HzOB en in mindere mate HzOL. Omdat hier weinig opgaande beplanting voorkwam en door het grondgebruik als akker, zullen hier voornamelijk planten en dieren voorgekomen zijn die daarop aangepast zijn, zoals akkerkruiden, behorend bij 'Kruiden- en faunarijke akker' (N12.05).

Vochtige kamptonginningen, oude hoevenlandschap en Oude hoevenlandschap 'scholtenstijl'

De afwisseling in deze landschappen komt tot uiting in de diversiteit van FG-Series. Ruim een kwart ligt op de 'Zwarte eerdgronden' (HzOZ) die in dit oude cultuurlandschap gevormd zijn op dekzandruggen. De rest van dit landschap komt vooral voor op 'Leemarme terrassen' (HzTA) en 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV) en in mindere mate op een aantal meer lemige zandgronden (HzTL, HzGPI, HzGK). Door de grote afwisseling tussen bos, akkers, graslanden en heiderestanten en de aanwezigheid van boerderijen en wallen, randen en houtsingels, is dit landschap vooral van belang van soorten van kleinschalige landschappen. Bijpassende beheertypen zijn dan naast N12.05 ook 'Kruiden- en faunarijke grasland' (N12.02), 'Dennen-, eiken- en beukenbos' (N15.02), 'Vochtig en hellingshout' (N17.06) en landschapselementtypen als 'Houtwal en houtsingel' (L01.02) of 'Bossingel' (L01.16).

Broekige kamptonginningen

Zoals de naam aangeeft, komen deze ontginningen meer voor op nattere gronden, maar niet echt in de beekdalen. Opgeteld de grootste oppervlakte komt voor op diverse lemige gronden (HzDL, HzGK, HzGPI, HzTL), maar opvallend genoeg ligt ruim een derde op 'Leemarme terrassen' (HzTA). Waarschijnlijk betreft dit

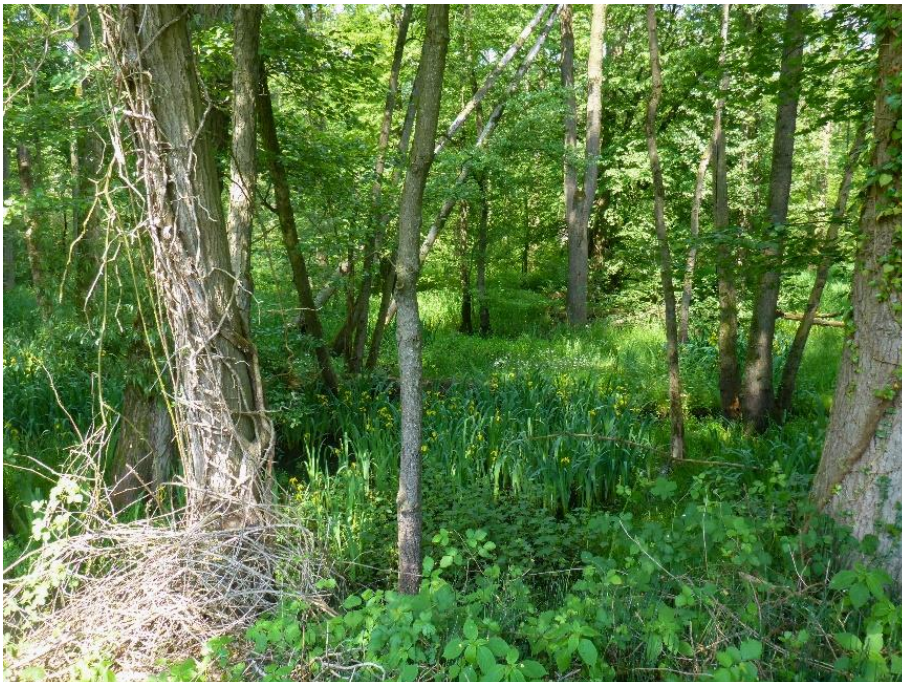
delen van de terrassen waar vrij ondiep onder het leemarme materiaal oude kleien voorkomen. Het waren graslanden die wij nu zouden indelen als voornamelijk 'Natte schraallanden' (N10.01) en 'Vochtige hooilanden' (N10.02) en bij sterkere bemesting als 'Kruiden- en faunarijk grasland' (N12.02).

Broeken, enigszins regelmatig ingedeeld en onregelmatig ingedeeld

Deze natte, relatief vruchtbare gebieden vinden wij vooral in 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV) en in beekdalen, waarbij de regelmatige indeling meer gebonden is aan 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen' (HzBB), waarbij kwel dus een grotere rol speelt en de onregelmatige verkaveling vooral voorkomt in de 'beekdalvlakte' (HzBV) waar door overstromingswater klei is afgezet. Ook hier gaat het vooral om graslanden als 'Natte schraallanden' (N10.01) en 'Vochtige hooilanden' (N10.02) en bij sterkere bemesting als 'Kruiden- en faunarijk grasland' (N12.02).

Beekbegeleidende broeken

Deze zijn vrijwel geheel gebonden aan FG-Series die behoren tot de FG-Sectie 'Beekdalen'(HzB) en een klein aandeel 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV). Een deel van deze broeken gaat samen met 'Lage eerdgronden' (HzOL). Door Neefjes en Willemse (2009) wordt onderscheid gemaakt in 'Vlakke beekbegeleidende broeken' en 'Ingesneden beekbegeleidende broeken'. De eersten lijken meer te passen bij de 'Beekdalvlakte' (HzBV) en 'Niet-kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken' (HzBN). Hier kwamen waarschijnlijk vooral 'Natte schraallanden' (N10.01) en 'Vochtige hooilanden' (N10.02) voor. Bij permanent natte situaties met sterke kwel zal de beekdalvariant van trilvenen (N06.02) voorgekomen zijn.



Figuur 2.17 Beekbegeleidend bos bij een oude meander van de Boven-Slinge bij Bekendelle
(Foto: Bas van Delft).

De tweede groep, die vaak het gevolg is van menselijk ingrijpen in de beek, lijkt meer te passen bij 'Brongebieden en kwelgevoede beekdalen' (HzBB), hoewel daarin ook vlakke broeken voor kunnen komen. In deze ingesneden dalen komt vaak Rivier- en beekbegeleidend bos (N14.01) voor (zie Figuur 2.17).

Grotere oude bossen

De grotere oude bossen vinden we vooral (ruim 1/3) op '(Kei)leemopduikingen' (HzGK) en verder op 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV) en 'Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen' (HzGPI). Daarnaast komt nog een deel voor binnen 'Overgangsvenen in hoogveen' (HzHO). Op de keileemopduikingen komt van nature vooral Eiken-Haagbeukenbos voor (zie Figuur 2.18), wat valt onder 'Haagbeuken- en essenbos' (N14.03), bij de lemige zandgronden denken wij dan meer aan 'Dennen-, eiken- en beukenbos' (N15.02).



Figuur 2.18 Eiken-Haagbeukenbos op keileem bij Willinks Weust, noordelijk van het studiegebied (Foto: Bas van Delft).

Bos op oud cultuurland

Deze voormalige eikenhakhoutbossen komen voor op diverse vochthoudende zand- en leemgronden (HzDV, HzGPI, HzGK) en oude bouwlanden (HzO). Oorspronkelijk zouden deze bossen gerekend worden tot 'Vochtig en hellinghakhout' (N17.06), maar omdat zij nu meestal niet meer als hakhout beheerd worden, vallen zij onder 'Dennen-, eiken- en beukenbos' (N15.02).

Jonge heideontginning en Jonge heideontginning 'scholtenstijl'

Het feit dat deze landschappen laat ontgonnen zijn (na 1850), heeft te maken met het feit dat zij op minder vruchtbare bodems liggen. Het gaat hierbij vooral om de 'Leemarme terrassen' (HzTA), 'Lemige terrassen' (HzTL), '(Kei)leemopduikingen' (HzGK), 'Vochtige dekzandlaagten' (HzDV) en 'Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen' (HzGPI). De natuur die hier voorkwam voor de ontginning rekenen wij nu vooral bij 'Vochtige heide' (N06.04) en 'Droge heide' (N07.01), afgewisseld met 'Zandverstuiving' (N07.02) en 'Droog schraalgrasland' (N11.01).

Grotere jonge bossen

Deze bossen zijn net als de hiervoor besproken heideontginningen vrij laat op minder vruchtbare bodems aangelegd en komen daardoor ongeveer op dezelfde FG-Series voor. Vóór de bebossing zullen dan ook dezelfde natuurtypen voorgekomen zijn (N06.04, N07.01, N07.02, N11.01).

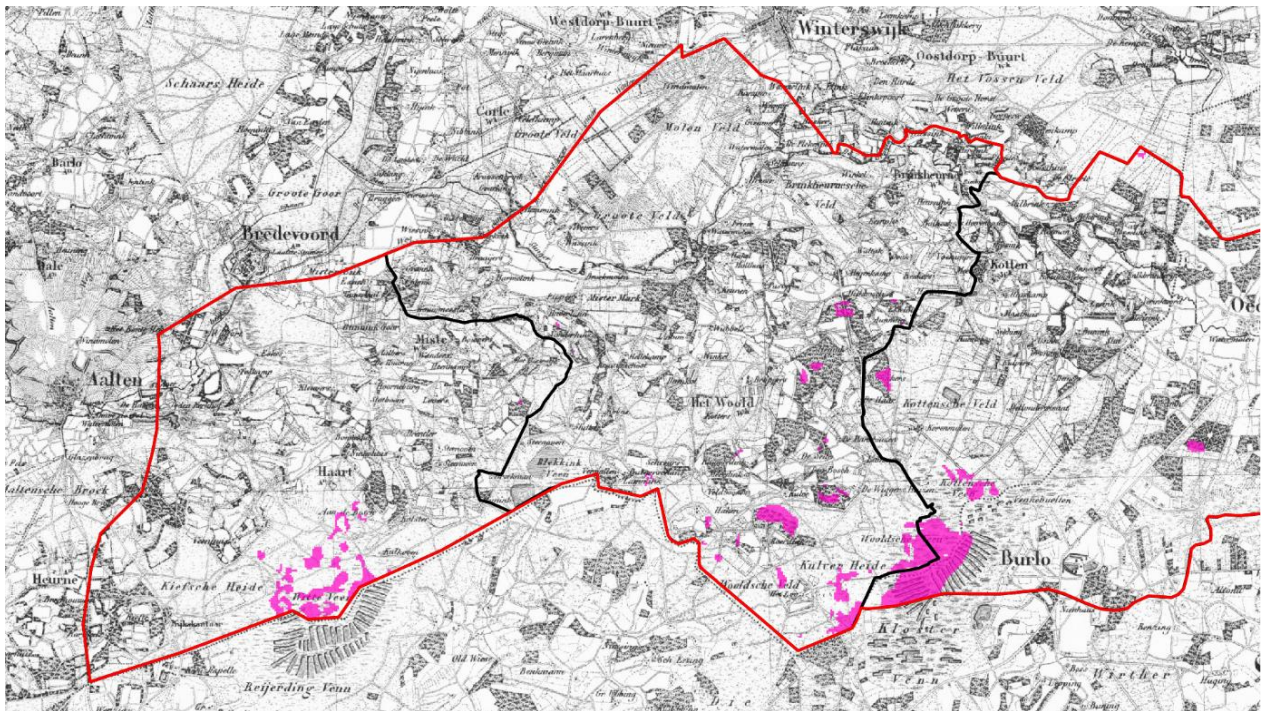
Jonge ontginningen in veengebieden

Hoewel in deze gebieden rond 1900 nog veen werd gestoken (Neeffjes & Willemse, 2009), komt slechts een klein areaal (8%) voor binnen 'Overgangsvenen in hoogveen' (HzHO). Het grootste areaal ligt op '(Kei)leemopduikingen' (HzGK) en 'leemarme terrassen' (HzTA) waar het veen dus is verdwenen. Vóór de ontginning zal hier natuur voorgekomen zijn als 'Hoogveen' (N06.03), 'Vochtige heide' (N06.04), 'Zuur ven of hoogveenvan' (N06.06), afgewisseld met stukken 'Hoog- en laagveenbos' (N14.02).

Niet ontgonnen veengebieden

Binnen het deel van het onderzoeksgebied in Figuur 2.16 betreft dit alleen het Wooldse Veen. Het areaal van dit landschap is beperkt en het ligt voor 58% in 'Overgangsvenen in hoogveen' (HzHO). Daarnaast is het ook gekarteerd binnen FG-Series zonder veen, voornamelijk '(Kei)leemopduikingen' (HzGK). Dat betreft dan opduikingen van minerale gronden binnen het hoogveengebied. Buiten het door Neeffjes & Willemse (2009) gekarteerde gebied kwam ook hoogveen voor in het Witte Veen (Figuur 2.19). De vele veenputten in beide

veengebieden laten zien dat deze toen volop in ontginning waren. Behalve voor de hoogvenen zoals Wooldse Veen en Witte Veen zijn er geen aanwijzingen dat er op grote schaal veen voorgekomen is, in elk geval niet na de Middeleeuwen (De Vries, 2019). De natuur die door de jonge ontginningen verdwenen is, kwam hier ook op grotere schaal voor en is deels nog aanwezig: 'Hoogveen' (N06.03), 'Vochtige heide' (N06.04), 'Zuur ven of hoogveenven' (N06.06), afgewisseld met stukken 'Hoog- en laagveenbos' (N14.02).



Figuur 2.19 Topografische kaart van het Nederlandse deel studiegebied rond 1850 (bron: <https://www.topotijdreis.nl/>). In roze is de verbreiding van hoogvenen (FG-Sectie HzH) op de LBK weergegeven.

2.2.2 Referentiehidrologie

Om de hydrologie in een natuurlijke situatie te karakteriseren, hebben wij per fysisch-geografisch type van de Landschappelijke Bodemkaart (LBK) bepaald wat de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en kwelkans zijn volgens referentiewaarden die voor bodemeenheden zijn afgeleid door Jansen en Runhaar (Jansen et al., 1999; Runhaar et al., 2003a; 2009). Deze referentiewaarden geven een indicatie van de situatie aan het begin van de 20^e eeuw, dus voordat door grootschalige ontwatering en insnijding van de beken sinds de 1960 verdroging is opgetreden. Uiteraard zijn er ook vóór die tijd belangrijke wijzigingen in de waterhuishouding geweest, met name door de bouw van watermolens en het opstuwende effect daarvan in de beken. Ook het graven en verleggen van beken heeft voor een deel al voor de 20^e eeuw plaatsgevonden. Dat geldt ook voor de vervening zoals op Figuur 2.14 en Figuur 2.19 te zien is. Daarnaast zullen ook veranderingen in het grondgebruik geleid hebben tot hydrologische veranderingen. Oorspronkelijk was het gebied grotendeels bedekt met bossen en venen, wat een veel sterkere sponswerking had dan de halfopen landbouwgebieden die later ontstonden. Afvoer naar de beken verliep in de oorspronkelijke situatie veel geleidelijker dan nu het geval is (Dirkx et al., 1998).

In Figuur 2.20, Figuur 2.21 en Figuur 2.22 geven wij de mediane waarde (P50) van de GXG's aan zoals in de referentiewaarden per bodemtype zijn aangegeven. Dat geeft in zekere zin een vertekend beeld, omdat voor een heel kaartvlak dezelfde grondwaterstand gegeven wordt. In werkelijkheid zal, als gevolg van reliëf en afstanden tot ontwatering, veel meer variatie voorkomen. Om die reden is bij de referentiewaarden een bereik aangegeven in de vorm van percentielen: P10 geeft een grondwaterstand voor het droogste deel, P90 voor het natste deel en P50 voor het mediane deel (een even groot deel is droger als het deel dat natter is). Voor het grootste deel van het gebied geven de referentiewaarden wel degelijk een goed beeld, omdat zij

gebaseerd zijn op bodemkenmerken die in de loop der eeuwen onder invloed van een natuurlijke hydrologie ontstaan zijn, vaak al voor de hierboven geschetste veranderingen. Ter vergelijking geven wij in Figuur 2.25 de 'Rood-Blauwe Kaart' van Von Frijtag Drabbe weer, waarop na de Tweede Wereldoorlog aan de hand van luchtfoto's alle droge en natte plekken in kaart gebracht zijn (zie <https://www.historischwaterbeheer.wur.nl/>). Omdat de kaarten van de referentiehydrologie afgeleid zijn van de bodemkaart, geven zij referentiegrondwaterstanden en kwelkansen weer die passen bij die bodemkaart. Dat betekent wel dat bij verdwenen hoogveen de referentiehydrologie wordt aangegeven die past bij het bodemtype dat onder het veen vandaan gekomen is. Omgekeerd worden voor beekdalvenen die door vernatting bovenstrooms van molens ontstaan zijn ook de bij dat veen passende referentiewaarden gegeven. Wij geven hier dus de referentiehydrologie weer die past bij de actuele bodems, omdat die de uitgangssituatie vormen voor eventuele maatregelen.

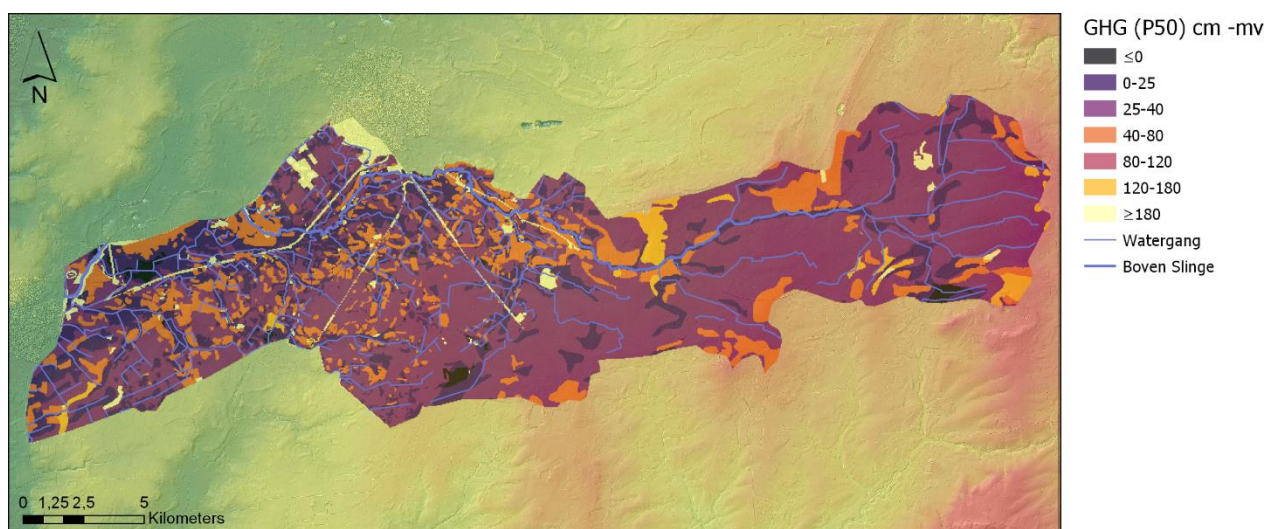
In het kader van deze studie is voor de referentieperiode ook een klimaatgemiddelde waterbalans opgesteld (zie Bijlage 9) voor het Nederlandse deel van het stroomgebied en samengevat in Tabel 2-3.

Tabel 2-3 Waterbalans voor de referentieperiode in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter. Positieve waarden zijn bronnen van water, negatieve waarden zijn verliestermen.

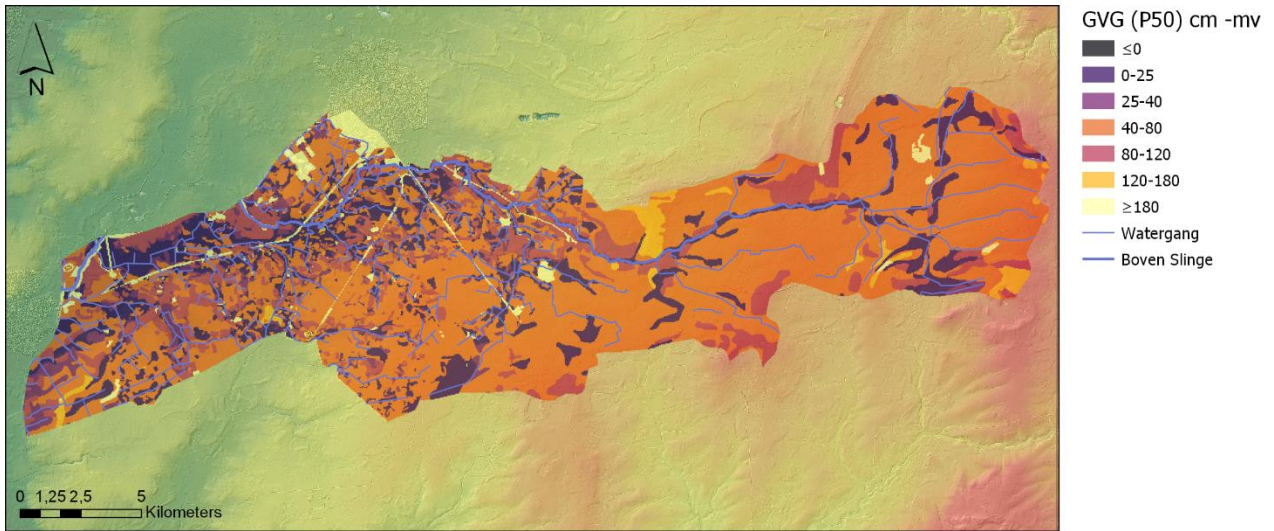
	Jaar	Zomer	Winter
Neerslag	747	348	399
Beregening	0	0	0
Gw stroming	-8	-4	-4
Verdamping	-414	-340	-75
Ontwatering/afvoer	-324	-61	-263
Bergingsverandering	0	57	-57

De waterbalans wordt aangedreven door de neerslag. De belangrijkste verliesposten zijn verdamping met het zwaartepunt in de zomerperiode en ontwatering (afvoer), met het zwaartepunt in de winter. In de zomerperiode is er vrijwel geen neerslagoverschot (neerslag-verdamping), maar is er nog wel afvoer. Dit gaat ten koste van de berging in de bodem. Deze wordt in de winterperiode aangevuld.

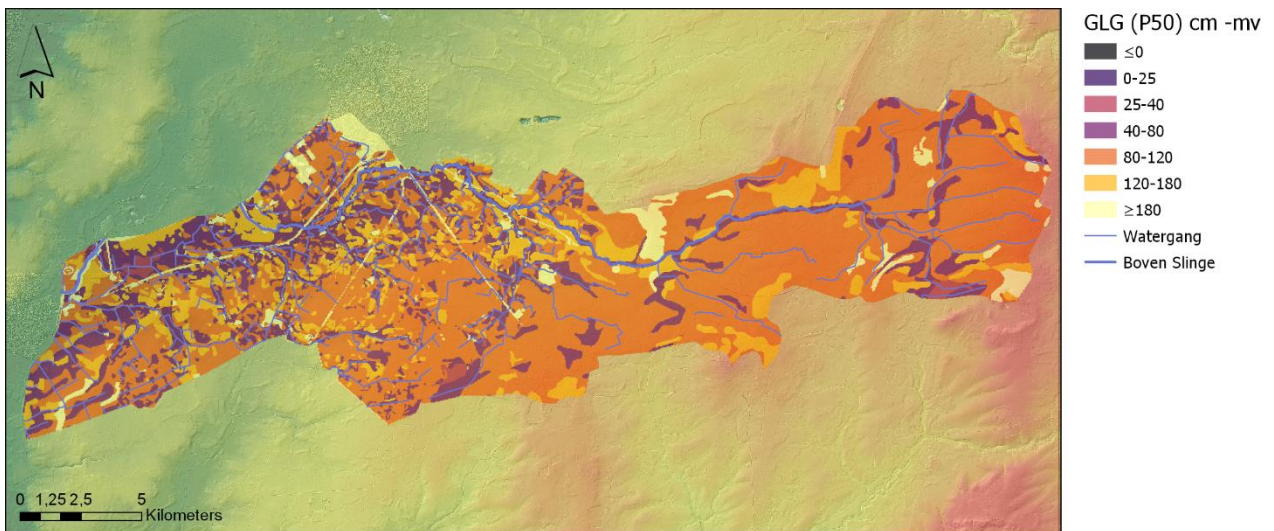
Hoewel er in de zomerperiode netto een afvoer wordt berekend van ruim 60 mm, wil dat niet zeggen dat er gedurende de zomer permanent water wordt afgevoerd. De mate van droogval van beken is evenwel niet in te schatten op basis van de waterbalans. Hiervoor is gedetailleerd modelonderzoek nodig.



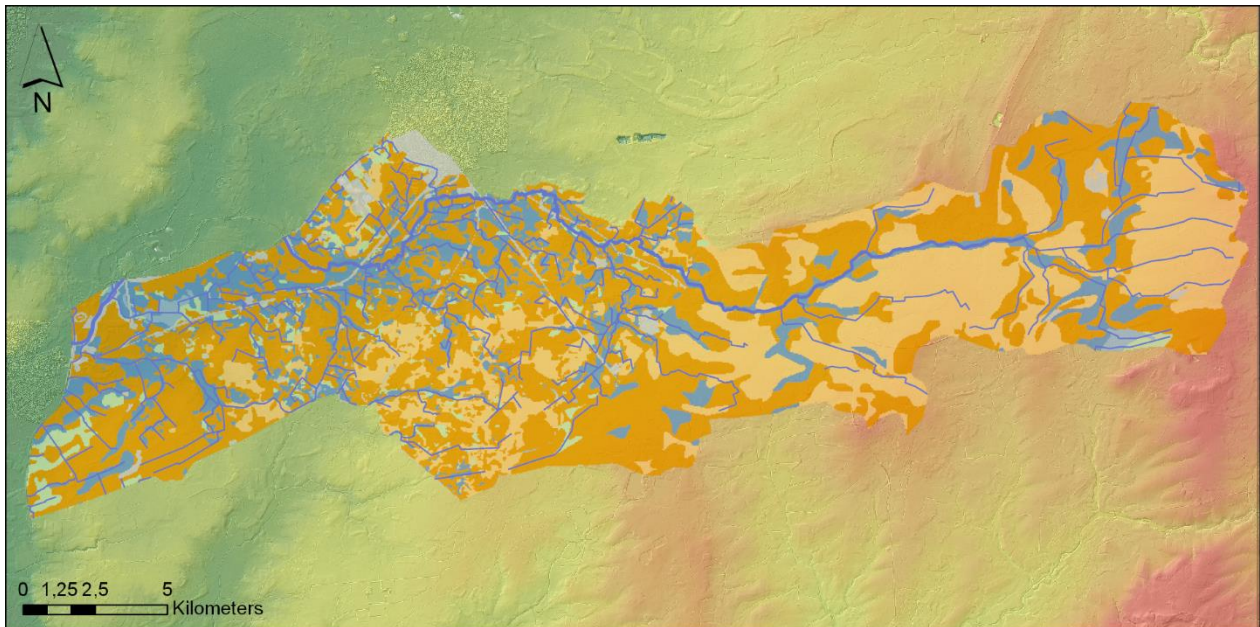
Figuur 2.20 Mediane waarde (P50) voor de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) voor de eenheden van de LBK gebaseerd op referentiewaarden van Runhaar et al. (2003a).



Figuur 2.21 Mediane waarde (P50) voor de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) voor de eenheden van de LBK, gebaseerd op referentiewaarden van Runhaar et al. (2003a).



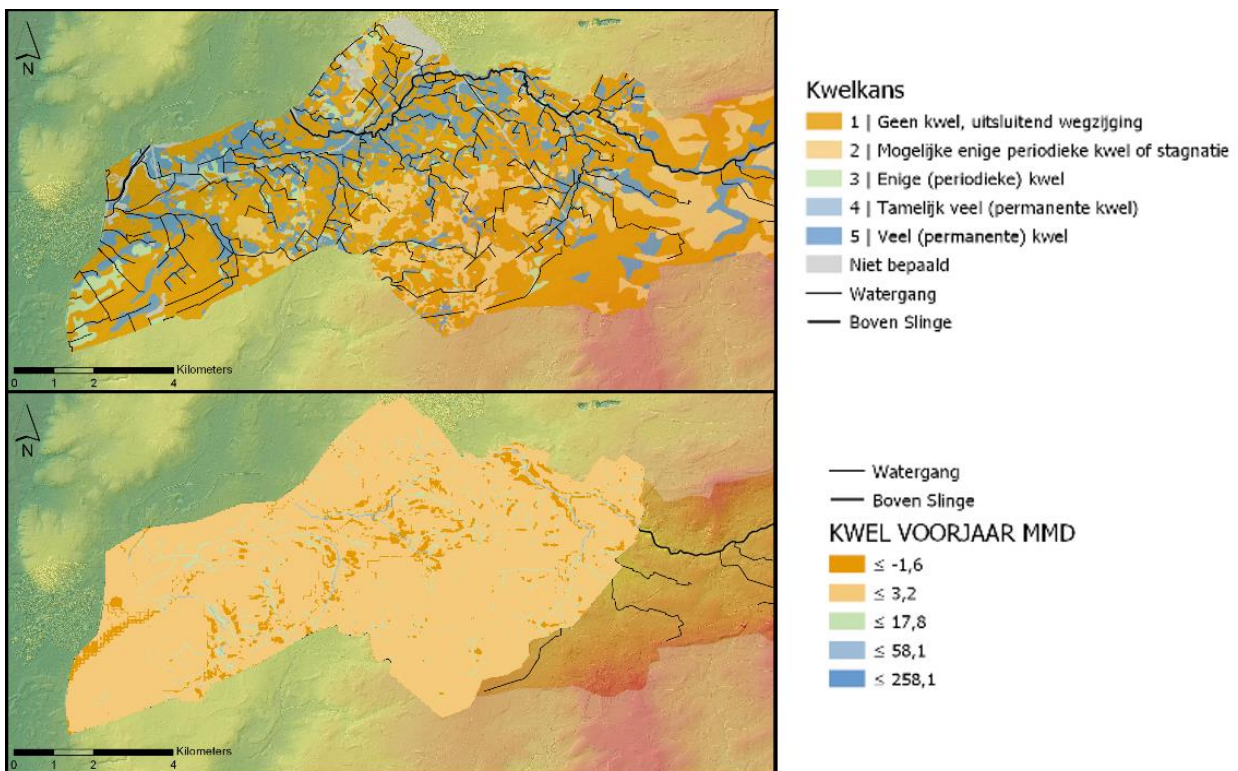
Figuur 2.22 Mediane waarde (P50) voor de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) voor de eenheden van de LBK, gebaseerd op referentiewaarden van Runhaar et al. (2003a).



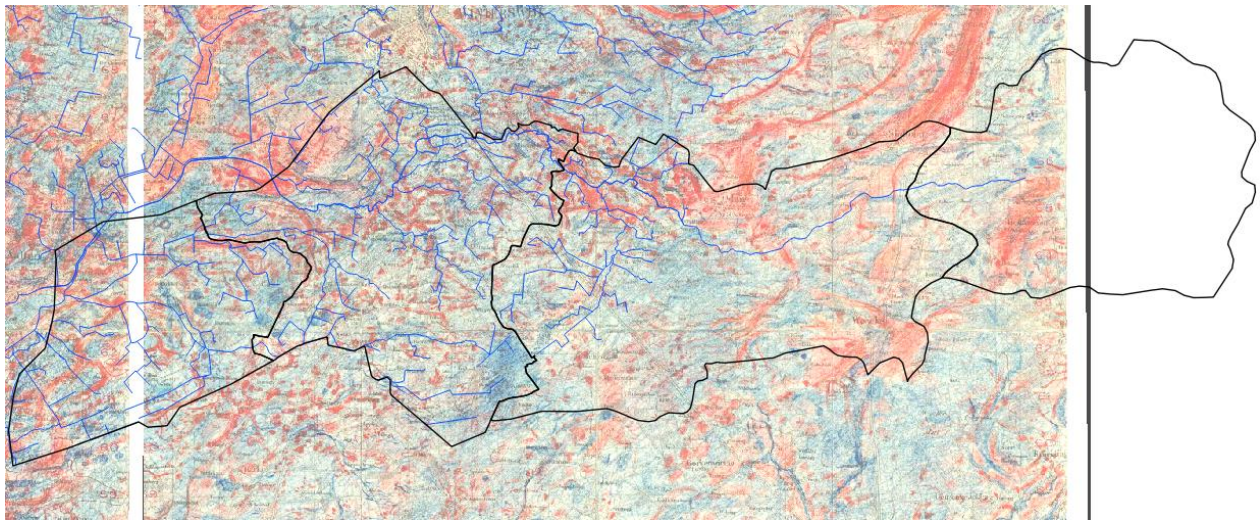
Kwelkans

- 1 | Geen kwel, uitsluitend wegzijging
- 2 | Mogelijke enige periodieke kwel of stagnatie
- 3 | Enige (periodieke) kwel
- 4 | Tamelijk veel (permanente kwel)
- 5 | Veel (permanente) kwel
- Niet bepaald
- Watergang
- Boven Slinge

Figuur 2.23 Kwelkansen voor de eenheden van de LBK, gebaseerd op Runhaar et al. (2009).



Figuur 2.24 Vergelijking kwelkans op basis van de referentiesituatie (boven) en de mate van kwel in de huidige situatie in het eerste watervoerende pakket in mm/dag op basis van modellering (onder). Wat voornamelijk opvalt, is dat de zone waarin kwel voorkomt in de beekdalen aanzienlijk minder is in de huidige situatie (o.b.v. modellering) dan in de situatie waarin de bodems in de beekdalen gevormd zijn.



Figuur 2.25 Fragmenten van de 'Rood-Blauwe Kaart' (kaartblad 41w en 41o) van Von Frijtag Drabbe. Op deze kaart zijn na de Tweede Wereldoorlog aan de hand van luchtfoto's droge en natte plekken aangegeven (bron: <https://www.historischwaterbeheer.wur.nl/>).

2.2.3 Landnatuur in referentiesituatie

Basiskaarten

De methode om realisatiekansen voor doeltypen (in dit geval SNL-Beheertypen) te bepalen, is beschreven in Bijlage 1. Voor de GVG, GLG en de droogtestress (afgeleid van de GLG en bodemeigenschappen) hebben wij gebruikgemaakt van de referentiewaarden per fysisch-geografisch type (zie § 2.2.2). Hierbij hebben wij in principe gerekend met de mediane waarde (P50), maar om ook inzicht te hebben in de realisatiekansen langs de vochtgradiënt in de nattere en drogere delen, hebben wij extra berekeningen gedaan met de grondwaterstanden bij P30 en P70 (zie Bijlage 3). De realisatiekansen per beheertype zijn voor drie delen van de vochtgradiënt gerapporteerd in Tabel 2-5 en Tabel 2-6. Alle basiskaarten voor de referentiesituatie staan in Bijlage 3.

Tabel 2-4 SNL-Beheertypen waarvoor de realisatiekansen zijn bepaald op basis van de LBK en de referentie-hydrologie.

	Doeltype	Naam Doeltype
Korte vegetaties	N06.02	Trilveen
	N06.03	Hoogveen
	N06.04	Vochtige heide
	N06.05	Zwakgebufferd ven
	N06.06	Zuur ven of hoogveenven
	N07.01	Droge heide
	N07.02	Zandverstuiving
	N10.01	Nat schraalland
	N10.02	Vochtig hooiland
	N11.01	Droog schraalgrasland
N12.03	Glanshaverhooiland	
Bos en Struweel	N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos
	N14.02	Hoog- en laagveenbos
	N14.03	Haagbeuken- en essenbos
	N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos

Bij het beoordelen van de realisatiekansen voor beheertypen gaan wij ervan uit dat verschillende beheertypen gebonden zijn aan verschillende fysisch-geografische posities in het landschap. Zo verwachten wij hoogveen vooral in situaties met stagnerend neerslagwater en Rivier- en beekbegeleidend bos vooral in

kwelsituaties. Op basis van de fysisch-geografische eenheden in het studiegebied hebben wij in Tabel 2-4 een selectie gemaakt van beheertypen die hier voor zouden kunnen komen. Daarbij hebben wij de minder kritische beheertypen als N12.02 'Kruiden- en faunarijk grasland' en N16 'Bossen met productiefunctie' weggelaten. De analyse is gedaan voor al deze beheertypen, waarna apart voor korte vegetaties en bos en struweel is bekeken welk beheertype per gridcel de hoogste realisatiekans heeft. Hieronder wordt een aantal resultaten gepresenteerd, meer resultaten zijn opgenomen in Bijlage 3.

Realisatiekansen

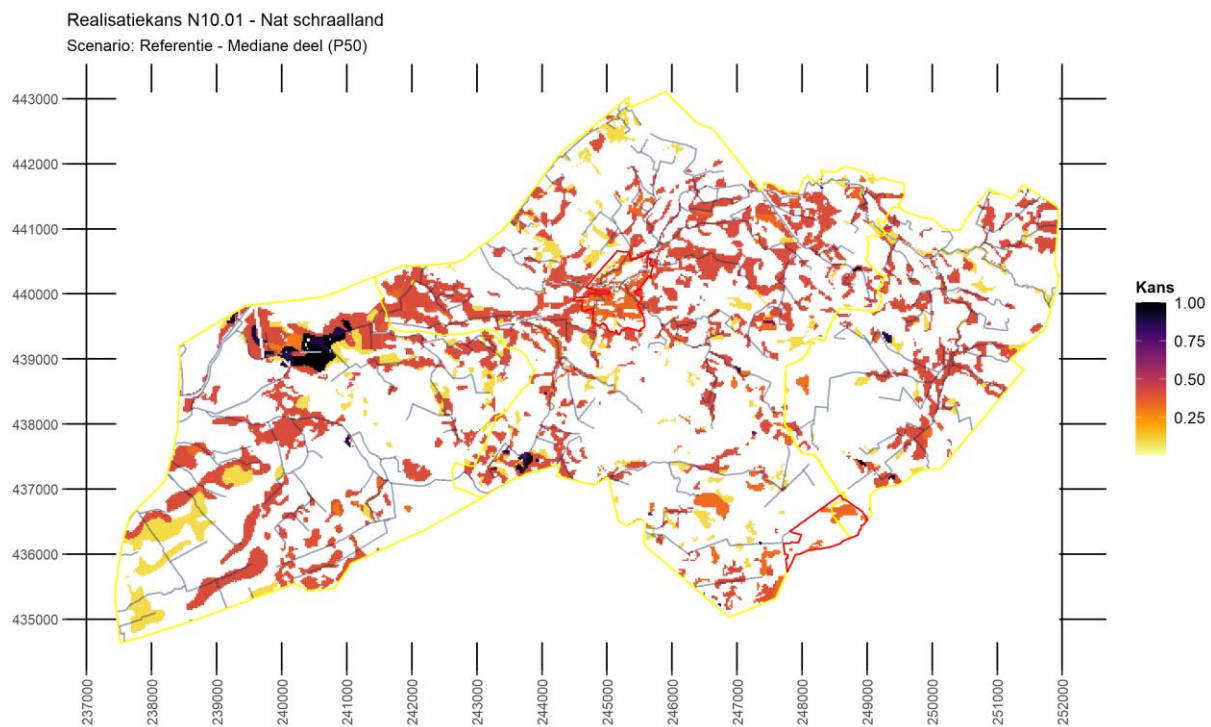
Per beheertype uit Tabel 2-4 hebben wij de realisatiekansen in de referentiesituatie berekend binnen de fysisch-geografische eenheden waar dat beheertype bij past. Vanwege de variatie in grondwaterstanden binnen de gradiënt van zo'n FG-eenheid, hebben wij de realisatiekansen berekend voor zowel de mediane grondwaterstanden (P50) als het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70). In Tabel 2-5 en Tabel 2-6 geven wij per beheertype van respectievelijk korte vegetaties en bos en struweel, de oppervlakte waarop het beheertype voor kan komen (realisatiekans > 0) met de minimale, mediane en maximale realisatiekans voor elk deel van de vochtgradiënt. Deze kansen zijn weergegeven op kaarten per beheertype in Bijlage 3, voorbeelden zijn opgenomen in Figuur 2.26 en Figuur 2.27.

Tabel 2-5 *Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van korte vegetaties in de referentiesituatie, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype voor kan komen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen. Het effect van de vochtgradiënt binnen de eenheden van de LBK geven wij weer door de realisatiekansen steeds uit te rekenen voor het nattere deel (P30), het mediane deel (P50) en het drogere deel (P70).*

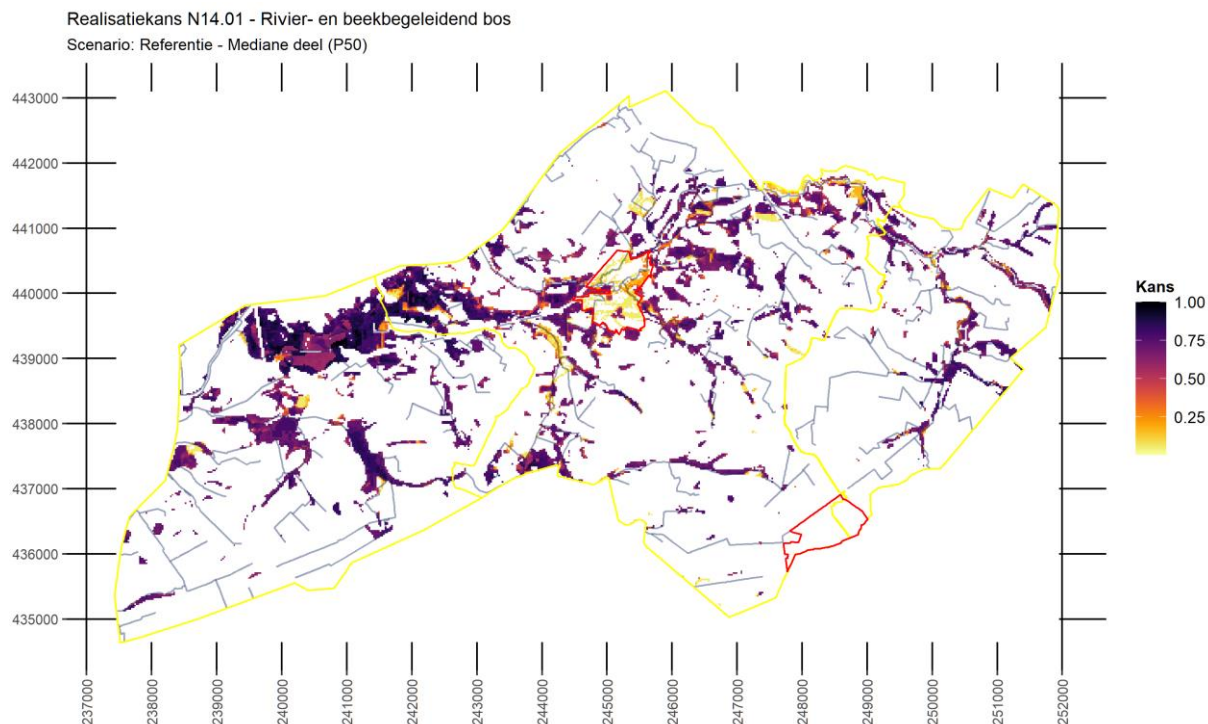
Doeltype	Vochtgradiënt	Opp (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N06.02 - Trilveen	P30	149	0.031	0.052	0.643
	P50	7	0.162	0.305	0.305
	P70	7	0.020	0.038	0.038
N06.03 - Hoogveen	P30	114	0.134	0.152	0.168
	P50	22	0.750	0.809	0.809
	P70	22	0.589	0.636	0.636
N06.04 - Vochtige heide	P30	4436	0.213	0.778	1.000
	P50	4454	0.333	0.778	1.000
	P70	4454	0.305	0.778	1.000
N06.05 - Zwakgebufferd ven	P30	0	0.000	0.000	0.000
	P50	0	0.000	0.000	0.000
	P70	0	0.000	0.000	0.000
N06.06 - Zuur ven of hoogveenven	P30	0	0.000	0.000	0.000
	P50	23	0.066	0.174	0.174
	P70	23	0.021	0.055	0.055
N07.01 - Droge heide	P30	14	0.045	1.000	1.000
	P50	52	0.010	0.184	1.000
	P70	100	0.003	0.138	1.000
N07.02 - Zandverstuiving	P30	12	0.023	0.400	0.400
	P50	15	0.057	1.000	1.000
	P70	15	0.057	1.000	1.000
N10.01 - Nat schraalland	P30	1700	0.068	0.716	1.000
	P50	1729	0.072	0.412	1.000
	P70	1729	0.020	0.196	0.968
N10.02 - Vochtig hooiland	P30	1743	0.014	0.647	1.000
	P50	1773	0.009	0.706	1.000
	P70	1773	0.005	0.510	1.000
N11.01 - Droog schraalgrasland	P30	84	0.041	0.112	0.826
	P50	125	0.066	0.179	0.860
	P70	125	0.094	0.256	0.860
N12.03 - Glanshaverhooiland	P30	8	0.000	0.000	0.132
	P50	108	0.000	0.009	0.173
	P70	111	0.000	0.018	0.210

Tabel 2-6 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van bos en struweel in de referentiesituatie, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype voor kan komen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen. Het effect van de vochtgradiënt binnen de eenheden van de LBK geven wij weer door de realisatiekansen steeds uit te rekenen voor het nattere deel (P30), het mediane deel (P50) en het drogere deel (P70).

Doeltype	Vochtgradiënt	Opp (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N14.01 - Rivier- en beekbegeleidend	P30	1075.9	0.012	0.621	1.000
	P50	1105.8	0.014	0.710	1.000
	P70	1105.8	0.015	0.710	1.000
N14.02 - Hoog- en laagveenbos	P30	113.9	0.122	0.326	0.700
	P50	135.6	0.068	0.385	0.777
	P70	135.6	0.011	0.064	1.000
N14.03 - Haagbeuken- en essenbos	P30	64.3	0.226	0.303	0.316
	P50	64.3	0.379	0.509	0.531
	P70	580.0	0.042	0.056	0.779
N15.02 - Dennen-, eiken- en beukenbos	P30	83.8	0.011	0.095	1.000
	P50	124.8	0.019	0.200	1.000
	P70	640.6	0.007	0.022	1.000

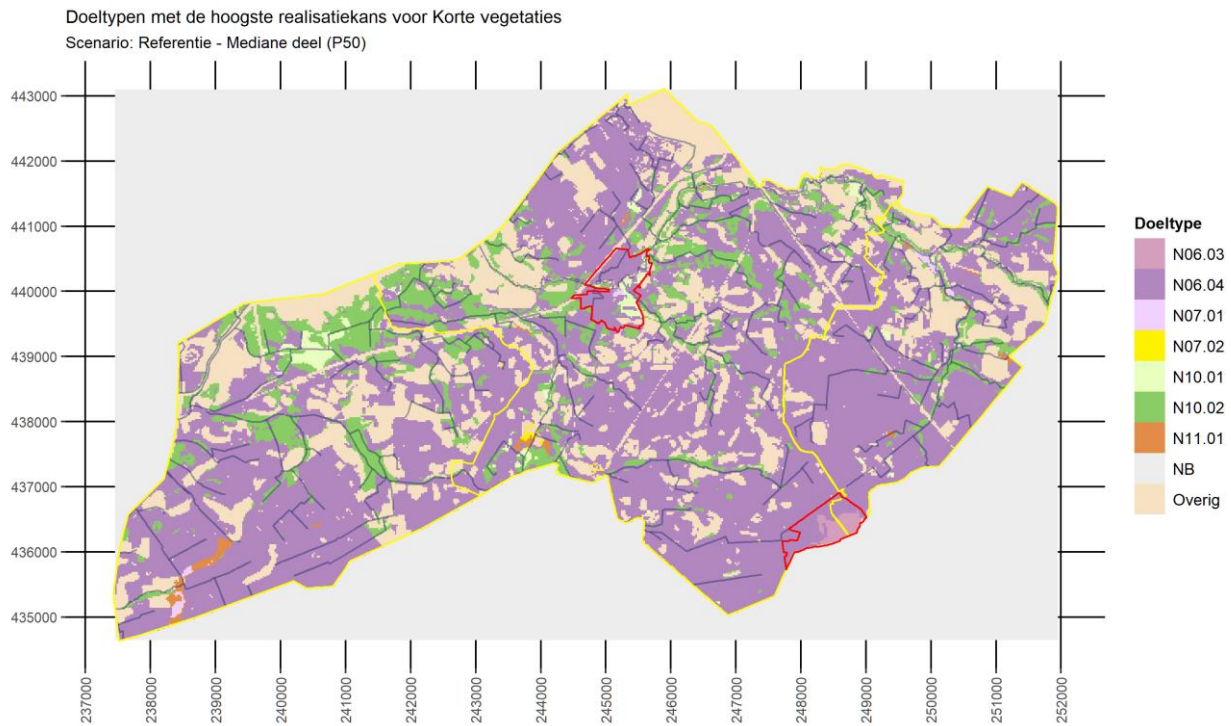


Figuur 2.26 Realisatiekansen voor het beheertype N10.01 – Nat schraalland bij mediane waarden voor de grondwaterstanden in de referentiesituatie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.



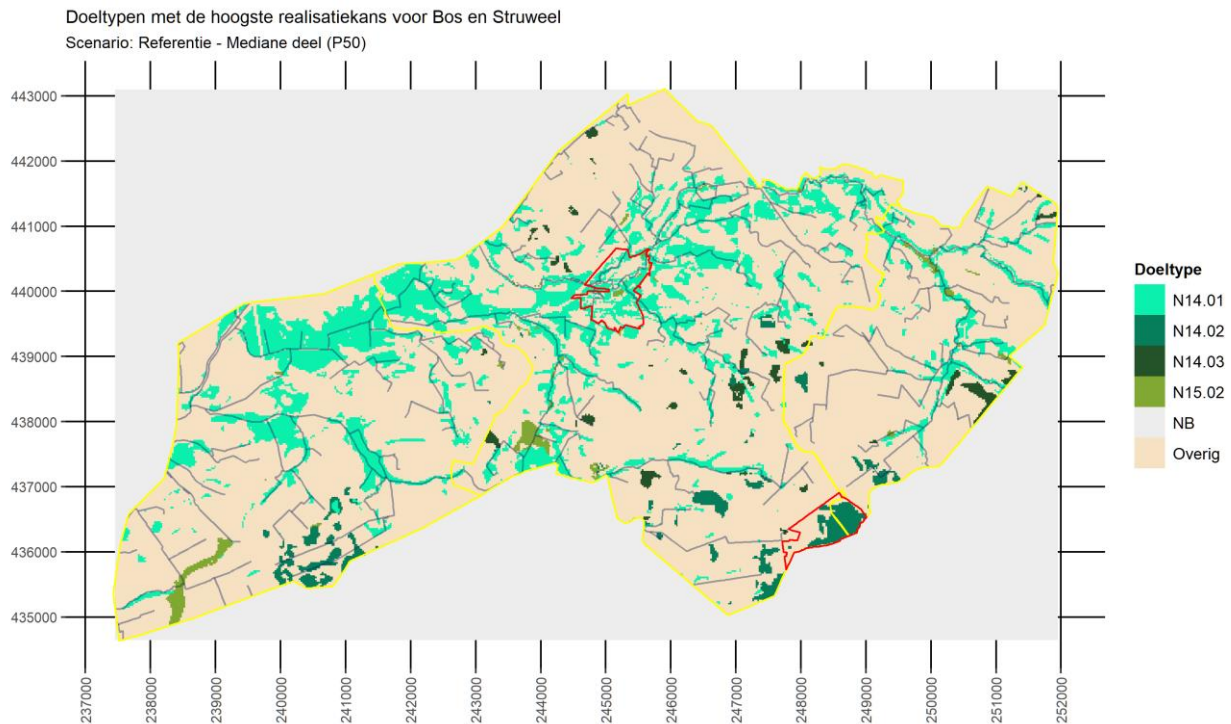
Figuur 2.27 Realisatiekansen voor het beheertype N14.01 – Rivier- en beekbegeleidend bos bij mediane waarden voor de grondwaterstanden in de referentiesituatie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

Om een indruk te krijgen van de verbreiding van beheertypen over het gebied hebben wij per gridcel beoordeeld welk beheertype de hoogste realisatiekans heeft. Dit is natuurlijk niet alleen afhankelijk van de abiotische standplaatsfactoren, maar ook het beheer speelt een grote rol. Daarom hebben wij deze vergelijking apart gemaakt per structuurtype, wat verband houdt met het beheer. Korte vegetaties ontstaan als gevolg van een actief vegetatiebeheer, zoals maaien en/of begrazing. Bos en struweel ontstaan bij het achterwege laten van een dergelijk vegetatiebeheer of zelfs actief beheer, gericht op het ontstaan van bos, zoals aanplant of het tegengaan van begrazing. In Figuur 2.28 en Figuur 2.29 hebben wij voor beide structuurtypen de doeltypen met de hoogste realisatiekans bij mediane waarden voor de grondwaterstanden in de referentiesituatie, weergegeven. Niet overal heeft een van de beoordeelde beheertypen een realisatiekans > 0. Daar is dus geen beheertype gevonden met een maximale realisatiekans. Deze zijn op de kaart aangeduid met 'Overig'. Natuurlijk kan daar wel een korte vegetatie of bos voorkomen, maar dat zal dan een ander type zijn dan de beoordeelde beheertypen. Vergelijking van deze kaarten met het grondgebruik volgens de kadastrale kaart van 1832 (Figuur 2.15) leert dat de overeenkomsten over het algemeen groot zijn, zeker wat betreft de verbreiding van (vochtige) heide, nat schraalland en vochtig hooiland binnen de korte vegetaties en ten dele voor haagbeuken en essenbos. Elzenbos (Rivier- en beekbegeleidend bos) heeft een veel kleiner areaal dan op basis van de realisatiekansen verwacht kan worden. De beekdalen waren vooral in gebruik als grasland. De met 'Overig' aangeduide delen op de kanskaarten komen grotendeels overeen met de oude bouwlanden.



Figuur 2.28 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij mediane waarden voor de grondwaterstanden in de referentiesituatie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

(Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos).



Figuur 2.29 Doeltypen met de hoogste realisatiekans voor bossen en struwelen bij mediane waarden voor de grondwaterstanden in de referentiesituatie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

(Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos)

Conclusies

- In de referentiesituatie kwamen van de korte vegetatietypen met name natte vegetaties voor. Van de natte vegetatietypen kwam het beheertype 'Vochtige heide' het meest voor. Daarnaast kwamen vochtige hooilanden en natte schraallanden veel voor in het gebied. Op veel plaatsen kwam waarschijnlijk vochtig hooiland voor in plaats van nat schraalland, omdat het laatstgenoemde type strengere eisen stelt aan de grondwaterstand, met name een hogere grondwaterstand in het voorjaar (GVG).
- Van bossen en struwelen kwamen in de referentiesituatie naar inschatting rivier- en beekbegeleidende bossen het meest voor. Echter, welk type bos het meest voorkwam, verschilde sterk binnen het landschap. In de hoogveengebieden bij het Wooldse Veen en het Witte Veen kwamen vooral hoog- en laagveenbossen voor. Op de drogere delen van de terrassen waren vooral haagbeuk- en essenbossen en dennen-, eiken- en beukenbossen te vinden. Vergeleken met de lage vegetatietypen zijn voor bossen minder verschillende beheertypen te onderscheiden. Dit komt terug in prominenter verschillen tussen de verschillende bostypen. Binnen dezelfde fysisch-geografische eenheid is daardoor minder concurrentie tussen verschillende subtypen.
- Zowel voor de korte vegetaties als bij bossen en struwelen komen relatief grote oppervlakten voor met de klasse 'Overig'. Deze gebieden zijn niet geschikt voor de getoetste doeltypen.

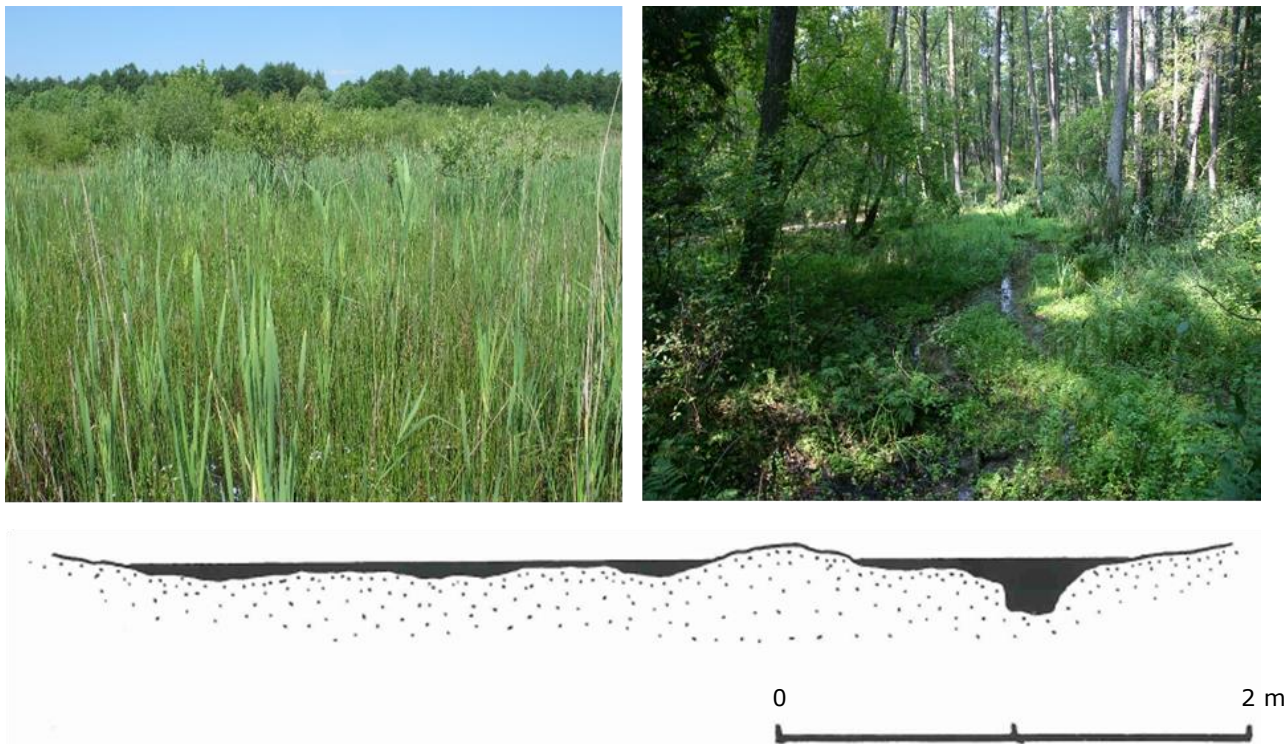
Bij bovengenoemde conclusies moet worden opgemerkt dat deze in belangrijke mate afhankelijk zijn van methodekeuzen. Voor sommige beheertypen is de vochtsituatie sterk bepalend. De referentiewaarden waarmee gerekend is, zijn bepaald per FG-eenheid (zie § 2.2.2). Om de variatie binnen een kaartvlak, ofwel de 'vochtgradiënt' van nat naar droog aan te kunnen geven, is gewerkt met 'percentielwaarden' waarbij P30 het nattere deel aangeeft en P70 het drogere. De bovenstaande conclusies zijn echter gebaseerd op de referentiegrondwaterstanden in het midden van de vochtgradiënt (percentielwaarde P50 ofwel de mediane waarde). De effecten van de modelkeuzes zijn in detail toegelicht in Bijlage 3.

Als andere statistieken (bijvoorbeeld het 30-percentiel of 70-percentiel in plaats van de mediaan) van de grondwaterstanden zouden zijn gebruikt, zouden bijvoorbeeld trilvenen en hoogvenen meer naar voren zijn gekomen in onze inschattingen. Trilvenen kwamen volgens de inschatting op basis van de medianen van de grondwaterstanden nergens als waarschijnlijkste type voor. Vochtige graslandtypen waren overal dominant. Echter, in de praktijk zullen trilvenen in de natste, kwelgevoede delen van de beekdalen lokaal wel zijn voorgekomen.

2.3 Achtergrondsituatie waternatuur

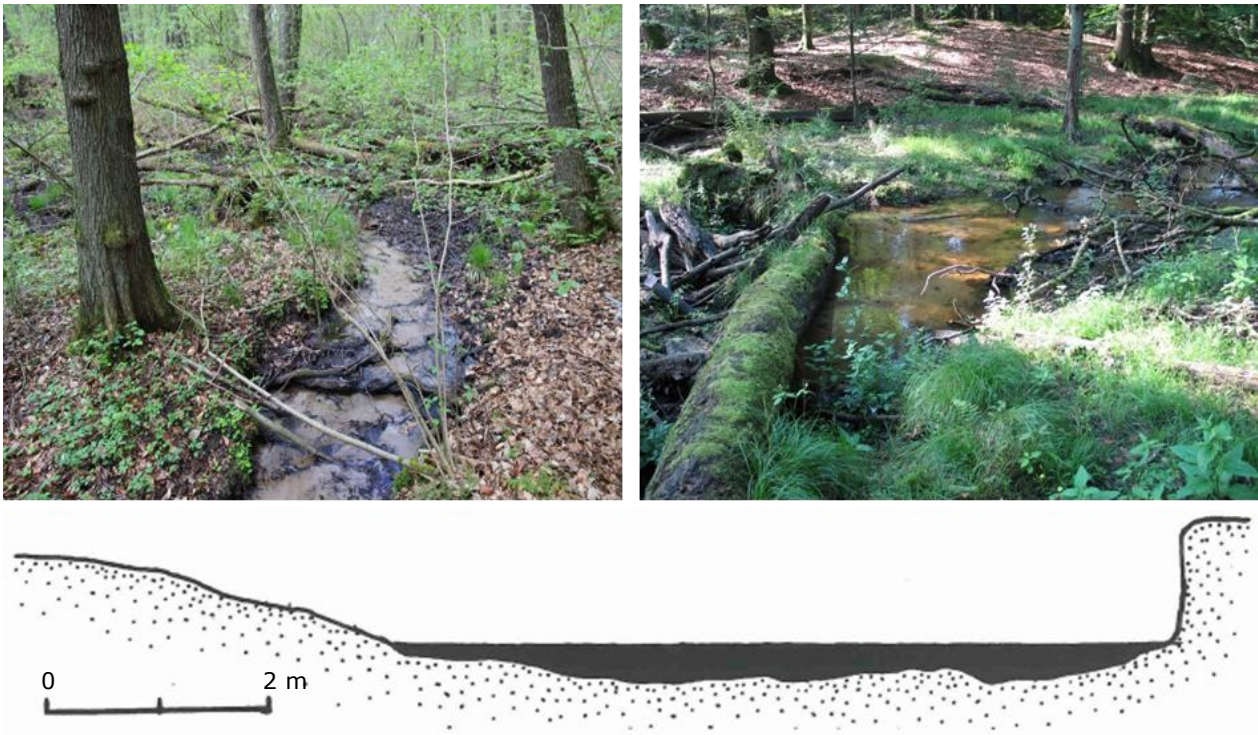
2.3.1 Hydromorfologische systeembeschrijving oorspronkelijke watersystemen

In een ongestoorde natuurlijke situatie ontsprongen de beekbovenlopen in het gebied diffuus. Dit wil zeggen in natte grondwater gevoede laagtes die op veel plekken op de plateaus aanwezig waren, bijvoorbeeld het oorsprongsgebied van de Slinge ten oosten van Südlohn, en aan de randen van de grote hoogveenkernen die in het zuiden van het werkgebied te vinden waren, zoals de Osink-Bemersbeek die in het Buurloosche Veenveld ontsprong. Hier waren de zogenoemde doorstroommoerassen aanwezig (Verdonschot et al., 2016; Figuur 2.30). Op kleinere schaal kwamen deze systemen ook voor op de flanken van het beekdal verder benedenstrooms in het systeem, waar een sterke aanvoer van grondwater vanuit de hoger gelegen delen aanwezig was. Dit type systemen vormde een graduele overgang tussen de land- en de waternatuur. Van een echte beekloop was op deze plekken dan ook geen sprake en er waren alleen plaatselijk loopjes te onderscheiden. De afvoer in het doorstroommoeras was hoger in de winter en lager in de zomer, waardoor in de winter duidelijkere geulen/stroombanen in de vlakke delen te onderscheiden waren door het uitredende grondwater en afspoelende regenwater. In de doorstroommoerassen treedt de zogenoemde 'sponswerking' op; ondanks dat er een gerichte stroming is naar benedenstrooms, is de verblijftijd veel langer dan in een beekloop. Dit zorgt voor sterke demping van afvoerpieken en een jaarrond watervoerende en traag stromende beek benedenstrooms. De afbraak van afgestorven plantenresten verliep er traag (door de voedselarme omstandigheden), waardoor veenvorming optrad. Permanent natte plekken waren open en werden gedomineerd door vegetaties met veel zeggen en mossen, terwijl drogere plekken met broekbos begroeid waren.



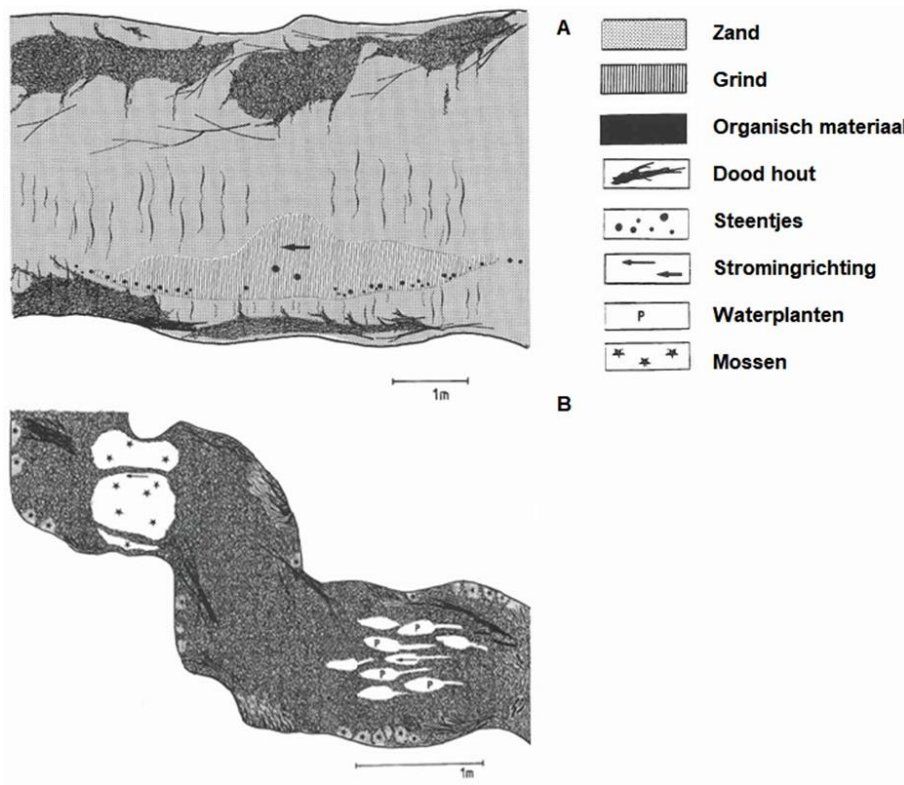
Figuur 2.30 Oorsprongsgebied laaglandbeek in de vorm van een doorstroommoeras (linksboven) of een broekbos (rechtsboven). Het profiel is zeer vlak (onder, Ehlert & Van den Boom (1999), maatstreef is 2 m).

Verder benedenstrooms werd de afvoer dusdanig hoog en het verhang groter dat het water voldoende erosieve kracht had om een duidelijke loop te vormen. Hier was sprake van een 'echte' bovenloop, die zich voortzette in een midden- en benedenloop met toenemende afvoer en dimensies (Figuur 2.31). Dit betrof in het werkgebied de Boven-Slinge en de zijbeken Osink-Bemersbeek en Storteldersbeek. Ten opzichte van het huidige watersysteem was het aantal bekenstelsels in het gebied dus kleiner. De oevers van deze systemen waren oorspronkelijk met beekbegeleidend bos begroeid. De wisselwerking tussen stroming, bomen en slecht erodeerbare bodemlagen (oer, leem, veen) zorgde voor een sterk meanderende loop. Langs de loop kwamen moeraszones en overstromingsvlaktes voor. Door de gedempte afvoer had de beek een relatief vlak dwarsprofiel en was niet diep ingesneden. Deze vorm is zeer belangrijk voor het ontstaan van graduele land-waterovergangen die voor de biodiversiteit belangrijke gradiënten in milieufactoren herbergen (nat-droog). Het oeverprofiel was variabel, waarbij vlakke delen werden afgewisseld met steile of holle kanten. De interactie tussen stroming en boomwortels in de oevers was belangrijk voor het ontstaan van deze variabiliteit.



Figuur 2.31 Voorbeelden van een bovenloop (linksboven) en middenloop (rechtsboven) van een laaglandbeek. Het profiel is variabel, variërend van langzaam oplopend tot steil (onder, Ehlert & Van den Boom (1999), maatstreek is 2 m).

De beekbedding bestond uit een door stromingsvariatie gecreëerd mozaïek van organisch (zeer fijn slib tot grof in de vorm van blad) en mineraal (zand, grind) materiaal, met additionele structuur in de vorm van dood ingevallen hout (Figuur 2.32). In de bovenlopen kon de bodem ook uit veen bestaan (Figuur 2.33). Op zonbeschenen plekken kwamen verder pleksgewijs stromingsminnende waterplanten voor.



Figuur 2.32 Bovenanzicht van substraatpatronen in een laaglandbeek met een zandbodem (a) en een veenbodem (b) (gewijzigd naar Ehlert & Van den Boom (1999)).



Figuur 2.33 Veenbeek in doorstroomveen.

2.3.2 Fysisch-chemische referentie

Het water in de beken was onder ongestoorde omstandigheden relatief voedselarm (oligo- tot mesotroof), weinig organisch belast, oftewel oligo- tot β -mesosaproob (organische belasting geeft de belasting van een water met biologisch afbreekbaar organisch materiaal aan wat direct gerelateerd is aan de zuurstofvraag) en wat betreft zuurgraad zwak zuur tot neutraal. Afhankelijk van de herkomst van de grondwatervoeding kon

het water mineralenarm tot mineralenrijk zijn. De watertemperatuur was door grondwatervoeding en/of beschaduwing relatief laag en gedempt, waardoor koudwaterminnende organismen (koudstenothermen) konden worden aangetroffen. Het zuurstofgehalte van het water was door de lage belasting en de lage watertemperatuur in combinatie met stroming continu hoog met weinig schommelingen.

2.3.3 Biologische referentie

Op de overgang tussen water en land kwamen in de beekdalen en laagtes onder ongestoorde omstandigheden zeer soortenrijke levensgemeenschappen voor, zowel wat betreft de flora als de fauna. Het gaat hierbij met name om veenvormende zeggenbegroeiingen en broekbossen (Runhaar et al., 2013; Aggenbach et al., 2014). Deze habitattypen worden gekenmerkt door een grote variatie in omstandigheden op een relatief kleine oppervlakte. Deze grote variatie bestond uit verschillen in microreliëf, vochtgehalte van de bodem, vegetatiestructuur en fysisch-chemische eigenschappen van de bodem en het water (o.a. nutriëntengehalten en zuurgraad).

Ook de laaglandbeken herbergden een soortenrijke kenmerkende fauna, waarvan veel soorten nog steeds te vinden zijn in het gebied (Bijlage 4). Een groot aantal macrofaunasoorten is karakteristiek voor het type beken dat in het gebied voorkomt, waarvan er tientallen per vierkante meter beekbodem kunnen worden aangetroffen. Belangrijke eigenschappen van deze kenmerkende soorten zijn een preferentie voor continue stroming van het water, lage gedempte watertemperaturen (grondwater) en voedselarme en weinig organisch belaste omstandigheden, maar ook binding aan bijvoorbeeld het substraat grind of doodhout. De functionele eigenschappen van de specifieke soorten bepalen uiteindelijk welke eisen worden gesteld aan het milieu. Het hierboven beschreven habitatmozaïek van verschillende substraten is een belangrijke randvoorwaarde voor een diverse fauna. Vaak is er daarnaast binding met de beboste oeverzone of beekbegeleidende moerassen, met larven die opgroeien in de moerassige delen op de overgang tussen water en land en aquatische insecten met een terrestrisch levensstadium die zich ophouden in de vegetatie langs de beek (Figuur 2.34). Ook waren de doorstroommoerassen zeer rijk aan semi terrestrische fauna, bijvoorbeeld zweefvliegen, kevers en spinnen.



Figuur 2.34 De haft *Ephemera danica* is een kenmerkende soort voor laaglandbeken (Foto: Ralf Verdonschot).

De visfauna van de beken is in vergelijking met de macrofauna beperkter van omvang, maar bevat wel een aantal karakteristieke beekvissoorten, zoals bierpje (*Barbatula barbatulus*), beekprik (*Lampetra planeri*), rivierdonderpad (*Cottus perifretum*), serpeling (*Leuciscus leuciscus*) en kopvoorn (*Squalius cephalus*). Deze soorten hebben gemeen dat ze stromingsminnend zijn. Bij relatief hoge stroomsnelheden en voldoende grindbanken kan ook de beekforel (*Salmo trutta*) voorkomen. Sommige migrerende soorten gebruiken de

beek als paai- en opgroeiplaats, zoals de rivierprik (*Lampetra fluviatilis*). Wanneer er beekbegeleidende moerassen en overstromingsvlaktes aanwezig zijn in de midden-benedenloop kunnen ook bijvoorbeeld de kwabaal (*Lota lota*) en grote modderkruiper (*Misgurnus fossilis*) worden aangetroffen.

De grootste botanische waarden waren aanwezig in de beekbegeleidende moerassen en doorstroommoerassen die de oorsprong van de beeksystemen vormden. Hier kunnen grote aantallen soorten voorkomen langs de kleinschalige gradiënten die door bijvoorbeeld grondwatervoeding en microreliëf worden gevormd. De vegetatie in natuurlijke doorstroommoerassen bestaat overwegend uit soortenrijke kleine-zeggenvegetaties met daarin veel slaapmossen ('Braunmoose') (Verdonschot et al., 2016). Er zijn weinig waterplanten echt karakteristiek voor laaglandbeken en welke soorten voorkomen, hangt af van de specifieke milieuomstandigheden (o.a. voedselrijkdom, mate van buffering). Enkele voorbeelden van specifieke soorten zijn grote en penseelbladige waterranonkel (*Ranunculus peltatus* en *R. penicillatus*), klimopwaterranonkel (*R. hederaceus*), drijvende waterweegbree (*Luronium natans*), haaksterrenkroos (*Callitriche brutia*), duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*) en teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*). Vaak zijn vooral op de oevers soorten van relatief voedselarme grondwater gevoede milieus te vinden, zoals paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*), slanke sleutelbloem (*Primula elatior*) en bittere veldkers (*Cardamine amara*). Van nature komen ook veel mossen voor in laaglandbeken, zoals bronmos (*Fontinalis antipyretica*).

Uitgebreide beschrijvingen en soortenlijsten van de flora en fauna die in de natuurlijke achtergrondsituatie te verwachten zijn, worden opgesomd in de KRW-maatlatten voor de verschillende beektypen (Van der Molen et al., 2012) en het achtergronddocument bij het 'Handboek Natuurdoeltypen in Nederland' voor beken (Verdonschot, 2000).

2.4 Effecten van menselijk handelen

2.4.1 Ontginningen en aanpassingen watersysteem

Effecten van menselijke ingrepen vóór de referentiesituatie (begin 20^e eeuw)

Vanaf het Laat Neolithicum (2850-2000 voor Chr.) werd de invloed van de mens op het landschap in de omgeving groter. Rond deze tijd begon ook het bos buiten de hogere en bewoonde zandruggen plaats te maken voor een meer open parklandschap. Met name in de opvolgende bronstijd verdween veel van de oorspronkelijke vegetatiebedekking door boskap en afbranding. Uitzonderingen hierop waren vaak de laaggelegen natte en daardoor moeilijker om te vormen delen in het landschap, de beekdallandschappen die veelal beekdalvenen en (broek)bossen bevatten. Door de grote mate van ontbossing op de hogere gronden nam echter het cultuurareaal in de omgeving van Winterswijk af (Neefjes en Willems, 2009). De afname in evapotranspiratie (d.w.z. verdamping en transpiratie) door de ontginningen zorgde namelijk voor een vernatting van het gebied. Vooral op de hoger gelegen plateaus met keileem en tertiaire klei in de ondergrond kon, met name in de winter, de grondwaterstand hoog oplopen, waardoor landgebruik werd beperkt.

De afname in evapotranspiratie door het kappen van het oorspronkelijke (dichte) vegetatiedek heeft ook een belangrijke weerslag gehad op de afvoer van de beeksystemen in het gebied. Dit komt doordat een verminderde evapotranspiratie leidt tot een hogere mate en snellere oppervlakkige (en grondwater)afvoer van neerslag richting de beken, met als gevolg een toename en veranderende dynamiek van de afvoer van deze beeksystemen. Een hogere mate van afvoer kan vervolgens zorgen voor een hogere mate van laterale verplaatsing van de beekgeul door een toename van de erosieve kracht van het water tijdens hoge afvoeren. Daarnaast is het (plaatselijk) mogelijk dat de beekloop zich in het landschap insnijdt als gevolg van de hogere afvoeren. Ten slotte heeft de grootschalige ontginning van de hoger gelegen plateaus er ook voor gezorgd dat er meer sediment in de beekdalen kwam door erosie van de (landbouw)gronden. De input van extra sediment heeft naar alle waarschijnlijkheid ook de hydromorfologie van de beeksystemen beïnvloed, aangezien deze wordt gedreven door de balans in water en sediment. Uit deze onderlinge afhankelijkheden van het hydro(morfo)logische basissysteem blijkt dat het menselijk handelen op de hogere gronden ook sterke invloed heeft gehad op de lagergelegen beeksystemen. De bevolkingsgroei en daarmee gepaarde mate van ontbossing bleef ook tijdens de IJzer- en Romeinse tijd toenemen (Neefjes en Willems, 2009).

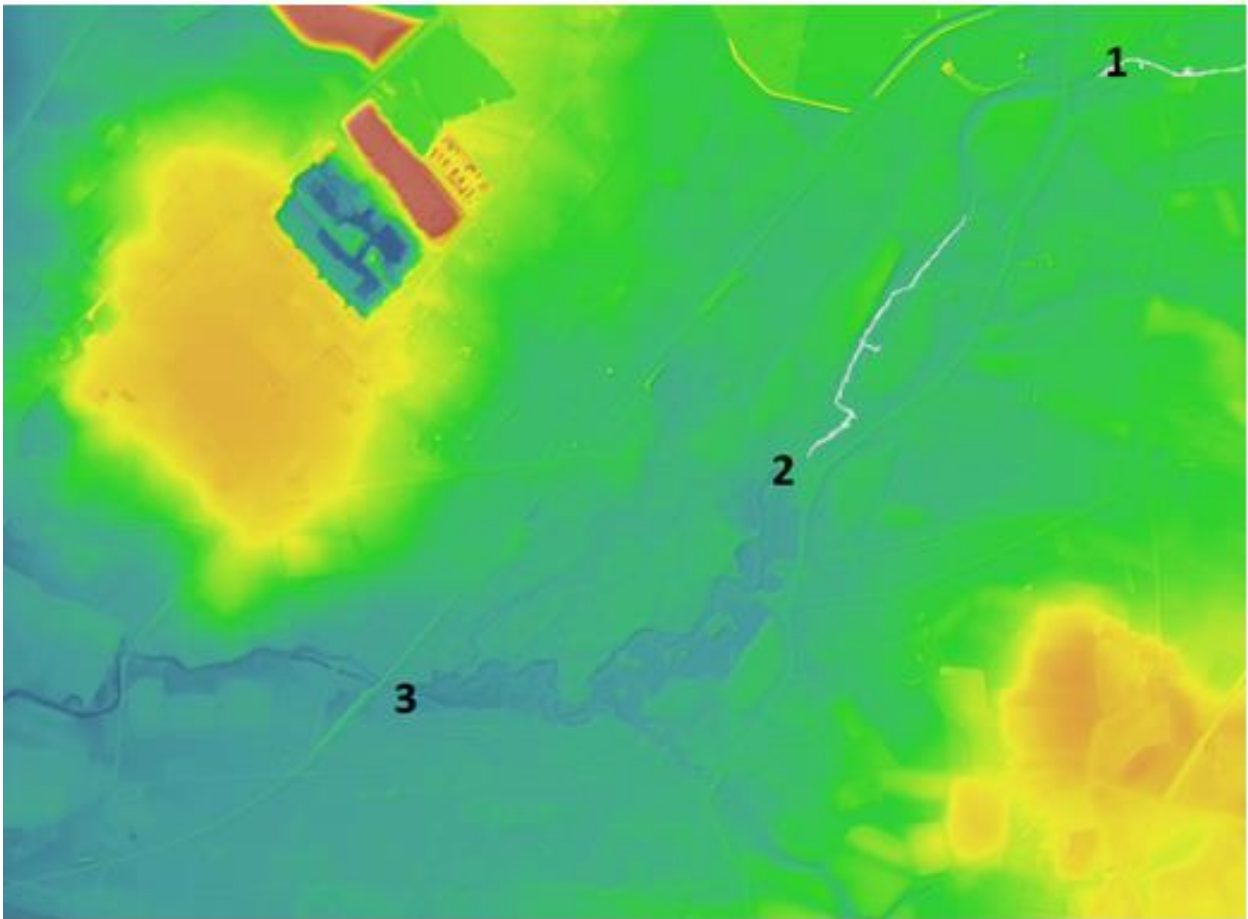
Aan het einde van de Romeinse tijd nam de mate van bevolking in Nederland, en daarmee ook in Winterswijk, sterk af (zogenaamde Dark Ages). Dit zorgde ervoor dat er (tijdelijk) regeneratie van bossen kon plaatsvinden.

Toename menselijke invloed

Het is rond de 8^e eeuw na Christus dat de bevolkingsaantallen en de mate van ontbossing in het gebied weer toenemen, als was dit wel een stapsgewijs proces. Tijdens de Late Middeleeuwen kwam het gebruik van plaggenlandbouw steeds sterker tot ontwikkeling, een proces waarbij de strooisellaag van (voornamelijk) heidegronden werd gebruikt voor het opvangen van de mest van het vee om vervolgens op de relatief arme akkergronden op te brengen voor de landbouw. Hierdoor neemt in deze periode ook het areaal aan heidegronden sterk toe en verdwijnen nagenoeg alle bossen. Het is vanaf ongeveer de 16^e eeuw dat de strooisellaag zich onvoldoende snel kan herstellen voor de landbouwkundige behoefte, waardoor er steeds meer van de minerale bodem wordt meegestoken bij het plaggen (Neefjes en Willemse, 2009). Hiermee werd de oorspronkelijk aanwezige bodem dusdanig beschadigd dat hernieuwde verstuiving van de oude Pleistocene dekzanden steeds gemakkelijker en op grotere schaal kon plaatsvinden en zich her en der zogenaamde stuifzandgebieden konden ontwikkelen (Pierik et al., 2018). Lokaal kan deze verstuiving ook gezorgd hebben voor een extra sedimentinput voor de aanwezige beken in de omgeving, met mogelijke gevolgen voor de morfodynamiek van deze systemen. Dit effect is echter waarschijnlijk zeer beperkt geweest, omdat zowel de geomorfologische kaart als de bodemkaart geen aanwijzingen geeft voor grootschalige hernieuwde verstuiving. Er zijn bijvoorbeeld geen stuifzandgebieden of duinvaaggronden gekarteerd.

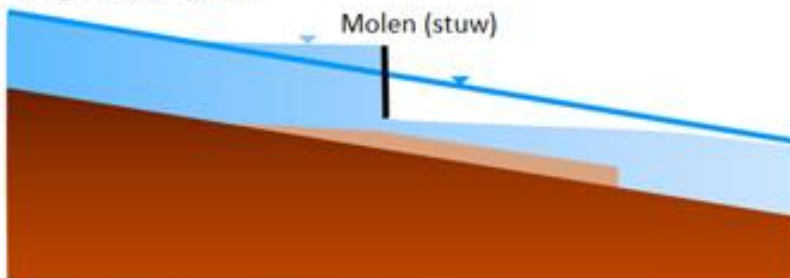
Watermolens

Een andere belangrijke factor die zonder meer van invloed moet zijn geweest op de beeksystemen rondom Winterswijk, is de constructie van watermolens in de watergangen. De eerste watermolen, die al in de 12^e eeuw wordt genoemd in het gebied, is de huidige watermolen Den Helder. Naast de nog bestaande Den Helder- en Berenschot-watermolens zijn er aanwijzingen dat er meerdere watermolens in het gebied hebben gestaan (Neefjes & Willemse, 2009). Een voorbeeld hiervan is de waarschijnlijke aanwezigheid van de broekmolen, gelegen nabij de locatie waar de Slinge de spoorlijn passeert. Naast de directe menselijke ingrepen in het watersysteem om de molens van voldoende water te voorzien, waarvan de verlegging van de loop van de Boven-Slinge van het dal van de huidige Whemerbeek naar een (bron)loop van de Aaltense Slinge een waarschijnlijk voorbeeld is, heeft de bouw van watermolens ook een morfodynamische impact. De aanwezigheid van watermolens zorgt namelijk voor een afname van de stroomsnelheid en opstuwung van het water bovenstrooms van de watermolens (zogenaamd 'backwater effect' (MaaB & Schüttrumpf, 2019)). Hierdoor neemt de capaciteit om sediment te vervoeren in dit deel van de rivier af, wat zorgt voor een ophoging (aggradatie) van het rivierbed en sedimentatie van oever- en overstromingsvlaktesedimenten. Daarnaast zal de opstuwende werking ook hebben gezorgd voor een stijging van het grondwatervniveau in dit deel van het beekdal. Benedenstrooms van een aanwezige watermolen vindt het tegenovergestelde effect plaats; de lokaal hogere gradiënt en relatief lage sedimentlast die gecreëerd wordt door de opstuwung van de molen leidt tot een hogere stroomsnelheid en hogere erosiecapaciteit van de geul benedenstrooms van de watermolen (Figuur 2.35). Hierdoor vindt veelal insnijding van het rivierbed plaats. Belangrijk om in gedachten te houden, is dat ook het verwijderen van historische watermolens (of dammen/stuwen) een belangrijk effect kan hebben (gehad) op de geuldynamiek van de beek. Door het verwijderen van de (molen)dam kan de gradiënt van de geul herstellen, wat leidt tot erosie, insnijding van het rivierbed en grondwaterdaling bovenstrooms, en sedimentatie en aggradatie benedenstrooms van de oorspronkelijke molen (Figuur 2.35). Daarnaast kan het verplaatsen van (grote) hoeveelheden sediment over het lengteprofiel ook gevolgen hebben voor de laterale dynamiek van de geul. Zo kan, afhankelijk van de omstandigheden, bijvoorbeeld het extra beschikbare sediment in een benedenstroomse rivierbocht sedimenteren in de volgende binnenbocht die hierdoor lateraal kan gaan verschuiven. Het is dan ook zeer waarschijnlijk dat de bouw en ingebruikname (of het verwijderen) van watermolens zoals de molens Berenschot (1652) en Den Helder (1303), maar ook de voormalige broekmolen net benedenstrooms van Bekendelle, een belangrijke invloed heeft gehad op de dynamiek van de Boven-Slinge.

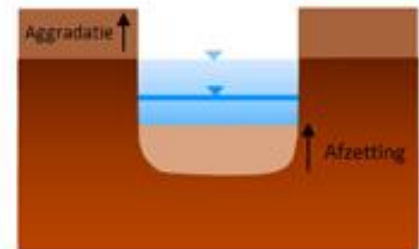


A Effect van constructie van watermolens

Longitudinaal profiel

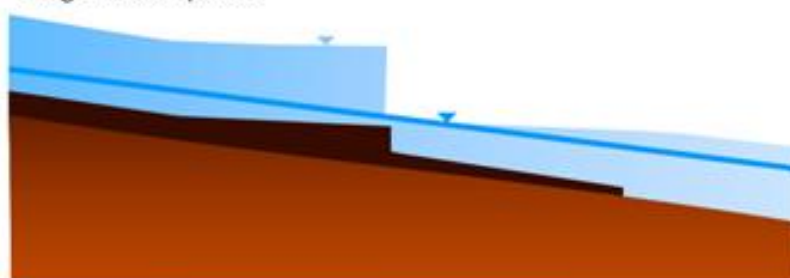


Dwarsprofiel

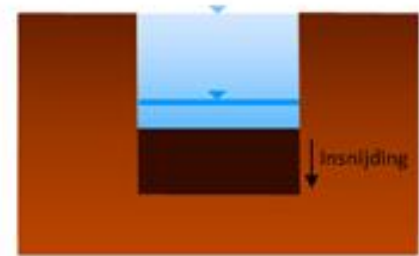


B Effect van verwijdering watermolens

Longitudinaal profiel



Dwarsprofiel



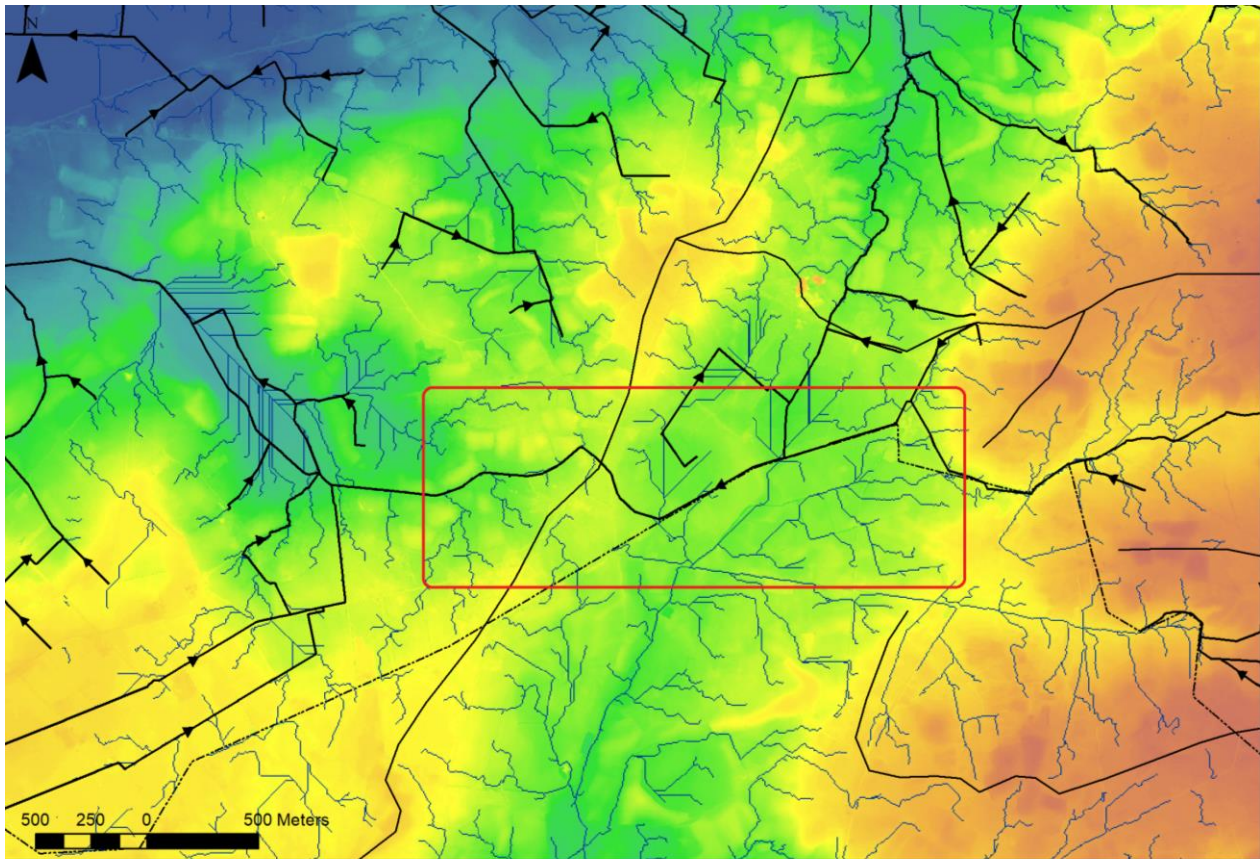
- | | |
|---|---|
| Water level voor of na watermolen | Niveau rivierbed |
| Water level door constructie van watermolen | Sedimentatie door constructie watermolens |
| Aggradatie overstromingsvlakte | Erosie door verwijderen watermolens |

Figuur 2.35 Locatie van de watermolens 1: Den Helder, 2: Berenschot en 3: voormalige Broekmolen in de omgeving van Bekendelle. De onderste tekeningen geven de effecten van watermolens op het waterniveau en sedimentatie en erosie in de waterloop weer (afbeelding uit MaaB & Schüttrumpf, 2019).

Naast de hydromorfologische effecten hebben watermolens naar alle waarschijnlijkheid ook een belangrijke invloed gehad op de vegetatie in de beekdalen. Zo laat een modelstudie door Van Oorschot et al. (2018) zien dat door plaatsing van obstructies in de geul de omvang, timing en ruimtelijke verdeling van rivierafvoeren wordt beïnvloed. Als gevolg hiervan veranderen de landschapsvormen (banken, erosie kuilen, oevers) en dynamiek in de beek en het beekdal en daarmee het beschikbare areaal voor bepaalde vegetatietypen. Dezelfde processen zullen ook een rol hebben gespeeld in het stroomgebied van de Boven-Slinge, met name in de beekdalvlaktes. De menselijke invloeden tot aan het begin van de 20^e eeuw zoals hierboven beschreven, hebben geleid tot de referentiesituatie die gebruikt is voor het berekenen van de realisatiekansen in § 2.2 en de beschrijving van de waternatuur in §2.3.

Effecten van menselijke ingrepen sinds de referentiesituatie (begin 20^e eeuw)

Om de hydrologische situatie van het gebied te verbeteren voor bewoning en landgebruik is men al vroeg begonnen met het draineren van natte laagtes en het (plaatselijk) omleiden van watergangen en beken (Neefjes & Willemse, 2009). Het moment waarop deze aanpassingen gedaan zijn, is moeilijk te achterhalen en zal sterk locatie-afhankelijk zijn. Sommige ingrepen zullen al (pre)middeleeuws zijn, terwijl andere aanpassingen pas vanaf de 20^e eeuw zijn gemaakt. Om te achterhalen welke ingrepen er zijn geweest, is echter een gedetailleerd historisch onderzoek nodig, hetgeen buiten het bereik van dit onderzoek valt. In de hedendaagse hoogtebeelden en topografie zijn nog tal van voorbeelden te zien waar waterlopen door menselijk ingrijpen relatieve hoogtes van landduinen en essen doorkruisen. Hiermee is de ontwatering van het (huidige) watersysteem vanuit het oogpunt van de hydrologie van het natuurlijk basissysteem ontkoppeld geraakt. Een voorbeeld hiervan is duidelijk te zien in het gebied rond het Blekkinkveen, waar het stroomgebied van de Haartse Waterleiding is verbonden met dat van de Dambeek. Hierbij wordt een natuurlijke waterscheiding in het landschap in de vorm van een smeltwaterdal en vereffeningsplateau doorkruist (Figuur 2.36). Het verbinden van deze twee watersystemen heeft ervoor gezorgd dat de afvoer van de Haartse Waterleiding groter is dan deze zou zijn vanuit het natuurlijk basissysteem.

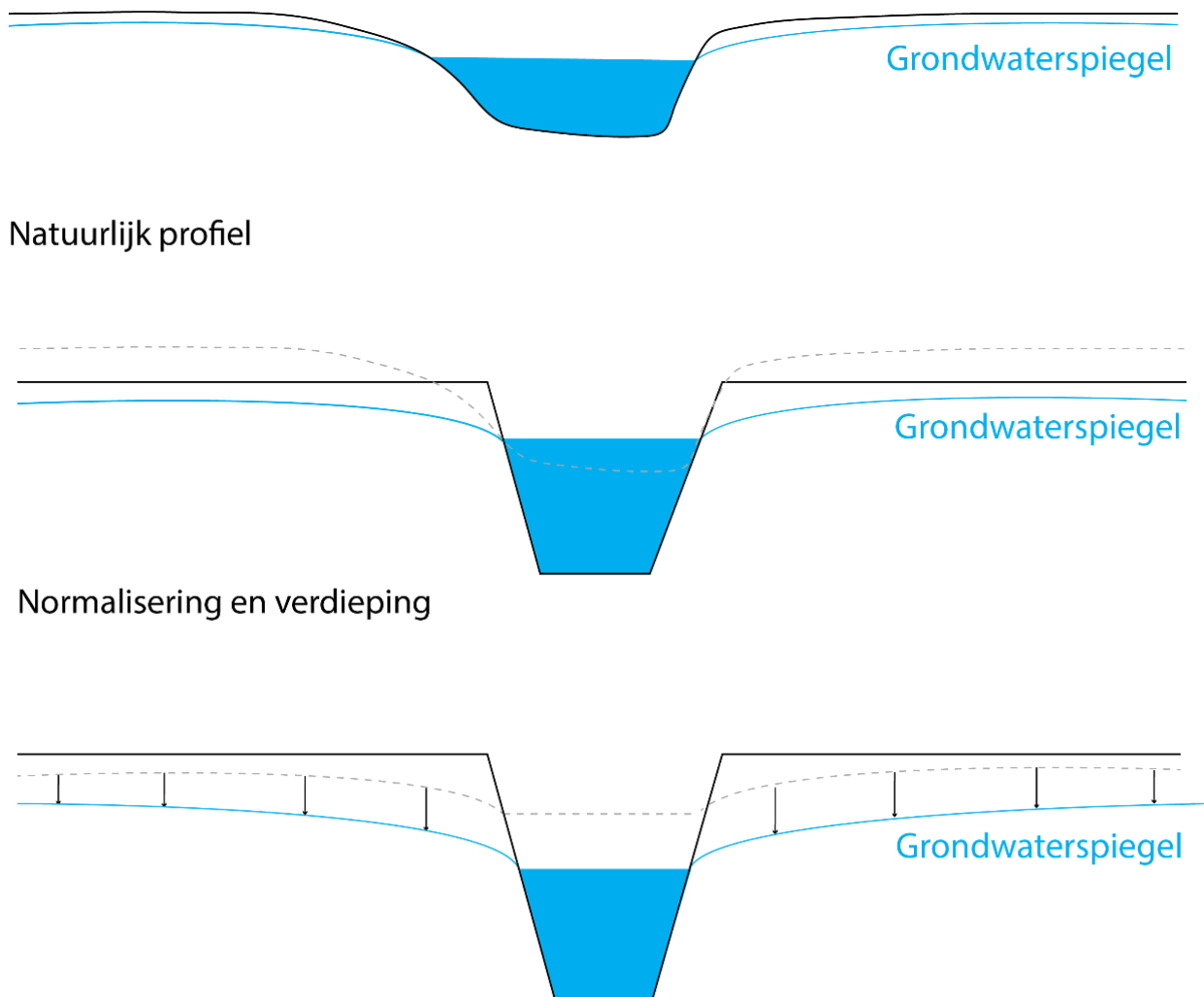


Figuur 2.36 Doorkruisen van natuurlijke waterscheiding door de aansluiting Haartse Waterleiding – Dambeek. Hiermee is het huidige watersysteem ontkoppeld geraakt van het natuurlijke basissysteem.

Een andere belangrijke oorzaak voor het veranderen van het (beekdal)landschap is de toename in gebruik van kunstmest tijdens de 20^e eeuw. Hierdoor kon landbouw snel uitbreiden en intensifiëren, waardoor het natuurlijke basissysteem onder druk kwam te staan, er veel hydromorfologisch verval optrad en er eutrofiëring en vervuiling plaatsvond in de beeksystemen (Verdonschot & Verdonschot, 2022).

Daarnaast heeft er in de vorige eeuw veelvuldig kanalisatie van het lengteprofiel (rechttrekken van de beekloop) en normalisatie (gelijkmaken) van de dwarsprofielen van de natuurlijke beeksystemen plaatsgevonden (Figuur 2.37). Ook zijn er veel stuwen aangebracht om het waterpeil te reguleren om te kunnen voorzien in de behoefte van een snelle afvoer van (overtollig) water, terwijl in droge perioden water langer vastgehouden kan worden. Deze manier van versnelde afvoer heeft echter als bijkomend gevolg dat de aanvulling van grondwater en bodemvocht afneemt, wat tot verdroging in het stroomgebied kan leiden. Daarnaast zorgden de ingrepen in de watergangen – en de aanleg van extra drainerende sloten – dat ook de drainagebasis in de watergangen werd verlaagd, met als gevolg een daling van de grondwaterstand (Figuur 2.37). Voornamelijk in de haarvaten in het brongebied van het watersysteem heeft de verlaging van de grondwaterstanden een belangrijk effect, met name voor een toename in de kans op droogval. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat veel van deze haarvaten (als deze al op die plek gelegen zouden hebben, meestal zijn ze gegraven) van nature ook niet permanent watervoerend zullen zijn geweest, tenzij deze gevoed werden door kwel en als doorstroommoerassen fungeerden. Naast het verdrogende effect hebben de kanalisatie en normalisatie van het watersysteem en daaruit volgende versnelde afvoer ook geleid tot een toename in (de kans op) overstromingen of wateroverlast in de meer benedenstroomse delen van de beeksystemen (Eekhout, 2014).

Naast ingrepen in de watergangen heeft ook de aanleg van (buis)drainage een impact gehad op het natuurlijke watersysteem. Doordat er op het plateau ondiep keileem en tertiaire klei voorkomt, is de afvoerdynamiek van de watersystemen in dit gebied voor een groot deel neerslag-bepaald. De afvoeren van deze systemen worden vergroot vergeleken met een natuurlijke situatie, doordat een groot deel van de aanwezige landbouwpercelen in het gebied is voorzien van buisdrainage (Van der Hoek, 1997). De aanwezigheid van de drainage zorgt voor een effectieve afwatering tijdens (hevige) neerslag en in de winterperiode, maar heeft ook verdroging tot gevolg in de droge zomerperiode. De aanwezigheid van (buis)drainage in de slecht doorlatende ondergrond vindt op grote schaal plaats op het plateau rond Winterswijk. Hierbij worden ook (semi)natuurlijke kwelplekken aan de (steil)randen van essen en landduinen gedraineerd richting sloten, waarna deze het water richting de beken leiden.



Verdieping drainagebasis

Figuur 2.37 Invloed van verdieping drainagebasis op de grondwaterspiegel.

Een ander effect dat potentieel een aandeel kan hebben in verdroging van het brongebied van de beken is het gewastype en de intensiteit van de productie van de landbouwgronden. Beide hebben een belangrijke rol in de mate van evapotranspiratie en dus in de mate van oppervlakkige en ondergrondse toestroming van water richting de beeksystemen, wat vervolgens de mate van watervoerendheid in zowel het brongebied als de hoofdloop van het watersysteem bepaalt.

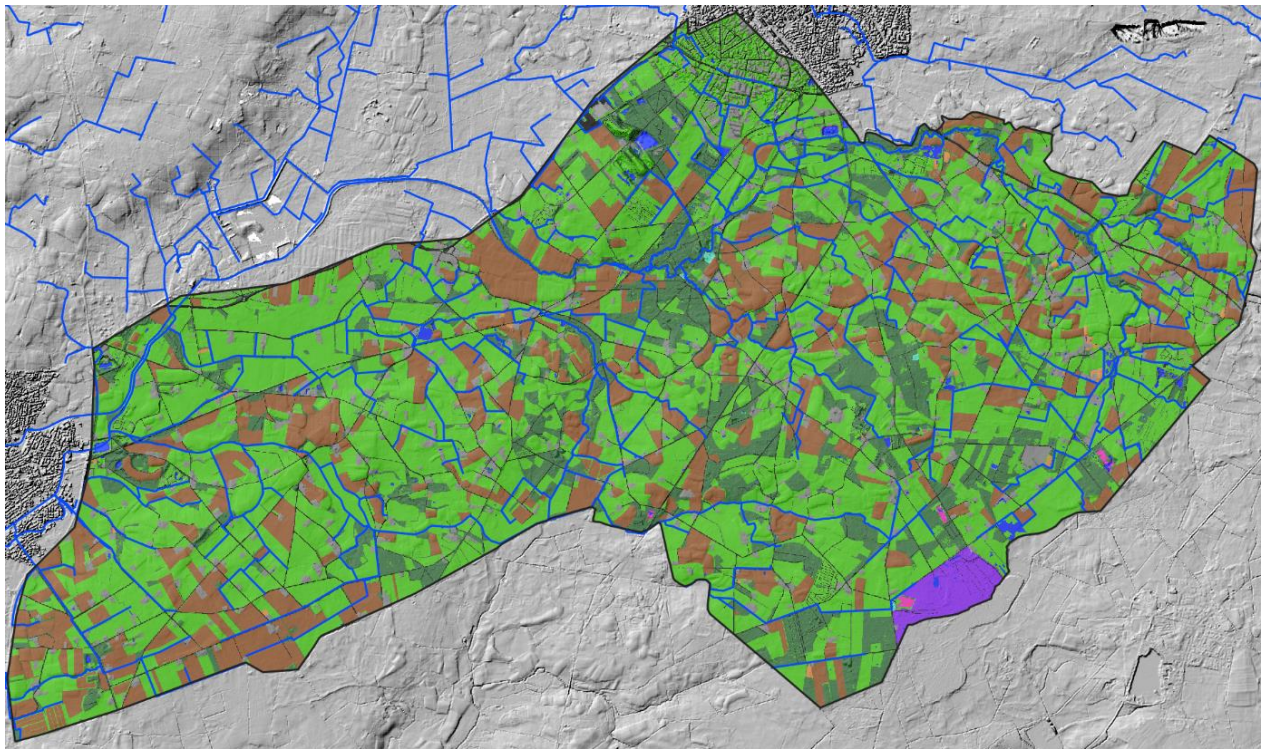
In Bijlage 9 is beschreven hoe de waterbalans er in de referentiesituatie, de huidige situatie en bij een toekomstig klimaat (WH85) gemiddeld uitziet, jaargemiddeld, voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar. In de onderstaande tabel is de klimaatgemiddelde waterbalans weergegeven en vergeleken met de

waterbalans tijdens de referentiesituatie. Ondanks een toename van zomerneerslag van 10% in de huidige situatie ten opzichte van de referentie, zien we een afname van de afvoer in de zomer door een hogere verdamping als gevolg van intensivering van het landgebruik en door toename van grondwateronttrekkingen. De zomerafvoer wordt ook verlaagd doordat het watersysteem droger aan de zomerperiode begint, als gevolg van de verbeterde ontwatering van het gebied. Op basis van de waterbalansberekeningen kunnen geen uitspraken gedaan worden over de frequentie en hoogte van piekafvoeren.














Tabel 2-7 Waterbalans voor de huidige situatie in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter en de verschillen ten opzichte van de referentiesituatie.

	Huidige situatie			Verskil met referentie		
	Jaar	Zomer	Winter	Jaar	Zomer	Winter
Neerslag	785	386	399	39	39	0
Beregening	14	14	0	14	14	0
Onttrekkingen	-28	-21	-7	-20	-17	-3
Verdamping	-487	-397	-90	-73	-57	-15
Ontwatering	-284	-45	-239	40	16	24
Bergingsverandering	0	63	-63	0	6	-6

Al met al zijn de (historische) veranderingen in landgebruik sterk bepalend geweest voor de status van het huidige watersysteem. Zo is het overgrote deel van de bufferende (spons)werking verloren gegaan en is het hedendaagse watersysteem gedeeltelijk ontkoppeld van het natuurlijke basissysteem. De veranderingen in (piek)afvoeren en sedimentlast door de veranderingen in landgebruik hebben hun weerslag gehad op de morfologische dynamiek van de beeksystemen en daaraan gerelateerde flora en fauna. Hieruit komt nogmaals naar voren dat het natuurlijke basissysteem een integraal systeem is waarbij veranderingen in het ene deel van het systeem gevolgen hebben voor andere delen en dat menselijk handelen een grote impact heeft op het natuurlijk systeem.

Veranderend landgebruik

LGN 2021 vertaald naar Kadastrale kaart 1832

 Bouwland	 Bos en opgaande bomen	 Weg
 Weiland	 Elzenbos	 Water
 Heide	 Hakhout	 Water als heide
 Veengrond	 Boomgaard	
 Veenderij	 Erven en gebouwen	

Figuur 2.38 Het huidige landgebruik, vertaald naar de grondgebruikstypen op de kadastrale kaart van 1832 (Figuur 2.15). Onder andere bouwland had anno 1832 een ander en minder intensief karakter.

Bron: <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/faciliteiten-tools/kaarten-en-gis-bestanden/landelijk-grondgebruik-nederland.htm>

Als gevolg van ontwikkelingen in de landbouw, met name het gebruik van kunstmest en een versterkte ontwatering (zie § 2.4.1), is het landgebruik sterk veranderd. Figuur 2.38 laat het huidige grondgebruik zien, volgens dezelfde indeling als Figuur 2.15. Het duidelijkst is het verschil op de terrassen waar de heide overal plaatsgemaakt heeft voor grasland en bouwland met een rationele verkaveling van jongere ontginningen. Hier en daar zijn de bossen ook uitgebreid. Van de hoogveengebieden rest nog een stuk van het Wooldse veen. Het verschil tussen de dekzandruggen en de beekdalen is kleiner geworden. Op sommige oude bouwlanden wordt nu ook gras geteeld en in de (beek)dalen is door de sterke ontwatering ook akkerbouw mogelijk. De toegenomen ontwatering komt tot uiting in het dichte netwerk van beken en waterlopen, zowel in de dalen als op de terrassen. Vanzelfsprekend hebben deze veranderingen een grote invloed op de actuele ecologie. In de volgende paragraaf beoordelen wij wat dit betekent voor de realisatiekansen van de beheertypen en daarna bespreken wij de verschillen. Hierop volgt een vergelijking van de actuele realisatiekansen met het actuele voorkomen van kwalificerende soorten.

De vergelijking van de realisatiekansen betreft hier alleen de hydrologische aspecten, waarbij wij ervan uitgaan dat de zuurgraad niet veranderd is, wat natuurlijk wel het geval is (zie § 2.2.3). Een nog veel

belangrijker verschil is de sterk toegenomen voedselrijkdom van de landbouwgronden als gevolg van bemesting. Ook dat aspect is in deze vergelijking niet meegenomen.

Realisatiekansen bij actuele hydrologie

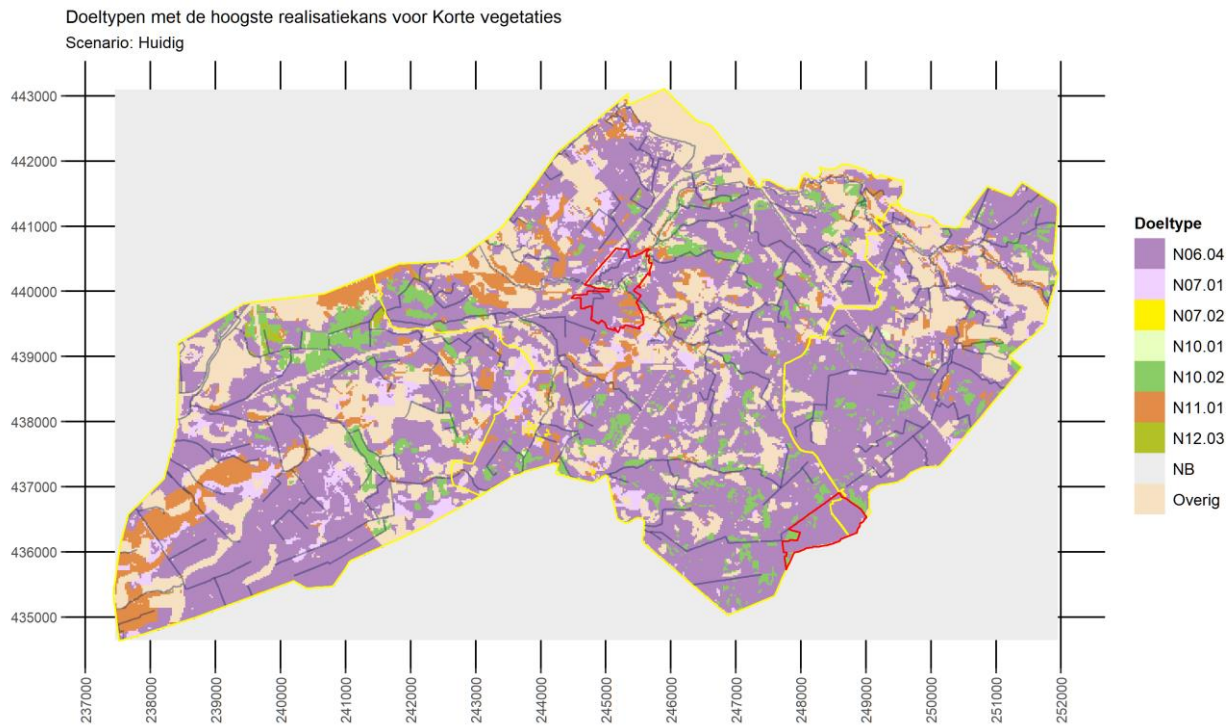
Voor het beoordelen van de realisatiekansen voor de beheertypen bij de actuele hydrologie hebben wij dezelfde basiskaarten en methoden gebruikt als in de referentiesituatie (§2.2.3), met als verschil dat we de GXG-kaarten van het hydrologische model gebruikt hebben (zie Bijlage 5). In Bijlage 5 hebben wij ook de kaarten met realisatiekansen bij de actuele hydrologie voor de individuele beheertypen opgenomen. In Tabel 2-8 en Tabel 2-9 geven wij per beheertype van respectievelijk korte vegetaties en bos en struweel, de oppervlakte waarop het beheertype voor kan komen (realisatiekans > 0) met de minimale, mediane en maximale realisatiekans bij de actuele hydrologie. Deze kansen zijn weergegeven op kaarten per beheertype in Bijlage 3, voorbeelden zijn opgenomen in Figuur 2.39 en Figuur 2.40.

Tabel 2-8 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van korte vegetaties bij de actuele hydrologie, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype voor kan komen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

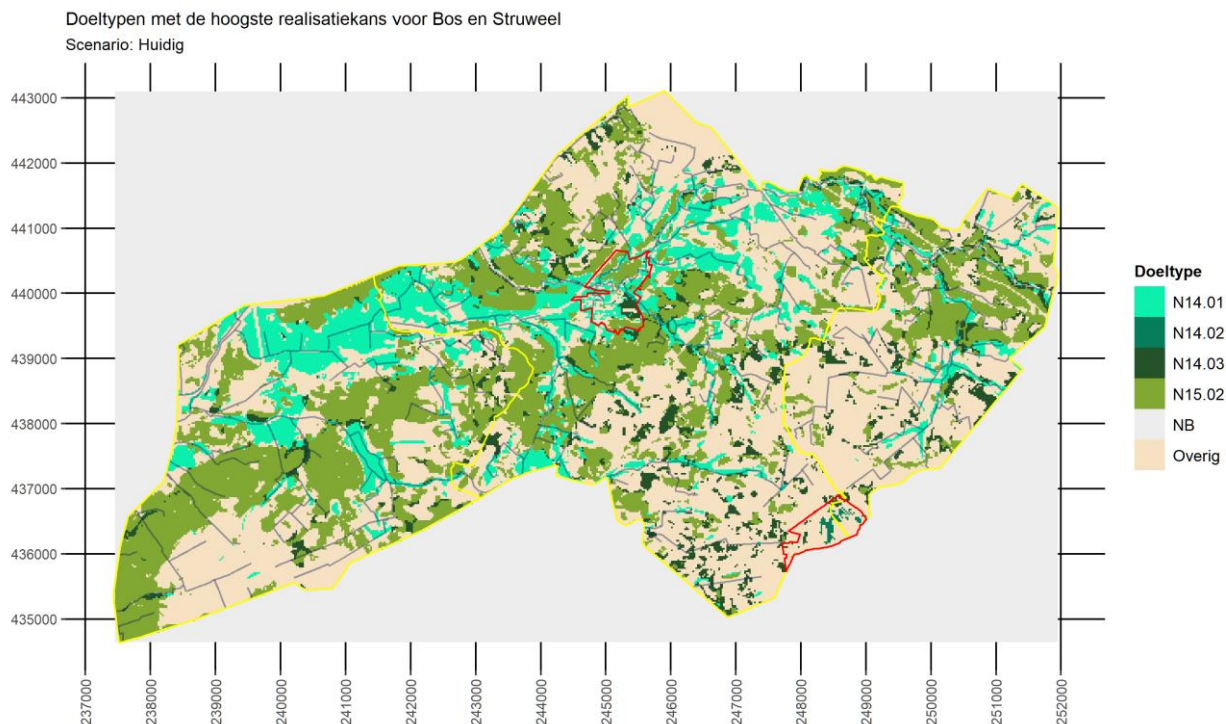
Doeltype	Naam Doeltype	Opp (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N06.02	Trilveen	0.4	0.036	0.089	0.352
N06.03	Hoogveen	1.9	0.026	0.104	0.444
N06.04	Vochtige heide	4135.2	0.035	0.778	1.000
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	0.018	0.028	0.065
N07.01	Droge heide	777.3	0.000	0.157	1.000
N07.02	Zandverstuiving	11.0	0.043	1.000	1.000
N10.01	Nat schraalland	149.3	0.000	0.109	0.898
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	0.002	0.530	1.000
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	0.002	0.486	0.868
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	0.000	0.027	0.320

Tabel 2-9 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen bos en struweel bij de actuele hydrologie, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype voor kan komen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1084.5	0.003	0.710	1.000
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	0.035	0.215	0.728
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	0.003	0.348	0.987
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	0.000	0.471	1.000



Figuur 2.39 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij de actuele hydrologie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen. (Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos).



Figuur 2.40 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor bos en struweel bij de actuele hydrologie. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen. (Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos).

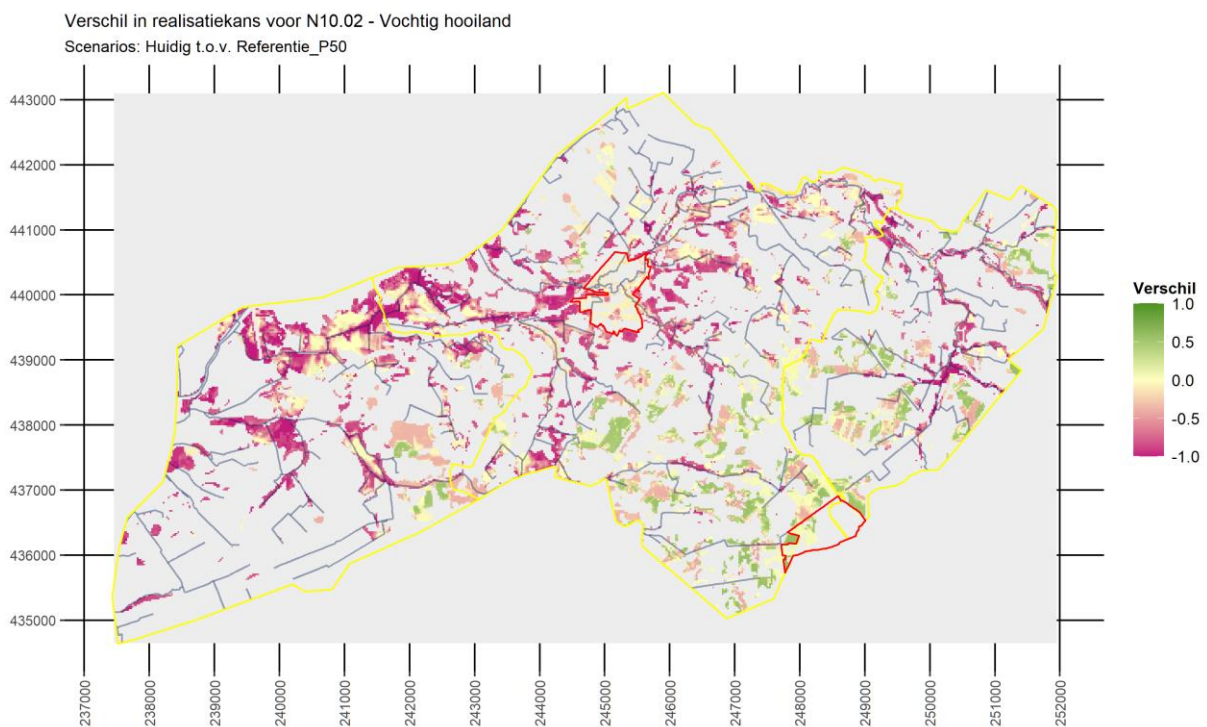
Om het effect van de hydrologische veranderingen zoals besproken (§ 2.4.1) op de realisatiekansen voor de beheertypen te beoordelen, hebben wij de realisatiekansen bij de actuele hydrologie vergeleken met die bij de referentiesituatie (§ 2.2.3). Die vergelijking hebben wij gemaakt voor zowel de mediane grondwaterstanden (P50, zie Tabel 2-10) als het nattere en drogere deel in de referentiesituatie (P30 en P70, zie Bijlage 6). Onder 'Oppervlakte (ha)' geven wij het geschikte areaal in beide periodes en berekenen het absolute verschil in hectares. Omdat de mate van verschil niet overal even groot is, geven wij in de laatste vijf kolommen aan op welke oppervlakte de verandering meer of minder groot is. In Figuur 2.41 en Figuur 2.42 hebben wij deze vergelijking geïllustreerd voor twee beheertypen. Daarbij geven kleuren aan in welke richting de verandering heeft plaatsgevonden: paars is een afname, groen een toename.

Opgemerkt moet worden dat de realisatiekansen voor veel beheertypen die gebonden zijn aan voedselarme of matig voedselrijke bodems sterk overschat zijn, omdat het effect van bemesting op de voedselrijkdom van de bodem niet is meegenomen. Dat is in het kader van deze studie niet mogelijk.

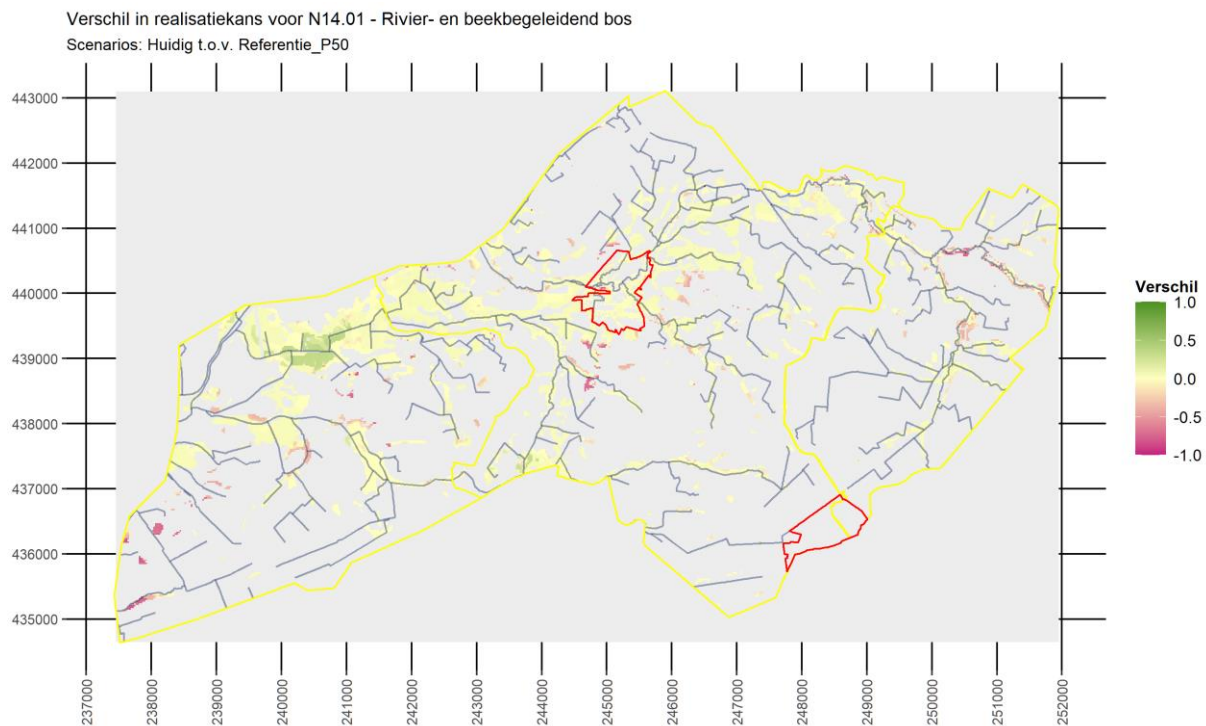
Tabel 2-10 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij de actuele hydrologie, in vergelijking met het mediane deel (P50) in de referentiesituatie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in de referentiesituatie. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven.

In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven. Voor het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70) zijn deze overzichten opgenomen in Bijlage 6.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktes verschil (ha)				
		Huidig	Referentie_P50	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.4	6.8	-6.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	1.9	21.6	-20.0	21.4	0.2	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	4135.2	4454.1	-319.0	497.9	455.2	3474.4	26.6	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	22.6	-22.0	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	777.3	52.4	725.0	0.6	36.3	13.0	1.2	1.3
N07.02	Zandverstuiving	11.0	15.3	-4.0	2.2	4.9	8.2	0.0	0.0
N10.01	Nat schraalland	149.3	1728.6	-1579.0	34.2	1677.0	0.1	16.7	0.6
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	1772.7	-844.0	588.7	704.1	107.0	301.8	71.1
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	124.8	608.0	2.6	70.3	13.7	38.1	0.2
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	108.0	-1.0	0.0	6.9	29.5	71.6	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleitend bos	1084.5	1105.8	-21.0	17.3	146.3	220.4	721.7	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	135.6	-126.0	19.4	115.6	0.0	0.6	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	64.3	547.0	5.8	26.1	0.0	32.4	0.0
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	124.8	2175.0	0.8	73.1	14.8	33.4	2.8



Figuur 2.41 Mate van verandering in realisatiekansen voor beheertype N10.02 – Vochtig hooiland bij de actuele hydrologie, in vergelijking met het mediane deel (P50) in de referentiesituatie.



Figuur 2.42 Mate van verandering in realisatiekansen voor beheertype N14.01 – Rivier- en beekbegeleidend bos bij de actuele hydrologie, in vergelijking met de referentiesituatie.

Conclusies

- Net als voor de referentiesituatie is bij de korte vegetaties vochtige heide het dominante beheertype, met een groot geschikt areaal en hoge realisatiekansen. Vochtig hooiland, droog schraalgrasland en droge heide komen ook veel voor. Er is sprake van een duidelijke verschuiving naar drogere beheertypen.
- Bij de bossen is nu 'Dennen-, eiken- en beukenbos' dominant, gevolgd door Rivier- en beekbegeleidend bos' en 'Haagbeuken- en essenbos'. Daarmee is er ook voor deze categorie een verschuiving naar drogere beheertypen.

Actuele natuur

Om een vergelijking van de actuele natuur met de berekende realisatiekansen te maken, hebben wij de verbreiding van voor de beheertypen kwalificerende plantensoorten (vaatplanten en mossen) vergeleken met het voor elk beheertype geschikte areaal. Hiervoor heeft de opdrachtgever bij Nationale Databank Flora en Fauna – NDFF (<https://www.ndff.nl/>) alle waarnemingen in het studiegebied opgevraagd en deze hebben wij vergeleken met de berekende realisatiekansen. De data zijn als volgt geselecteerd en verwerkt:

- Voor de periode 1990-2021;
- Deze hebben wij vervolgens gefilterd op de voor de hier beoordeelde beheertypen kwalificerende soorten (bron: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>);
- Daarna verder beperkt tot waarnemingen van maximaal 1 ha, wat overeenkomt met 16 gridcellen van 25x25 m in onze kaarten;
- Op basis van de coördinaten van de waarnemingen is beoordeeld bij welke gridcel elke waarneming gerekend kan worden en zijn doublures (meerdere waarnemingen van een soort per cel) verwijderd.

In Bijlage 7 staat de volledige lijst met kwalificerende soorten per beheertype. Sommige soorten zijn uniek voor een beheertype, andere kwalificeren voor een breed scala aan beheertypen. Zo is blonde zegge alleen kwalificerend voor nat schraalland, maar kan gevlekte orchis wel voor vijf verschillende beheertypen kwalificeren. Bij de beoordeling per beheertype hebben wij eerst gefilterd op de kwalificerende soorten voor dat beheertype en vervolgens per cel bepaald hoeveel van deze soorten waargenomen zijn. Dat kan zijn binnen het voor dit doeltje geschikte areaal of daarbuiten.

In Figuur 2.43 geven wij op een kaart weer, waar voor beheertype N10.02 – 'Vochtig hooiland' kwalificerende soorten gevonden zijn, zowel binnen geschikte cellen (realisatiekans > 0, grijsgroen in de

achtergrond) als daarbuiten (realisatiekans = 0; grijs in de achtergrond). Daaronder staat in histogrammen het aantal cellen weergegeven waarin één of meer soorten gevonden zijn, ook weer opgesplitst naar realisatiekans > 0 of realisatiekans = 0. De waarnemingen horen natuurlijk bij de huidige hydrologie, maar omdat het ook om relictten van oude groeiplaatsen zou kunnen gaan, is eveneens de verdeling opgenomen in vergelijking met geschikte locaties in de referentiesituatie, waarbij naast de mediane waarden (P50) ook het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70) van de gradiënt zijn meegenomen. Hieruit blijkt dat relatief veel soorten van Vochtig hooiland gevonden worden op plaatsen die in de huidige situatie niet geschikt zouden zijn. Dat betreft ca. 2/3 van de waarnemingen, bij de scenario's in de referentiesituatie is dat ongeveer de helft. Een redelijk deel van de waarnemingen buiten het nu geschikte areaal betreft dus plekken die in de referentiesituatie wel geschikt waren. Dat zijn dan wellicht relict-populaties.

Voor de overige beheertypen zijn deze overzichten opgenomen in Bijlage 7. Er worden relatief veel kwalificerende soorten gevonden buiten het geschikte areaal. Dat is te verklaren uit het feit dat veel soorten voor meer dan één beheertype kwalificeren en sowieso ook daarbuiten voor kunnen komen, omdat het soms om vrij algemene soorten gaat. In het algemeen kunnen we concluderen dat voor de beheertypen van nattere standplaatsen veel waarnemingen voorkomen op plekken die in de huidige situatie niet geschikt zijn en dat in de referentiesituatie wel waren. Zoals in het voorbeeld van vochtig hooiland hierboven betreft dat dan wellicht relict-populaties waar een aantal soorten zich ondanks verdroging nog heeft gehandhaafd. Bij beheertypen van drogere groeiplaatsen zien we juist dat het grootste deel van de waarnemingen valt buiten het huidig geschikte areaal, maar dat het grootste deel van het nu geschikte areaal dat in de referentiesituatie niet was.

Verder valt op dat soorten vaak geclusterd waargenomen worden. Dat zijn vaak natuurgebieden, waar sowieso meer geïnventariseerd wordt. In veel gebieden waar de realisatiekans op basis van hydrologie weliswaar groter is dan nul, worden toch geen soorten aangetroffen. Dat heeft waarschijnlijk te maken met een te hoge voedselrijkdom van de bodem als gevolg van bemesting, of een grondgebruik dat niet past bij het beoordeelde beheertype.

Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N10.02 - Vochtig hooiland

Scenario: Huidig



Figuur 2.43 Aantal kwalificerende soorten voor N10.02 – Vochtig hooiland, per rastercel van 25x25 m, uitgesplitst naar (geschikte) cellen met realisatiekans > 0 en (ongeschikte) cellen met realisatiekans = 0, bij actuele hydrologie (boven en linksonder). Ter vergelijking is rechtsonder dezelfde verdeling gegeven op basis van de realisatiekansen in de referentiesituatie in drie delen van de gradiënt. Voor de overige beheertypen zijn deze overzichten opgenomen in Bijlage 7. De N2000-gebieden hebben wij weergegeven met rode omlijning.

2.4.3 Waternatuur

Typologie watersysteem

Door ontwatering en het afgraven van veen zijn de oorspronkelijke diffuse bovenloopsystemen in doorstroommoerassen verdwenen en ligt de oorsprong van de beken momenteel in ontwateringsstelsels in gebieden met agrarisch landgebruik (Figuur 2.44). Daar waar deze drainagestructuren duidelijk watervoerend zijn, vormen ze de bovenloop van de beeksystemen in het gebied.



Figuur 2.44 Diep ontwateringsstelsel dat de bovenlopen van de Slinge in Duitsland vormt (Foto: Ralf Verdonschot).

Aan de hand van hun dimensies (boven-, midden- en benedenloop), watervoerendheid (permanent of droogvallend), stroomsnelheid (langzaam of snel stromend) en ondergrond (mineraal of organisch) kunnen de watergangen die in het gebied liggen typologisch worden geclassificeerd (Tabel 2-11, Figuur 2.45). De classificaties die in Nederland en Duitsland worden gehanteerd zijn vergelijkbaar, maar in de Nederlandse typologie wordt verder gedifferentieerd naar dimensies, watervoerend en stroomsnelheid (Van der Molen et al., 2018; Pottgiesser & Paster, 2015).

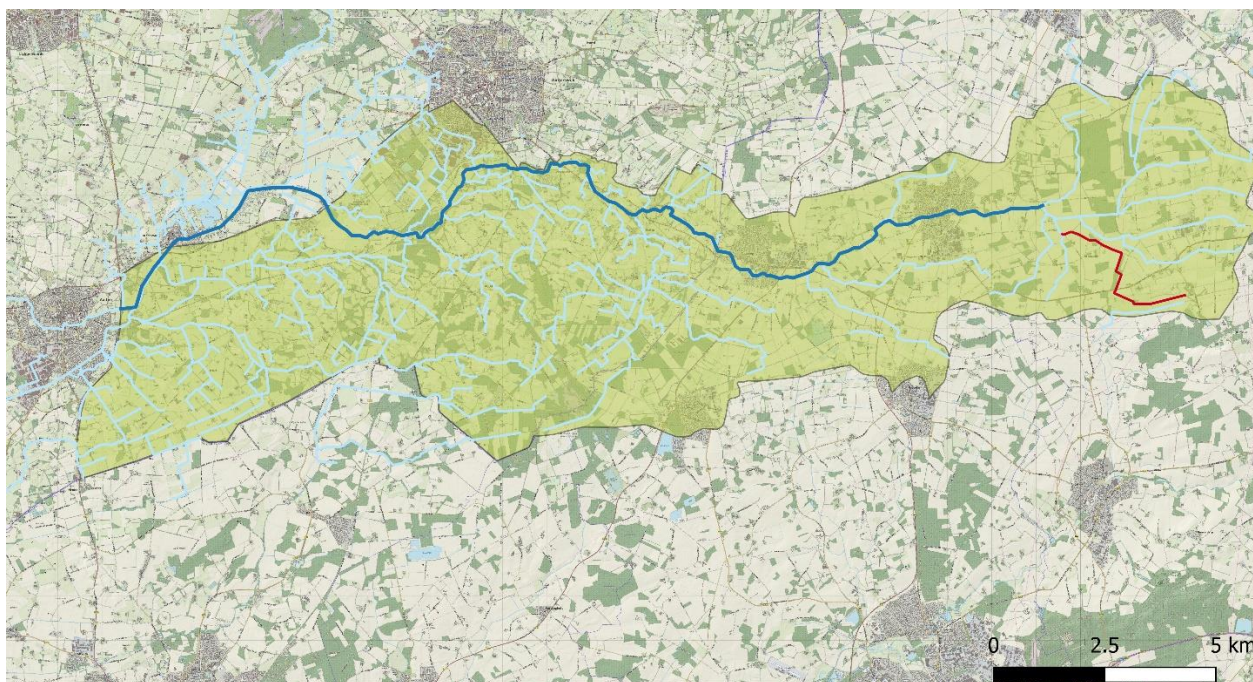
Vrijwel alle bovenlopen zijn als permanent watervoerend aangeduid en vallen daardoor binnen het type permanente langzaam stromende bovenloop op zand (KRW-type R4). In de nieuwe KRW-classificatie gaat het hier om subtype R4b. Het verschil ten opzichte van de langzaam stromende systemen (a) is dat door een groter verhang hogere stroomsnelheden worden bereikt. In sneller stromende systemen met een groter verhang kunnen grindbanken worden aangetroffen. Grind of stenen zijn echter altijd slechts lokaal aanwezig, wat deze beken onderscheidt van de snel stromende beektypen. Droogval komt in de bovenlopen momenteel veel vaker voor dan de watertype-aanduiding doet vermoeden. De classificatie als permanent watervoerend voor beide watertypen is echter wel passend voor de 'natuurlijke' beeksystemen Osink-Bemersbeek, Storteldersbeek en de Boven-Slinge. Het optreden van droogval in deze beeksystemen is namelijk een direct gevolg van menselijk handelen en de watertypeaanduiding geeft de na te streven toestand weer. De andere bekenstelsels in het gebied zijn in het verleden (grotendeels) ge- en vergraven om natte delen te ontwateren. Deze beken kunnen ook de kenmerken hebben van een watertype R4-beek en in sommige gevallen hebben delen van deze trajecten in de loop van de tijd ook steeds meer een natuurlijk karakter gekregen (benedenstreams Limbeek). De ecologische waarden van deze waterlopen kunnen ook aanzienlijk zijn. De mogelijkheden om een permanent watervoerende watergang te handhaven of te realiseren middels maatregelen bepalen of hertypering naar bijvoorbeeld de categorie Overig water watertype R3

(droogvallende langzaam stromende bovenloop op zand) legitiem is. De midden- en benedenloop van de Boven-Slinge in Nederland is een langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand (KRW-type R5).

De Dollebach in Duitsland is als organische beek aangeduid, wat het beste te vergelijken is met het Nederlandse type doorstroommoeras (KRW-type R19). Dit heeft nog kenmerken van het type systeem dat in het verleden wijdverbreid was in het gebied, maar dat door ontwatering en vergraving van de met veen gevulde natte laagtes grotendeels verdwenen is. Echter is deze beek in de huidige situatie ecologisch gedegradeerd.

Tabel 2-11 Watertypen stroomgebied Boven-Slinge met voorbeeldbeken. Zowel de Nederlandse als Duitse watertypeclassificering is opgenomen (Provincie Gelderland, 2009; Van der Molen, 2012; Pottgiesser & Paster, 2015).

Positie in stroom-gebied	Beektypeclassificatie		Voorbeelden
	Nederland	Duitsland	
Bovenloop	Permanente langzaam stromende bovenloop op zand (KRW-type R4) – Plateaubeek (Gelderland)	Sandgeprägtes Fließgewässer der Sander und sandigen Aufschüttungen (NRW) - Sandgeprägte Tieflandbache (LAWA Typ 14)	Dambeek, Haartse Waterleiding, Limbeek, Osink-Bemersbeek, Siepersbeek, Storteldersbeek, Snijders Veerbeek, Wooldse Waterleiding Rottgraben, Eschbach
	Doorstroommoeras (KRW-type R19) – Moeraslandbeek (Gelderland)	Organisch geprägtes Fließgewässer der Sander und sandigen Aufschüttungen NRW – Organisch geprägte Bache (LAWA Typ 11)	Dollebach
Middenloop-benedenloop	Langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand (KRW-type R5) – Plateaubeek (Gelderland)	Sandgeprägte Fluss des Tieflandes (NRW) – Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse (LAWA Typ 15)	Boven-Slinge



Figuur 2.45 Bekken stroomgebied Boven-Slinge (projectgebied geel), waarbij het watertype met verschillende kleuren is aangegeven: KRW-watertype R5: donkerblauw; R4: lichtblauw; R19: rood.

Waterdoelen

Voor de beken binnen het deelstroomgebied Boven-Slinge zijn zowel internationale waterkwaliteitsdoelen (KRW) als provinciale waterdoelen (wateren hoogste ecologische niveau (HEN) en specifieke ecologische doelstelling (SED)) gesteld (Tabel 2-12). Voor de KRW moet de ecologische kwaliteit van een waterlichaam,

afgeleid van verschillende onderdelen van het systeem (fysisch-chemisch, hydromorfologisch, ecologisch) op orde worden gebracht. Om dit te bepalen, wordt aan de hand van maatlatten gekeken in hoeverre de toestand van het waterlichaam een gekozen watertype-specifieke referentie benadert. Deze referentie geeft de kwaliteitsklasse zeer goed aan. De goede ecologische toestand (GET) is hiervan afgeleid en geldt als wettelijke norm voor waterbeheerders. Is de toestand niet toereikend, dan moeten maatregelen worden genomen om de ecologische toestand te verbeteren. HEN-wateren (Hoogst Ecologisch Niveau) en SED-wateren (Specifiek Ecologische Doelstelling) zijn door de provincie Gelderland geselecteerd op basis van hun natuurwaarde. HEN-wateren zijn in de meest natuurlijke staat en bevatten vaak bijzondere soorten. SED-wateren zijn sterker (en veelal onomkeerbaar) beïnvloed door menselijk handelen, maar hebben wel een grote natuurwaarde. Beide typen wateren zijn beschermd en er wordt ingezet op maatregelen om vormen van negatieve beïnvloeding terug te dringen. Er zijn watertype-specifieke streefbeelden opgesteld als richtlijn voor de maatregelen.

Tabel 2-12 Europese en provinciale waterdoelstellingen beken binnen het deelstroomgebied Boven-Slinge.

Beek	KRW-watertype	EU		Provincie Gelderland	
		KRW waterlichaam	HEN-water	SED-water	
Boven-Slinge	R5	X	X		
Haartse Waterleiding	R4(b)				X
Dambeek	R4(b)		X		
Wooldse Waterleiding	R4(b)				X
Limbeek	R4(b)		X		
Osink-Bemersbeek	R4(b)		X		
Siepersbeek	R4(b)		X		
Stortelderbeek	R4(b)		X		

Het waterlichaam de Boven-Slinge (inclusief zijbeken Limbeek, Siepersbeek, Osink-Bemersbeek) en de Haartse Waterleiding-Dambeek hebben de status sterk veranderd (Factsheets KRW, 2020).

Natuurwaarde watersysteem

De meeste beken in het stroomgebied van de Boven-Slinge herbergen als kenmerkend aangeduide soorten macrofauna, vis en water- en oeverplanten. Het totale aantal aangetroffen soorten met een indicatieve waarde is groot voor met name de organismegroepen macrofauna en vis.

De grootste aantallen macrofauna-indicatoren worden in de (Boven-)Slinge (185 taxa) en Osink-Bemersbeek (104 taxa) gevonden. Dit zijn echter wel de best onderzochte systemen met respectievelijk twintig en drie biologische monitoringspunten die frequent worden bemeaten, terwijl de andere beken vaak maar één monitoringspunt bevatten en minder frequent worden onderzocht. Toch is een aantal zijbeken ook relatief rijk aan indicatorsoorten, waarbij een natuurlijke oorsprong van het systeem niet onderscheidend is: Limbeek (90 taxa), Siepersbeek (83 taxa), Storteldersbeek (74 taxa), Haartse Waterleiding (73 taxa) en Dambeek (67). De meetpunten in de zijbeken liggen overigens vaak relatief dicht bij de Boven-Slinge, wat waarschijnlijk uitwisseling tussen de systemen in de hand werkt. In deze beken zijn, wanneer aanwezig, de meer stroomopwaarts gelegen punten over het algemeen armer aan indicatorsoorten. Het meest benedenstroomse gedeelte van het onderzoeksgebied (Keizersbeek, Stuwbeek Aalten) en veel van de gegraven Waterleidingen (o.a. Wooldse Waterleiding, Veenhuis Waterleiding) zijn juist relatief arm aan macrofauna-indicatoren. Met name watervoerendheid en stroomsnelheid zijn sterk bepalende factoren voor het voorkomen van de macrofauna-indicatoren.

Beekvissen (gilde rheofiel) zijn goed vertegenwoordigd in het stroomgebied met serpeling, kopvoorn, riviergrondel, forel, beekprik en het biermpje. Het voorkomen van de forel in het stroomgebied is het resultaat van (herhaaldelijke) uitzettingen. Alle zes rheofiele soorten komen voor in de Slinge (met een duidelijke concentratie in het traject bovenstrooms van Winterswijk tot de Duitse grens) en in de Osink-Bemersbeek. In de overige beken zijn geen rheofiele soorten (Dambeek) of slechts het biermpje (Haartse Waterleiding, Stortelderbeek, Limbeek, Keizersbeek) aangetroffen. De effecten van hydrologische

verstoringen, met name droogval en het wegvallen van stroming zijn, net zoals bij de macrofauna, sterk bepalende factoren voor het voorkomen van beekvissen in het stroomgebied.

Planten van laaglandbeken en hun oevers komen wijdverbreid voor in het stroomgebied, in totaal zijn 48 indicatieve plantensoorten aangetroffen. De Slinge bevat de meeste indicatieve plantensoorten (31) maar is ook het beste bemonsterd en beslaat de grootste lengte. Deze beek wordt qua aantallen gevolgd door de Osink-Bemersbeek (23) en de Keizersbeek (19). In Bijlage 4 wordt de huidige biologie van het stroomgebied in meer detail beschreven.

Ook op landelijke schaal zijn de beken in het stroomgebied als waardevol te beschouwen, omdat er soorten voorkomen die elders zeldzaam zijn of ontbreken. Dit geldt vooral voor de macrofauna en betreft soorten van de groepen kokerjuffers, waterkevers, muggen, haften en watermijten. In de Boven-Slinge zijn 24 taxa aangetroffen die in Nederland zeldzaam tot zeer zeldzaam zijn, gevolgd door de Limbeek (12), Storteldersbeek (8) en Osink-Bemersbeek en Haartse Waterleiding (beide 7 taxa). Wordt gekeken naar de regionale zeldzaamheid (beheergebied Rijn en IJssel), dan bevat de Boven-Slinge 5 taxa, Haartse Waterleiding 3 taxa en de Limbeek, Dambeek en Storteldersbeek 1 taxon. Deze regionaal zeldzame taxa zijn dit overigens ook op landelijke schaal.

Een bijzonder aspect van de beken is dat onder andere een aantal macrofaunasoorten van de verdwenen doorstroommoerassen en beekdalvenen zich gehandhaafd hebben in de huidige hydrologisch en morfologisch gedegradeerde situatie. Deze relicten komen waarschijnlijk voor op plekken waar voldoende kwel uittreedt, bijvoorbeeld in een smalle strook in het profiel van diep ingesneden beek. Het grootste aantal kenmerkende soorten van deze 'moeras'-groep wordt gevonden in de Boven-Slinge (102 taxa), gevolgd door de Osink-Bemersbeek (55 taxa), Limbeek (51 taxa), Siepersbeek (39), Storteldersbeek en Haartse Waterleiding (38) en de Dambeek (34). In de overige watergangen zijn de aantallen veel lager.

Knelpunten watersysteem

De ecologische kwaliteit van de beeksystemen wordt momenteel negatief beïnvloed door verschillende stressoren, waardoor de huidige situatie duidelijk afwijkt van de referentietoestand van de wateren in het gebied. Dit verschil wordt veroorzaakt door stressoren die in het verleden ontbraken of slechts op kleine schaal een rol speelden. Deze zijn onder te verdelen in zes groepen stressoren:

Chemische stress uit diffuse bronnen. Als ecologisch relevante chemische stressfactoren zijn nutriënten, slib en toxische stoffen van belang. Momenteel is er in het gebied sprake van een hoge diffuse belasting, die veel hoger ligt dan de oorspronkelijke concentraties stoffen. Deze stressoren zijn vooral afkomstig van het landgebruik, waarbij agrarische percelen een dominante rol spelen. Deze toevoer vindt plaats via oppervlakkige afspoeling vanaf het land, via uitspoeling door drainage en via het grondwater.

In het onderzoeksgebied liggen de concentraties fosfor en stikstof in het water momenteel relatief ver boven de norm die verbonden is aan een goede ecologische toestand (Boven-Slinge beide stoffen klasse ontoereikend, Factsheets KRW (2020)). Naast de aanvoer vanuit de afwateringsgebieden in Nederland is ook de stikstof- en fosforvracht vanuit Duitsland hoog. Op het maandelijks gemeten grensmeetpunt in de Boven-Slinge (BOS00) bedroeg de zomergemiddelde concentratie totaal-P in 2020 0.36 mg/L, wat correspondeert met de KRW-kwaliteitsklasse slecht en totaal N 3.88 mg/L, wat correspondeert met de kwaliteitsklasse matig. De range voor totaal-P bedroeg 0.15 mg/L (september, matig) tot 0.57 mg/L (mei, slecht) en scoort dus over de hele periode niet goed. Voor totaal-N was dit 1.77 mg/L (september, zeer goed) tot 7.74 mg/L (april, ontoereikend), wat aangeeft dat de N-vracht zich in het winterhalfjaar afspeelt. Dit betekent een aanzienlijke belasting van het systeem vanuit Duitsland. Wordt naar het hele jaar gekeken, dan valt op dat in november een hoge concentratie ammonium (NH₄) werd gemeten, 8.8 mg/L (>4 mg/L is polysaproob, zwaar organisch belast), wat wijst op effluent (zie paragraaf hieronder). Ook de concentraties nitraat (NO₃) waren in de winter aanzienlijk (max 8.3 mg/L), waarschijnlijk afkomstig van diffuse uitspoeling vanuit landbouwpercelen. Ter vergelijking: in de minder bemeten zijbeken Haartse waterleiding HAW08 en Siepersbeek SIP01 lag de waarde voor totaal-P onder de detectielimiet (<0.04 mg/L, overeenkomend met kwaliteitsklasse zeer goed), terwijl totaal-N matig score voor de Haartse waterleiding (drie metingen gemiddeld 4.5 mg/L, maar met een zeer hoge waarde voor april van 9.25 mg/L en slecht voor Siepersbeek (slecht een meting in april van 11.4 mg/L). In Nederland is dus sprake van een hoge stikstofbelasting. Dit

was vooral nitraat, met maximale waarden in de winter van 13 mg/L in zowel Siepersbeek als Haartse Waterleiding.

Nutriënten zorgen voor het genereren van slib door het verhogen van de productie in de watergang, wat weer negatief kan doorwerken op het zuurstofgehalte door toegenomen respiratie. De dagwaarden voor zuurstofgehalte laten in de beken geen problematische waarden zien in de zomer, met als laagste concentratie in de Boven-Slinge 7.3 mg/L en de Haartse Waterleiding 7.2 mg/L in juli. Echter, aangezien dit puntmetingen betreft die overdag zijn genomen, vertellen deze waarden niet het hele verhaal met betrekking tot zuurstofdips gedurende de nacht of na overstorten.

Voor toxische stoffen worden ten slotte zware metalen vermeld in de Factsheets KRW 2020 met overschrijdingen van zink en koper. Zink kan verschillende bronnen hebben, terwijl koper een relatie heeft met medicijnresten en gewasbeschermingsmiddelen en daarmee samenhangt met landbouwkundig gebruik van aanliggende percelen. In hoge concentraties zorgen dit type stoffen voor het verdwijnen van soorten.

Chemische stress uit puntbronnen. Ondanks dat sinds de jaren 60-70 van de vorige eeuw de belasting uit puntbronnen sterk is afgenomen, is er nog een aantal puntbronnen over dat zorgt voor belasting van het systeem. Wat betreft uitwerp is de RWZI bij Oeding die continu loost op de Slinge de grootste belaster van het systeem. Ook zijn er in Duitsland nog enkele individuele behandelingen van afvalwater(IBA-)systemen en overstorten aanwezig. Verder is er in het Nederlandse deel van het stroomgebied nog een overstort aanwezig bij Kotten in de Osink-Bemersbeek (Factsheets KRW, 2020). Overstorten leveren stroomafwaarts van de bron een verhoogde organische belasting op (zeker na hevige regenval), die leidt tot bijvoorbeeld verhoogde stikstofgehalten en een verhoogde respiratie en daardoor verlaagde zuurstofconcentraties. Mogelijk komen er ook toxische stoffen mee.

Fysische stress. Temperatuur is een zeer bepalende fysische parameter voor de ecologie in de beken. Beschaduwing en grondwatervoeding zorgen voor een relatief lage watertemperatuur met een gedempte watertemperatuurf fluctuatie; veel kenmerkende beekorganismen hebben deze omstandigheden nodig om te kunnen overleven (koudstenotherme soorten). Kwelplekken komen bijvoorbeeld voor in de Osink-Bemersbeek en de Boven-Slinge. Bos komt relatief veel voor op de oevers van de beken in het gebied, maar er zijn nog steeds weinig (bijv. enkele bomenrij) tot geen beschaduwde trajecten aanwezig, waar de temperatuur van het water door instraling kan oplopen. Dit geldt vooral voor de gegraven beken in delen met veel landbouw, de natuurlijke beken zijn grotendeels beschaduwd.

Hydraulische stress. Door het relatief grote verhang en jaarrond permanente afvoer zijn de stromingscondities in de Boven-Slinge over het algemeen goed voor stromingsminnende soorten macrofauna en vis. Veelal zijn dit ook kenmerkende soorten op de KRW-maatlatten, wat zich uit in relatief goede EKR-scores voor bijvoorbeeld macrofauna (Bijlage 4). Echter is er in het stroomgebied duidelijk sprake van een hydrologische verstoring ten opzichte van de relatief stabiele afvoeren die de beken in het verleden hadden. De zijbeken van de Boven-Slinge, zoals de Osink-Bemersbeek en de Limbeek, kunnen momenteel 's zomers geheel of gedeeltelijk droogvallen door een te lage afvoer (Figuur 2.46). Ook kan er stagnatie (in restwateren) optreden met sedimentatie van fijn materiaal (slib), hoge watertemperaturen en zuurstofloosheid. Deze factoren werken negatief door op de fauna. Piekafvoeren treden in het hele systeem op na hevige regenval door versnelde afvoer van water in de bovenstroomse delen. De hoge stroomsnelheid leidt tot erosie van de beekbedding en transport van het beddingmateriaal en daardoor (soms diepe) insnijding. De insnijding heeft weer tot gevolg dat beekbegeleidende gronden verdrogen.

Verder zijn er zes stuwen/overlaten aanwezig in de Boven-Slinge; deze hebben (ondanks vispassages) een lokale negatieve doorwerking op de ecologie door bovenstroomse opstuwning en verminderde stroming. Echter over het gehele beektraject gezien zijn deze effecten klein ten opzichte van de totale lengte, waardoor er voldoende geschikte habitat voor stromingsminnende soorten overblijft om zich te handhaven.



Figuur 2.46 Diepe insnijding (boven) en fragmentatie van de loop door lage afvoer (onder) in de Osink-Bemersbeek (Foto's: Ralf Verdonschot).

Morfologische stress. Delen van de beken hebben nog een genormaliseerd profiel en gekanaliseerde loop, soms overgedimensioneerd en met plaatselijk ook beschoeiing of oeververdediging. Dit is het gevolg van de normalisatie en kanalisatiewerken in het verleden waarbij de meanderende beken zijn rechtgetrokken en van een genormaliseerd profiel zijn voorzien om de afvoerfunctie te waarborgen. Hierdoor ontstaan harde overgangen tussen water en land, waarbij de waternatuur direct overgaat in de landnatuur in plaats van gradueel. Behalve dat hierdoor soorten verloren gaan die specifiek deze habitattypen nodig hebben, tast het ook de weerstand en veerkracht van zowel de aquatische als de terrestrische natuur aan.

Ook ontbreken langs sommige trajecten beekbegeleidende bomen, die als belangrijke structuurvormer fungeren via wortels en het invallen van hout (zie hierboven).

Beheer en onderhoudsstress.

De invloed van beheer en onderhoud op de beken in het onderzoeksgebied verschilt tussen de 'natuurbeken' KRW- en HEN/SED-wateren en de andere watergangen. Deze eerste groep wordt niet of extensief onderhouden, zeker wanneer deze door natuurgebieden lopen. De tweede groep wordt machinaal onderhouden met een maaifrequentie van een tot meerdere keren per jaar. Naarmate de frequentie van onderhoud toeneemt, neemt de mate van stress ook toe. Dit geldt voor het maaien van het onderwatertalud en de onderwaterbodem en waarbij aanwezige structuren worden verwijderd, zoals doodhout of bladpakketten.

Conclusies

In de natuurlijke achtergrondsituatie ontsprongen de Boven-Slinge, Osink-Bemersbeek en Stortelderbeek *diffuus in doorstroommoerassen* in laagtes op de plateaus en de tussenliggende dalen of aan de rand van hoogvenen. Dit waren plekken met een hoge biodiversiteit, zowel wat betreft de *vegetatie en aquatische en semiterrestrische ongewervelden fauna*. Deze situaties zijn in de huidige situatie verdwenen in het gebied door ontwatering, ontginning en bemesting. Op de plekken van de oorspronkelijke moerassystemen en venen ligt het uitgebreide ontwateringsstelsel dat nu in het gebied zichtbaar is, met een veel groter aantal beken dan in het verleden. Herstel van dit type systemen in de toekomst vraagt grootschalige hydrologische ingrepen en het terugdringen van diffuse belasting met stoffen. Daarnaast heeft het een zeer lange hersteltijd nodig om processen als veenvorming opnieuw op gang te brengen.

De beekdalen van de Boven-Slinge, Osink-Bemersbeek en de Stortelderbeek kenmerkten zich door *graduele land-waterovergangen*, waarbij de waternatuur geleidelijk in de landnatuur overging. Alluviale bossen (broekbossen) domineerden de beekdalen. Door insnijding van de beken zijn deze overgangen nu op de meeste plekken verdwenen en zijn de aanliggende beekdalen verdroogd. Hierdoor zijn *harde land-waterovergangen* ontstaan. De gegraven beken hebben in sommige gevallen in de loop van de tijd een natuurlijk karakter gekregen (bijvoorbeeld benedenloop Limbeek) en ook de bijbehorende natuurwaarden.

Er kwamen in het verleden goed ontwikkelde laaglandbeeklevensgemeenschappen met veel *kenmerkende soorten macrofauna, vis en een aantal waterplanten* voor. Deze aquatische soorten zijn in de huidige situatie door onder andere verstoring van de hydrologie (piekafvoeren en lage afvoeren), morfologische veranderingen (kanalisatie, normalisatie, regulatie, insnijding, intensief onderhoud) en belasting met stoffen (nutriënten, slib, toxische stoffen) vanuit punt- en diffuse bronnen teruggedrongen, maar *hebben zich nog wel in het gebied gehandhaafd*. De Boven-Slinge herbergt de hoogste natuurwaarden, maar de benedenstroomse delen van de zijbeken Osink-Bemersbeek, Limbeek, Siepersbeek, Storteldersbeek, Haartse Waterleiding en Dambeek bevatten ook veel kenmerkende en ook landelijk zeldzame soorten. Natuurlijk of gegraven is hierbij dus geen criterium. Dit wordt veel sterker gestuurd door watervoerendheid, stroomsnelheid en waterkwaliteit. Dit biedt perspectief voor het nemen van maatregelen in de toekomst. Door de abiotische randvoorwaarden in het gebied te herstellen m.b.t. hydrologie, morfologie en fysisch-chemische omstandigheden kunnen deze kenmerkende soorten macrofauna, vis en planten zich weer uitbreiden.

3 Effecten van klimaatverandering op land- en waternatuur

Klimaatverandering zal, bij het uitblijven van herinrichting, ingrijpen op het functioneren van het gebied en op de aanwezige land- en waternatuur. Wij hebben in deze studie de effecten van de verschillende klimaatscenario's op de waterbalans in het studiegebied berekend (Bijlage 9). De effecten op het grondwater zijn berekend met het regionale grondwatermodel AMIGO door Sweco in opdracht van het waterschap Rijn en IJssel. Deze berekeningen geven inzicht in hoe klimaatverandering het functioneren van het gebied en de land- en waternatuur kan beïnvloeden wanneer er geen ingrepen worden gedaan.

Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft op basis van internationale klimaatvoorspellingen van het IPCC (IPCC, 2013), een viertal klimaatscenario's voor Nederland opgesteld ([KNMI - KNMI'14-klimaatscenario's](#)). Deze vier scenario's zijn ingedeeld op basis van verschillende verwachtingen voor wereldwijde temperatuurstijging en verandering van luchtstromingspatronen. Er zijn twee gematigde scenario's (G: gematigd/beperkte temperatuurstijging) en twee warmere scenario's (W: warm/sterkere temperatuurstijging). Bij zowel de gematigde als de warme scenario's wordt ook weer onderscheid gemaakt in de verandering van de luchtstroming, met minder sterke (L: laag) en sterkere verandering (H: hoog). In deze studie zijn wij uitgegaan van de warmere scenario's (W) met verwachtingen voor de jaren 2050 (W_H en W_L) en 2085 (alleen W_H , omdat dit de scenario's zijn waarin het waterschap geïnteresseerd is en omdat dit ervoor zorgt dat de grootste gemodelleerde verandering op termijn wordt meegenomen).

De verwachtingen voor deze klimaatscenario's zijn berekend voor een tijdshorizon tot 100 jaar en bevatten schattingen voor de jaren rond 2050 en 2085. In 2014 zijn de klimaatscenario's opgesteld en deze zijn bijgesteld in 2021. In 2023 komen er nieuwe schattingen. Voor deze studie hebben wij de klimaatscenario's van 2014 met de bijstelling uit 2021 gebruikt.

3.1 Effecten klimaatverandering op hydrologie

Grondwaterstanden

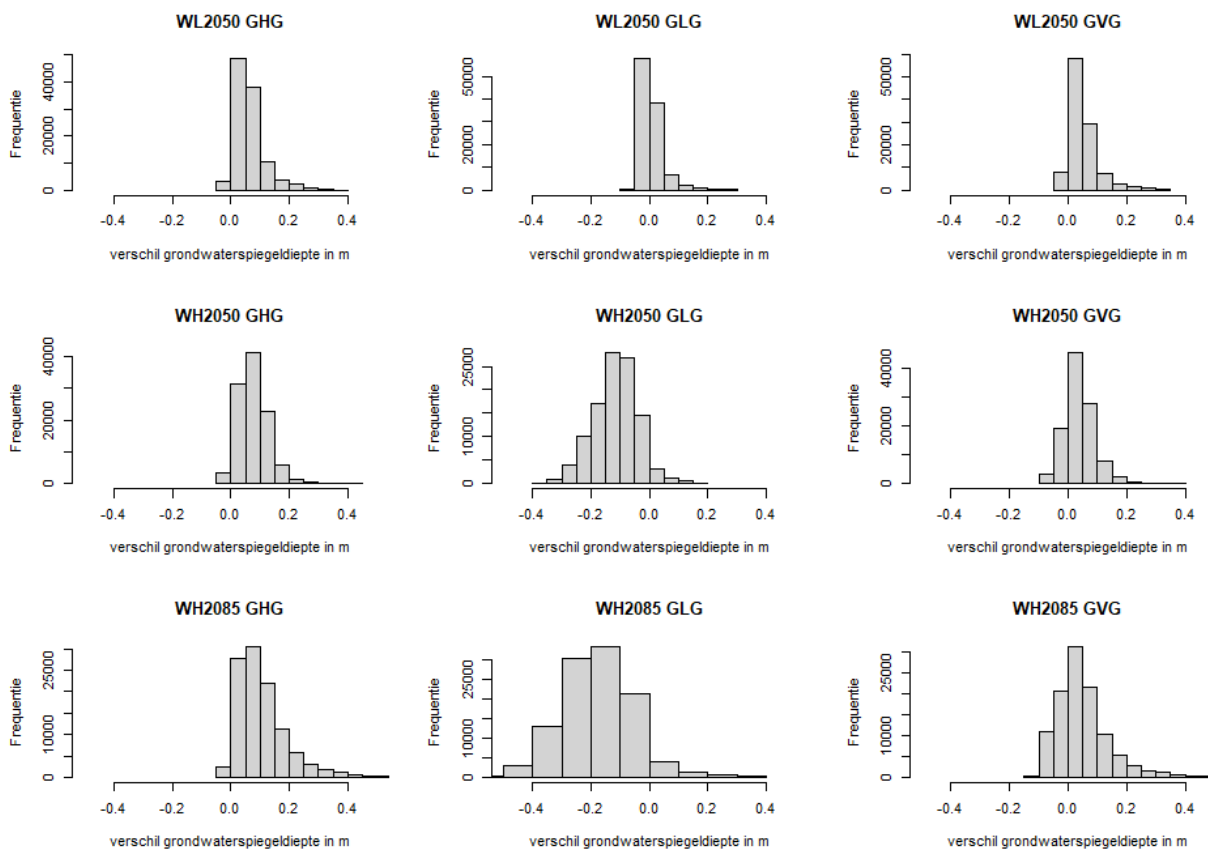
De modelresultaten laten zien dat de *Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand* (GHG) zal toenemen, veelal tussen enkele centimeters en 20 cm, in alle klimaatscenario's (Figuur 3.1). Dit is voornamelijk het gevolg van het feit dat de neerslag in de winterperiode zal toenemen in de klimaatscenario's (KNMI - KNMI-klimaatscenario's). Dit varieert in een toename van 8% (WL2050) tot 30% (WH2085). Met name de scenario's met een hoge verandering in de luchtstroming (WH) laten een duidelijke toename van de GHG zien.

Het scenario met een lage verandering in de luchtstroming (WL) heeft een beperkt effect (enkele centimeters) op de *Gemiddeld Laagste Grondwaterstand* (GLG) in het gebied (Figuur 3.1). Dat in tegenstelling tot de WH-scenario's waarin een (sterke) daling tot wel 40 cm in de GLG is te zien in de modelberekeningen (Figuur 3.1). De waarschijnlijkste oorzaak hiervan is dat bij het WL2050-scenario verwacht wordt dat de neerslaghoeveelheid in de zomer met 1.4% zal stijgen, terwijl in de WH2050- en WH2085-scenario's de zomerneerslag naar verwachting met respectievelijk 13% en 23% zal afnemen. Daarbovenop komt dat de potentiële verdamping met 11 en 15% zal toenemen ([KNMI - KNMI-klimaatscenario's](#)). Deze combinatie maakt dat de grondwaterstanden in de zomer sterk zullen dalen in de WH-scenario's.

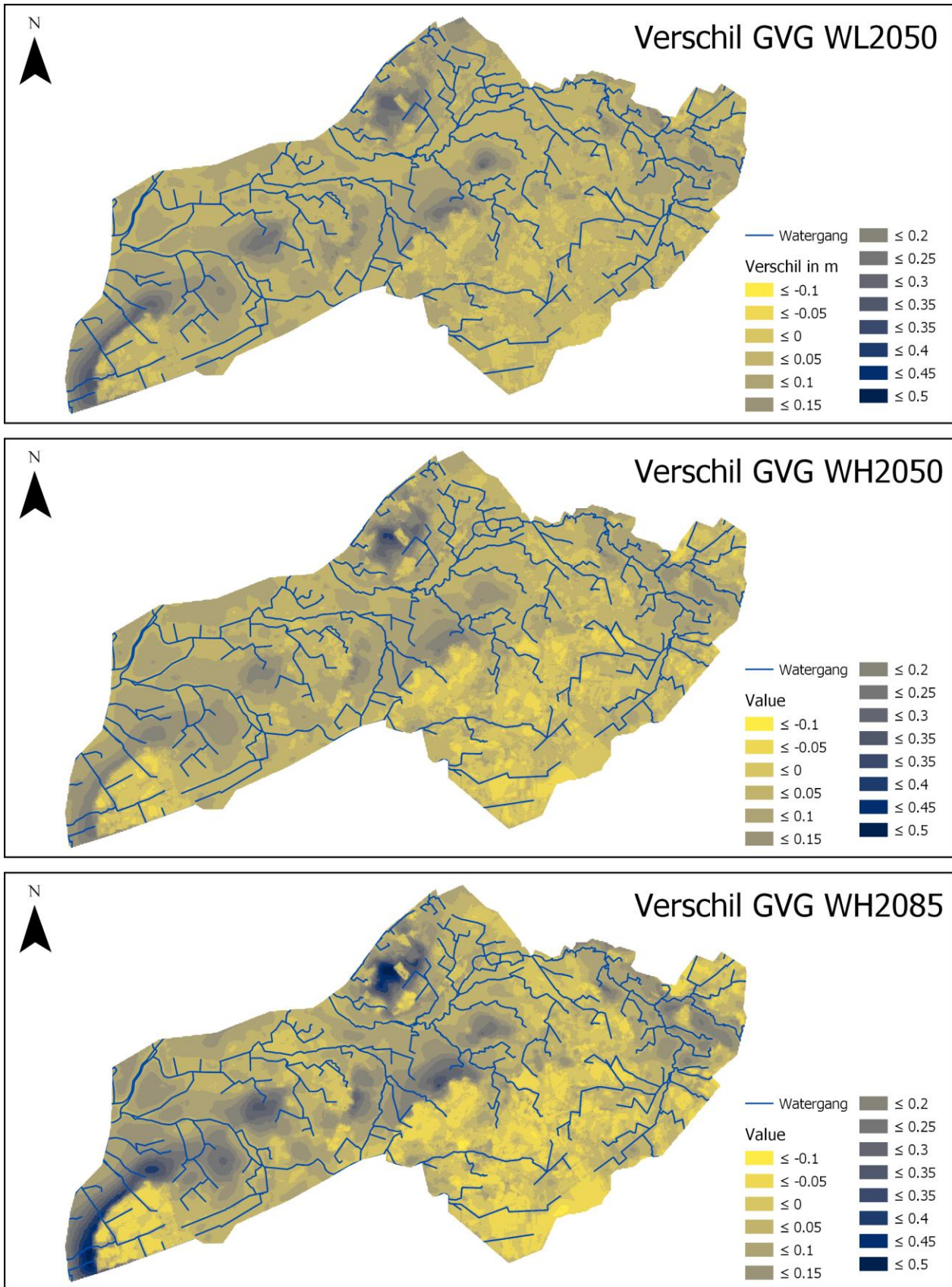
Voor de *Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand* (GVG) wordt verwacht dat deze in bepaalde gebieden zal dalen en in andere zal stijgen (Figuur 3.1 en Figuur 3.2). Met name in het WH2085-scenario is te zien dat de modelberekeningen een stijging van de GVG voorspellen in de zandige glaciële erosiedalen (Figuur 3.2). Dit komt doordat de bodemberging relatief groot is in deze gebieden ten opzichte van de gebieden met een ondoorlatende ondergrond, waardoor de grondwaterstanden in de winter goed aangevuld kunnen worden en

er een grotere grondwaterbuffer beschikbaar is voor de periode met een neerslagtekort. De plateaus met een slecht doorlatende ondergrond op geringe diepte onder het maaiveld (binnen enkele meters) hebben maar een beperkte bodembergingscapaciteit, waardoor er in de winters geen extra water in de bodem opgeslagen kan worden. In combinatie met een toename in de temperatuur in de lente (KNMI – KNMI-klimaatscenario's) en daaraan gerelateerde evapotranspiratie, zal het beperkt beschikbare grondwater in de gebieden met een slecht doorlatende ondergrond sneller afnemen dan in de huidige situatie, waardoor de GVG in deze gebieden licht kan dalen.

Samenvattend kan gesteld worden dat klimaatverandering volgens de klimaatscenario's zoals berekend met het grondwatermodel, leidt tot beperkt hogere grondwaterstanden in het studiegebied in de winterperiode (tussen de 0-20 cm), terwijl in de zomerperiode de grondwaterstanden relatief sterk zullen dalen (0-40 cm) ten opzichte van de huidige situatie (2002-2010).



Figuur 3.1 Histogrammen met verschillen in de GxG's in het studiegebied tussen de huidige situatie (2002-2010) en de verschillende klimaatscenario's. Bron: Sweco/WRIJ.



Figuur 3.2 Veranderingen ten opzichte van de periode 2002-2010 in de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) in het studiegebied voor de verschillende klimaatscenario's. Bron: Sweco/WRIJ.

Waterbalans

In Bijlage 9 is de klimaatgemiddelde waterbalans voor het Nederlandse deel van het stroomgebied beschreven voor de referentiesituatie, de huidige situatie en het klimaatscenario WH2085. De gevolgen van

klimaatverandering op de waterbalans zijn aanzienlijk (zie *Tabel 3-1*). In de winterperiode neemt de neerslag toe, wat leidt tot hogere afvoeren in deze periode. In de zomer zien we door een lagere neerslag en een hogere verdamping de afvoer gemiddeld sterk verminderen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er steeds langere periodes van droogval verwacht mogen worden. De berekende verschuivingen in de waterbalans zijn zo groot dat herstel van de afvoer in de zomerperiode alleen mogelijk is als er op grote schaal in de winterperiode water in het stroomgebied kan worden vastgehouden. Daarnaast zal moeten worden voorkomen dat het water uit de beek infiltreert in de opgevolde erosiegeulen. Daartoe is het nodig in deze dalen op grote schaal te vernatten. De veranderingen in landgebruik die sinds de referentieperiode hebben plaatsgevonden, hebben een vergelijkbare impact op de verdamping in de zomer als klimaatverandering. Daarom is het vanuit het oogpunt van de waterbalans effectief om het landgebruik extensiever te maken.

Tabel 3-1 waterbalans voor het klimaatscenario WH2085 in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter en de verschillen ten opzichte van de huidige situatie.

	Klimaat		WH2085		Verschil met huidig		
	Jaar	Zomer	Winter	Jaar	Zomer	Winter	
Neerslag	919	374	545	134	-13	146	
Beregening	17	17	0	3	3	0	
Onttrekkingen	-31	-24	-7	-3	-3	0	
Verdamping	-515	-423	-93	-28	-25	-3	
Ontwatering/afvoer	-390	-3	-386	-106	42	-147	
Bergingsverandering	0	59	-59	0	-4	4	

Debieten uit Duitsland

Uit metingen van de afvoer van de Boven-Slinge op de grens met Duitsland blijkt dat de afvoer van het Duitse deel van het stroomgebied de afgelopen jaren in delen van de zomer vaak bijna is weggefallen (zie Bijlage 9). Iets wat in de decennia hiervoor zeer zeldzaam was. Voor een deel kan dit worden toegeschreven aan klimaatverandering. Voor een ander deel geeft dit aan dat ook het hydrologische systeem in het Duitse deel van het stroomgebied is verstoord. Onderzoek naar de mogelijkheden om het hydrologische systeem aan de Duitse kant van het stroomgebied te herstellen, is aanbevelenswaardig.

3.2 Effecten veranderende grond- en oppervlaktewaterdynamiek op de beekmorfologie

Op basis van de uitkomsten van het hydrologische model kunnen wij geen kwantitatieve uitspraken doen over de verandering in morfodynamiek van het stroomgebied van de Boven-Slinge. Net als voor de referentiesituatie kunnen we echter wel, op basis van het stabiliteitsdiagram en de achterliggende theorie, uitspraken doen over de verwachte trends in morfodynamiek. We gaan er hierbij van uit dat de mediane korreldiameter en het dalverhang onveranderd blijven in de toekomst en dat de enige veranderlijke factor het geulvormende debiet is.

Verder uit elkaar liggende extremen in droogte en neerslag, die verwacht worden bij klimaatverandering, zullen effect hebben op de geulvormende afvoeren en daarmee op de morfodynamiek van de beek. Het is bekend dat oevererosie voornamelijk afhankelijk is van de intensiteit van piekafvoeren (Rinaldi et al., 2008; Julian & Torres, 2006). Met een verwacht hoger debiet en toenemende frequentie van de piekafvoeren zal de morfodynamiek van de Boven-Slinge in het algemeen toenemen. Waar exact de verhoogde erosie en sedimentatie zullen plaatsvinden, is afhankelijk van lokale factoren, zoals de samenstelling van de beekbodem en -oever, de aanwezigheid van vegetatie en de mate van insnijding die al plaatsgevonden heeft. Het is aannemelijk dat locaties die momenteel al lateraal actief zijn dat ook in de toekomst blijven.

In deelgebied 1 (brongebied), waar de loop van de Slinge bekneld wordt door omliggende grondmorenen, wordt laterale migratie van een beekloop bij hoge afvoeren bemoeilijkt door de (diepe) insnijdingen van de beken. De stromingsenergie concentreert zich daardoor op de beekbodem in plaats van op de oevers, wat bij

het extremer worden van piekafvoeren kan leiden tot verdere insnijding van het systeem. Vrije laterale migratie is hier vrijwel niet mogelijk, waardoor deze delen van de beekloop niet in het stabiliteitsdiagram passen.

In deelgebieden 2 en 3, waar de Boven-Slinge minder oeverweerstand ervaart, kan tijdens extreme piekmomenten veel erosie optreden met veel sedimenttransport als gevolg. Een groot deel van het geërodeerde materiaal zal vervolgens lokaal sedimenteren, waardoor er actieve laterale migratie zou kunnen plaatsvinden. De afname van het debiet en dalverhang nabij watersplitsingen, stuwen en watermolens (of uiteindelijk in het vlakke deelgebied 4 zal zorgen voor sedimentatie van het overige geërodeerde materiaal. Echter geldt dat de diep ingesneden delen van de Boven-Slinge, maar ook van bijvoorbeeld de Stortelersbeek, de Limbeek en de Osink-Bemersbeek, zich waarschijnlijk verder zullen gaan insnijden tot ze stuiten op een weerstandslaag.

In perioden zonder significante neerslaghoeveelheden en hoge luchttemperaturen zal het debiet flink afnemen met een zeer lage tot geen afvoer tot gevolg. Ook zullen delen van het systeem of het systeem als geheel, droogvallen. Dit proces is momenteel al duidelijk zichtbaar tijdens droge zomers in veel van de zijbeken van de Slinge en bovenlopen van de Keizersbeek. De verwachting is dat de frequentie, duur en intensiteit van droogte in deze beken zullen toenemen, met als gevolg langere trajecten die langduriger droog zullen staan in de zomerperiode. Tijdens droogteperioden treedt geen sedimenttransport op, maar bij lage afvoeren kan wel veel organisch slib worden afgezet. Bij hoge voedselrijkdom van het water wordt dit slib intern gegenereerd. Valt de beek volledig droog, dan mineraliseren de organische substraten versneld. Ook kan in de droge beddingen lokaal vastlegging van sediment (zandbanken) optreden door vegetatieontwikkeling.

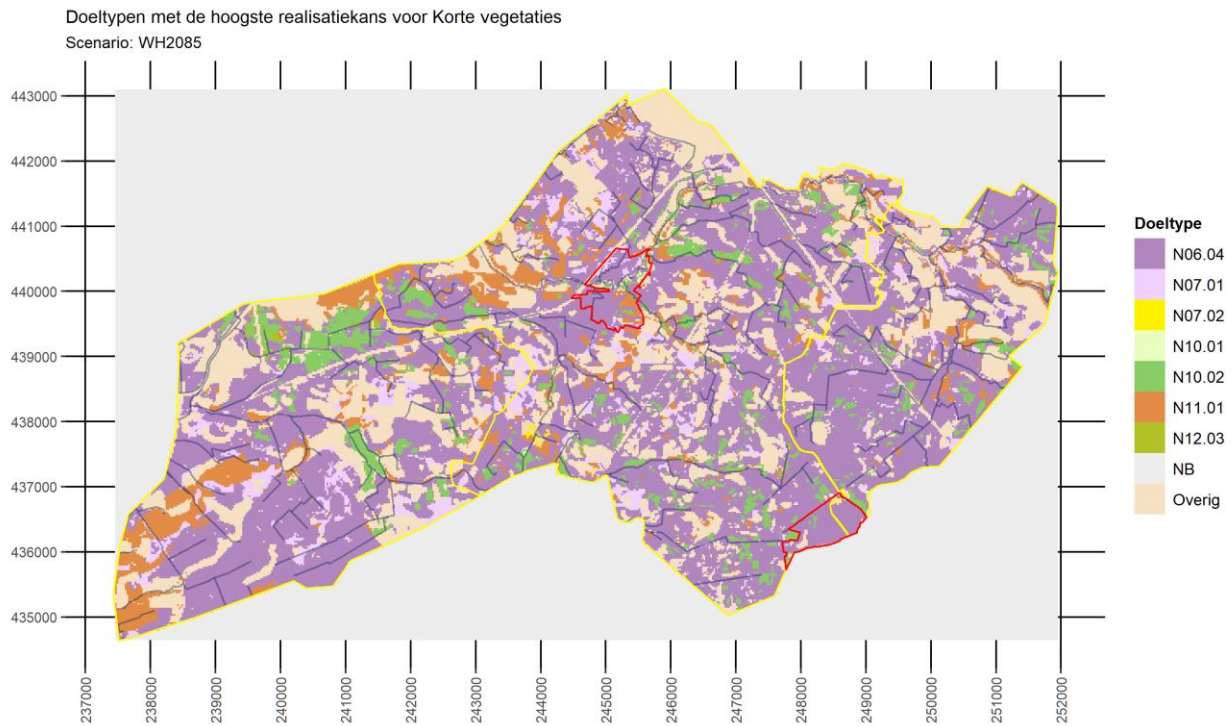
Er kan dus worden uitgegaan van een algemene toename van morfodynamiek in het hele systeem waarbij de hoofdloop van de Boven-Slinge waarschijnlijk de grootste toename zal zien. De zijbeken van de Boven-Slinge en bovenlopen van de Keizersbeek zijn momenteel al gevoelig voor insnijding en zullen zich dieper gaan insnijden bij piekafvoeren. Op lokale schaal hangt activiteit af van de mate van insnijding en oeverbescherming (vegetatie en weerstandslagen). Tegelijkertijd zullen tijdens droge zomers de frequentie, duur, intensiteit en lengte van de beek waarin lage afvoeren en droogval voorkomen, toenemen. In de Boven-Slinge betreft dit vooral zeer lage afvoeren met lokaal stagnatie tot gevolg, in de zijbeken complete droogval van beektrajecten.

3.3 Effecten veranderende grondwaterdynamiek op landnatuur

De effecten op landnatuur van de veranderde grondwaterdynamiek bij een veranderend klimaat kunnen we kwantitatief inschatten door de realisatiekansen van beheertypen te vergelijken in de drie klimaatscenario's ten opzichte van de huidige grondwaterdynamiek (§ 3.3.1). Daarbij wordt op basis van een gemiddelde grondwaterdynamiek (GVG, GLG en daarvan afgeleid droogtestress) beoordeeld wat de realisatiekansen zijn. Het effect van weersextremen op instandhouding van de beheertypen kan daarmee niet beoordeeld worden, omdat de hydrologische uitwerking van de klimaatscenario's niet voorziet in tijdelijke extremen in grondwaterstanden of water op maaiveld. Daarom maken we in §3.3.2 een kwalitatieve inschatting van enerzijds neerslagpieken en anderzijds extreme droogte.

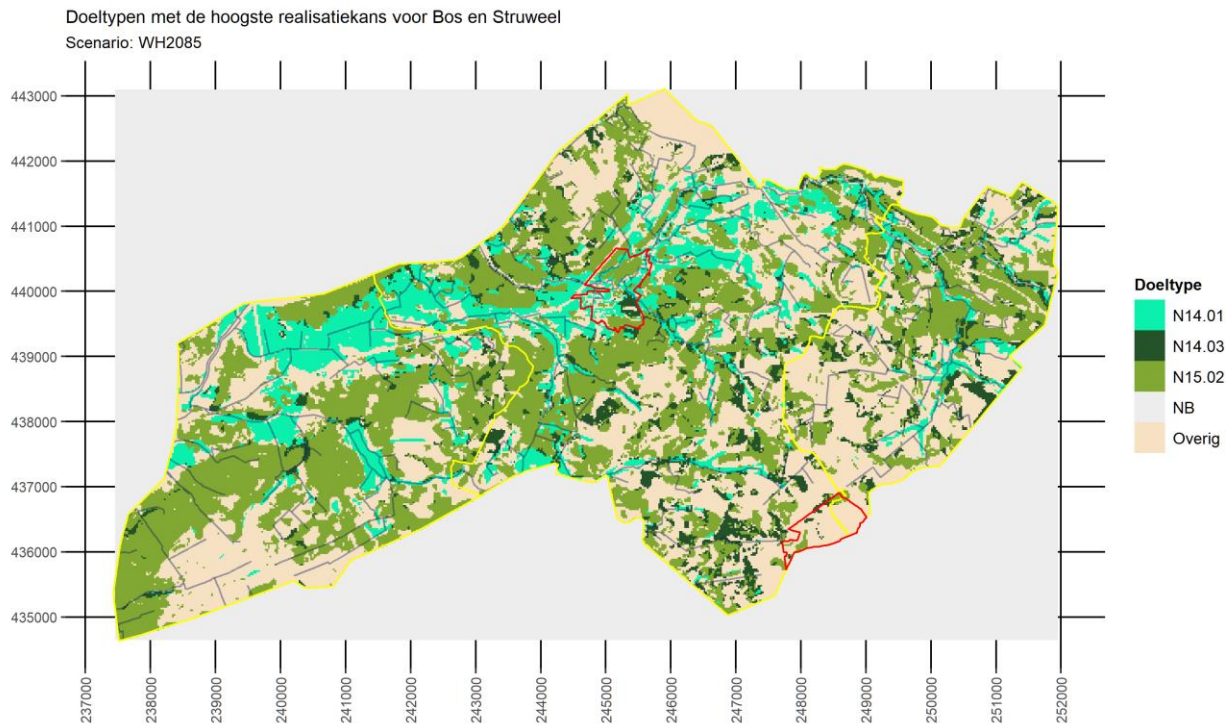
3.3.1 Effect op Realisatiekansen beheertypen

Op basis van de modelberekeningen voor de hydrologie in de klimaatscenario's hebben wij de realisatiekansen voor beheertypen berekend op dezelfde wijze als voor de huidige situatie (zie § 2.4.2). De realisatiekansen hebben wij vergeleken met de realisatiekansen in de huidige situatie. Hieronder illustreren wij dat voor het scenario WH2085; voor de andere scenario's staan de resultaten in Bijlage 8. In Tabel 3-3 geven wij een samenvatting van de verschillen tussen alle scenario's.



Figuur 3.3 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij klimaatscenario WH2085. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen. De betekenis van de codes staat in Tabel 3-2.

(Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos).



Figuur 3.4 Doeltypen met de hoogste realisatiekans voor bos en struweel bij klimaatscenario WH2085. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen. De betekenis van de codes staat in Tabel 3-2.

(Doeltype nummer en naam: N06.02 Trilveen, N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven, N07.01 Droge heide, N07.02 Zandverstuiving, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland, N11.01 Droog schraalgrasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.02 Hoog- en laagveenbos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos).

In Figuur 3.3 en Figuur 3.4 geven we de beheertypen weer die de hoogste realisatiekans hebben op basis van de hydrologie bij klimaatscenario WH2085. In Tabel 3-2 vergelijken we de oppervlaktes waar deze beheertypen voor kunnen komen met die voor de huidige hydrologie en op welke oppervlakte de verschillen meer of minder groot zijn. Er is een duidelijke verschuiving te zien naar beheertypen van drogere groeiplaatsen. De grootste afname in absolute zin zien we bij N06.04 'Vochtige heide', in relatieve zin is de grootste afname voor N10.01 'Nat schraalland'. Het geringe areaal dat nu nog geschikt zou zijn voor N06.03 'Hoogveen' en N14.02 'Hoog- en laagveenbos' verdwijnt geheel. Daar staat toename van N07.01 'Droge heide' en N11.01 'Droog schraalland' tegenover. Voor de bossen zien we vrijwel geen verandering voor N14.01 'Rivier- en beekbegeleidend bos', een sterke relatieve toename voor N14.03 'Haagbeuken en essenbos' en in absolute zin voor N15.02 'Dennen-, eiken- en beukenbos'.

Tabel 3-2 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij klimaatscenario WH2085, in vergelijking met de actuele hydrologie. Onder 'oppervlakte' geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in het scenario WH2085. Onder 'verschil' staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname van realisatiekansen met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktes verschil (ha)				
		WH2085	Huidig	Verschil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.1	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	0.0	1.9	-2.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	3968.9	4135.2	-166.0	159.1	574.1	3274.4	127.6	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	943.1	777.3	166.0	1.7	64.8	448.0	258.2	4.6
N07.02	Zandverstuiving	12.1	11.0	1.0	0.2	0.3	8.3	1.6	0.5
N10.01	Nat schraalland	39.2	149.3	-110.0	1.8	144.9	0.1	2.5	0.0
N10.02	Vochtig hooiland	948.4	928.6	20.0	1.3	334.8	308.3	283.6	0.6
N11.01	Droog schraalgrasland	947.3	733.2	214.0	0.0	38.6	287.1	404.1	3.4
N12.03	Glanshaverhooiland	109.1	107.2	2.0	0.0	31.4	51.6	24.2	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1080.3	1084.5	-4.0	1.6	117.8	916.1	49.0	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0.0	9.2	-9.0	0.7	8.5	0.0	0.0	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	810.6	610.9	200.0	41.9	225.6	67.3	244.2	31.9
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2907.6	2299.4	608.0	0.0	106.3	1370.2	812.6	10.2

Tabel 3-3 Vergelijking van de verschillen in geschikte oppervlakte voor de beheertypen voor de klimaatscenario's ten opzichte van de actuele hydrologie. Onder het kopje 'verschil' staat steeds de verandering ten opzichte van de actuele hydrologie. Door deze verschillen per scenario te vergelijken, wordt duidelijk wat het verschil is in effect van de scenario's.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)						
		WL2050 – Huidig			WH2050 – Huidig		WH2085 – Huidig	
		Huidig	WL2050	Verschil	WH2050	Verschil	WH2085	Verschil
N06.02	Trilveen	0.4	0.4	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
N06.03	Hoogveen	1.9	12.6	11.0	0.0	-2.0	0.0	-2.0
N06.04	Vochtige heide	4135.2	4173.6	38.0	4073.8	-61.0	3968.9	-166.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	2.4	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	777.3	665.1	-112.0	845.1	68.0	943.1	166.0
N07.02	Zandverstuiving	11.0	10.1	-1.0	11.6	1.0	12.1	1.0
N10.01	Nat schraalland	149.3	273.9	125.0	79.4	-70.0	39.2	-110.0
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	1014.4	86.0	978.2	50.0	948.4	20.0
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	647.1	-86.0	830.1	97.0	947.3	214.0
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	103.1	-4.0	107.7	0.0	109.1	2.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1084.5	1085.9	1.0	1082.6	-2.0	1080.3	-4.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	25.0	16.0	0.4	-9.0	0.0	-9.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	482.6	-128.0	737.3	126.0	810.6	200.0
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	2013.9	-286.0	2593.3	294.0	2907.6	608.0

Een vergelijking van de effecten tussen de scenario's geven wij in Tabel 3-3. Bij WL2050 zien we een verschuiving van beheertypen van drogere groeiplaatsen naar nattere groeiplaatsen. Bij WH2050 en WH2085 verschuiven de realisatiekansen naar de drogere groeiplaatsen, maar de verschillen zijn bij WH2050 nog minder groot dan voor 35 jaar later verwacht wordt. Dat betekent dat de verschuivingen die voor 2050 ingezet worden daarna versterkt zullen doorgaan.

Concluderend kan gesteld worden dat met de te verwachten klimaatverandering de potentie voor landnatuur sterk verschuift naar drogere natuurtypen en het steeds moeilijker zal worden om natte natuur in stand te houden, hetgeen een afname van de diversiteit in natuur betekent. De verdroging die wij zagen tussen de referentiesituatie en de huidige situatie gaat dus door, nu meer veroorzaakt door klimaatverandering dan door landgebruikverandering. De bijdrage van de verwachte klimaatverandering aan de verdroging is vergelijkbaar met de bijdrage van de verdroging als gevolg van de landgebruikverandering tussen referentie en huidig.

3.3.2 Effect van weersextremen op realisatiekansen

Omdat weersextremen in een veranderend klimaat minder goed te voorspellen zijn, geven wij geen kwantitatieve inschatting van de effecten op de realisatiekansen. Wel kunnen we bekijken wat de gevoeligheid van de beheertypen voor deze extremen is. Dat doen wij aan de hand van de randvoorwaarden uit het instrument Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2014). Voor de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden bij de scenario's is in de vorige paragraaf al een inschatting gemaakt van de realisatiekansen. Hier gaat het om wat er gebeurt bij extreme weersituaties waardoor, in elk geval tijdelijk, de groeiplaats ongeschikt wordt. Als dat vaker gebeurt, kan het zijn dat een beheertype lokaal verdwijnt. Hervestiging is dan afhankelijk van herstel van de hydrologie in jaren zonder weersextremen en van de aanwezigheid van een restpopulatie of zaadbank en de verspreidingsmogelijkheden van een soort. Als deze er niet zijn, zullen soorten verdwijnen en daarmee ook het beheertype.

3.3.2.1 Gevoeligheid voor neerslagpieken

Bij neerslagpieken zijn er twee vormen van wateroverlast te verwachten:

- Binnen de beekdalen kan inundatie optreden als gevolg van piekafvoer in de beken. Naast een tijdelijke waterstand boven maaiveld zijn hier effecten te verwachten van meegevoerd sediment en nutriënten.
- Buiten de beekdalen kan lokale wateroverlast ontstaan, zeker in laagtes met een geringe oppervlakkige afvoer.

De gevoeligheid van de beheertypen voor beide vormen van wateroverlast hebben wij in Tabel 3-4 ingeschat op basis van de abiotische randvoorwaarden voor 'Overstromingstolerantie' en de ondergrens voor de GVG. De laatste randvoorwaarde geeft aan wat de grondwatersituatie in het voorjaar zou moeten zijn voor beheertypen, maar wij gebruiken GVG hier ook als indicator voor de gevoeligheid voor hoge grondwaterstanden in het groeiseizoen. Als overstromingen in beekdalen vaker voorkomen en de grondwaterstand in het voorjaar vaker boven de grenswaarden is, komen typen landnatuur voor die daarvoor gevoelig zijn minder. Er is niet specifiek gekeken naar de gevolgen voor de landbouw.

Tabel 3-4 Gevoeligheid van de beheertypen voor neerslagpieken, gebaseerd op de abiotische randvoorwaarden in Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2014). De getallen onder 'Overstromingstolerantie' geven de relatieve geschiktheid van de klasse aan, van 0 = niet geschikt tot 2 = maximaal geschikt, waarden tussen 0 en 2 zijn minder geschikt. De hier weergegeven klassen gaan uit van een overstromingsfrequentie, niet van een overstromingsduur. De ondergrens bij GVG geeft aan onder welke waarde de locatie ongeschikt is (A1) of minder geschikt (B1). Dit zijn standen in cm -mv, dus negatieve waarden geven aan dat het water boven maaiveld komt. Zie ook Bijlage 1 onder de kop Standplaatsen.

Doeltype	Naam Doeltype	Overstromingstolerantie (oppervlaktewater)			Ondergrens GVG (cm -mv)		Gevoeligheid bij piekbuien	
		Regelmatig	Incidenteel	Nooit	A1	B1	Overstroming beek	Lokale wateroverlast
N06.02	Trilveen	0	1	2	-15	-9.6	Gering	Geen
N06.03	Hoogveen	0	0	2	-150	-18.6	NVT	Geen
N06.04	Vochtige heide	0	0	2	-15	8.9	Groot	Geen
N06.05	Zwakgebufferd ven	0	0.5	2	-250	-74.8	Vrij groot	Geen
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0	0	2	-150	-50.4	NVT	Geen
N07.01	Droge heide	0	0	2	50	75.3	NVT	Gering
N07.02	Zandverstuiving	0	0	2	70	90	NVT	Gering
N10.01	Nat schraalland	0.5	1	2	-100	-15.7	Gering	Geen
N10.02	Vochtig hooiland	1.1	1.7	1.5	-70	7.8	Geen	Geen
N11.01	Droog schraalgrasland		0.7	1.9	10	84.8	Vrij groot	Gering
N12.03	Glanshaverhooiland	0.6	1.8	2	10	77.8	Geen	Gering
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	0.8	1.2	1.6	-30	18.3	Geen	Geen
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0	0	2	-15	5.6	NVT	Geen
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	0	0	2	15	60	NVT	Gering
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	0	0	2	20	80.1	NVT	Gering

Concluderend blijkt dat vooral beheertypen als Rivier- en beekbegeleidend bos en Glanshaverhooiland niet gevoelig zijn voor overstromingen vanuit de beek, terwijl beheertypen als Zwakgebufferd ven en vochtige heide daar wel gevoelig voor zijn. Het is dan ook aan te raden om de gebieden die een grote kans hebben om te inunderen vanuit de beek in te richten met de beheertypen die hiermee om kunnen gaan, zoals Vochtig hooiland, Glanshaverhooiland of Rivier- en beekbegeleidend bos. De meeste beheertypen zijn wel bestand tegen lokale wateroverlast door stagnatie van regenwater tijdens piekbuien, hoewel de droge beheertypen als Droge Heide en de Haagbeuken- en essenbossen en Dennen-, eiken- en beukenbos wel hinder zullen ondervinden als de lokale wateroverlast te frequent zal plaatsvinden.

3.3.2.2 Gevoeligheid voor extreme droogte

De gevoeligheid van de beheertypen voor extreme droogte hebben wij in Tabel 3-5 weergegeven op basis van de bovengrens voor GLG en droogtestress volgens Waterlood, waarbij steeds ofwel GLG, of droogtestress bepalend is (Runhaar & Hennekens, 2014). Deze randvoorwaarden zijn ook al verwerkt in de beoordeling van realisatiekansen bij elk klimaatscenario, maar daarbij gaan we uit van de waarden in een gemiddeld jaar (GLG en daarvan afgeleid droogtestress). In jaren met extreme droogte, zoals wij die nu ook al kennen (2018, 2019, 2022), zal het grondwater dieper wegzakken dan de berekende GLG, waardoor mogelijk ook de realisatiekans nadelig beïnvloed wordt. Het risico daarop hangt af van de waarde van de GLG of droogtestress binnen het scenario in vergelijking met de grenswaarden in Tabel 3-5. In Figuur 3.5 is de droogtestress weergegeven voor scenario WH2085. In delen van het gebied waar de droogtestress ongeveer 5-10 dagen per jaar bedraagt, kan in droge jaren de geschiktheid voor Vochtige heide en Vochtig hooiland afnemen, bij waarden van 15-20 dagen zal dat ook het geval zijn voor Glanshaverhooiland, Rivier- en beekbegeleidend bos en Haagbeuken- en essenbos. Op dezelfde wijze kan ook de gevoeligheid voor GLG van andere beheertypen beoordeeld worden.

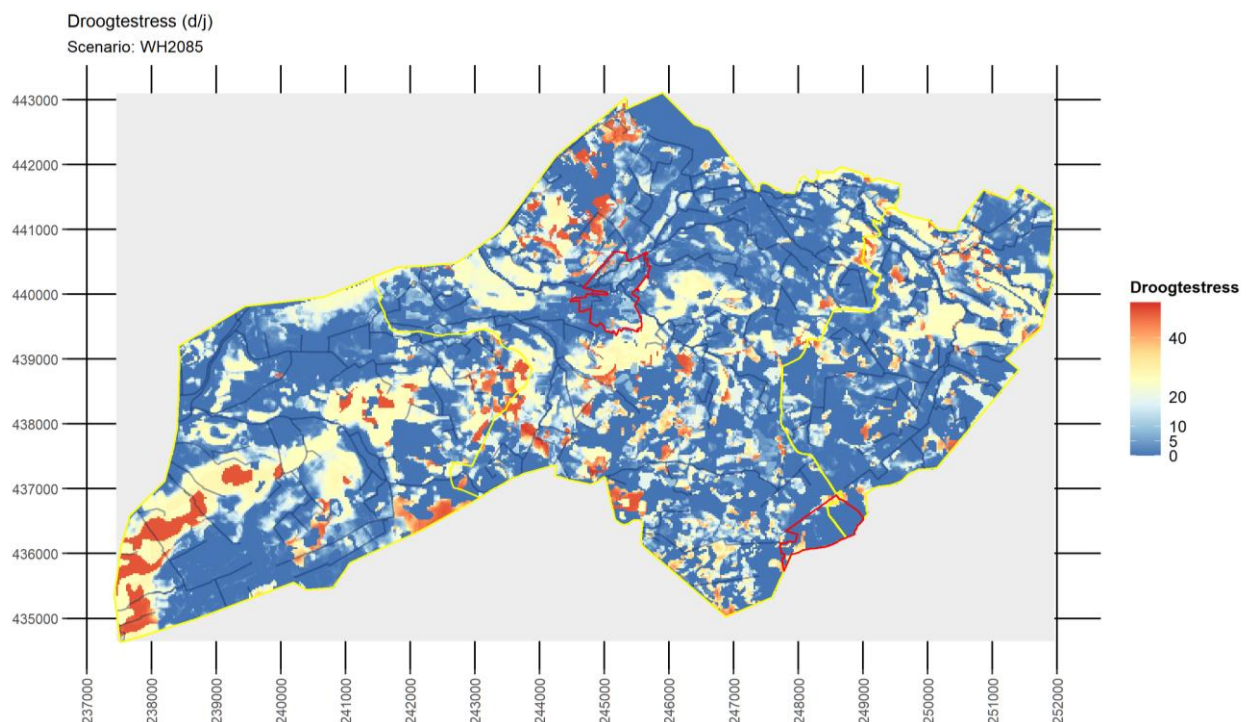
Bij een aantal beheertypen is aangegeven dat er geen gevoeligheid voor droogte is op basis van de abiotische randvoorwaarden. Dat neemt echter niet weg dat deze vegetaties sterk te lijden kunnen hebben

onder extreem droge jaren. Als er onvoldoende vocht in de bodem vastgehouden kan worden, kan de vegetatie alsnog afsterven, zoals te zien is in Figuur 3.6 (zie ook Bijlsma et al., 2020B).

Met de voorspelde toename in perioden met extreme droogte onder toekomstige klimaatveranderingen is de kans dus groot dat veel van de natte beheertypen erg te lijden zullen hebben onder de droogte en dat deze beheertypen op den duur in het geheel niet meer in stand te houden zijn. Voornamelijk de vennen, nat schraalland, vochtige hooiland en Rivier- en beekbegeleidend bos zullen onder druk komen te staan, maar ook de bossen in het gebied zullen lijden onder de toenemende kans op perioden met extreme droogte.

Tabel 3-5 Gevoeligheid van de beheertypen voor extreme droogte, gebaseerd op de abiotische randvoorwaarden in Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2014). De bovengrens bij GLG en Droogtestress geeft aan boven welke waarde de locatie ongeschikt (A2) of minder geschikt (B2) is. Zie ook Bijlage 1 onder de kop Standplaatsen. Doeltypen waarbij geen bovengrens is aangegeven, zijn dus niet verdrogingsgevoelig.

Doeltype	Naam Doeltype	Bovengrens GLG (cm – mv)		Bovengrens droogtestress (d/j)		Gevoeligheid droogte	
		B2	A2	B2	A2		
N06.02	Trilveen		22	50		Groot	
N06.03	Hoogveen		21.7	60		Groot	
N06.04	Vochtige heide				10.9	30	Groot
N06.05	Zwakgebufferd ven		7.1	80		Groot	
N06.06	Zuur ven of hoogveenven		7.5	50		Groot	
N07.01	Droge heide					Geen	
N07.02	Zandverstuiving					Geen	
N10.01	Nat schraalland		33.2	90		Groot	
N10.02	Vochtig hooiland				9.1	25	Groot
N11.01	Droog schraalgrasland					Geen	
N12.03	Glanshaverhooiland				20.4	35	Gering
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos				15.8	35	Vrij groot
N14.02	Hoog- en laagveenbos		44.3	70		Vrij groot	
N14.03	Haagbeuken- en essenbos				15.7	35	Vrij groot
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos					Geen	



Figuur 3.5 Berekende droogtestress voor scenario WH2085.



Figuur 3.6 Afgestorven droge heide tijdens de droge zomer van 2018 (Foto: Bas van Delft).

3.4 Effecten veranderend klimaat op de waternatuur

Klimaatverandering werkt via drie verschillende mechanismen in op beekecosystemen (Besse-Lototskaya et al., 2007; Verdonschot et al., 2007):

- toename van de afvoer in de winter en het gedurende alle seizoenen vaker optreden van piekafvoeren die groter van omvang kunnen zijn;
- afname van de afvoer in de zomer, met als gevolg lage beekafvoeren en het vaker en langduriger optreden van perioden van stagnatie of (gedeeltelijke) droogval van de beekbedding;
- stijging van de watertemperatuur (jaarrond) en het vaker, eerder en langduriger optreden van extreme temperaturen in de zomer.

De eerste twee mechanismen (piekafvoeren en droogte) zijn terug te zien in de waterbalans van het stroomgebied van de Slinge bij klimaatverandering (zie § 3.1). Piekafvoeren nemen met name toe in de winterperiode door grotere neerslagsommen, terwijl in de zomer een combinatie van minder neerslag en meer verdamping door hogere temperaturen tot lagere afvoeren leidt. Het derde mechanisme is niet modelmatig onderzocht voor het gebied, maar aangezien de oppervlaktewatertemperatuur globaal de luchttemperatuur volgt, is het de verwachting dat de luchttemperatuur in het WH2085-scenario met 3.7°C stijgt.

De veranderingen in de beekecosystemen van het gebied door deze drie mechanismen hebben directe en indirecte gevolgen voor de waternatuur. De belangrijkste zijn:

- verandering van de morfologie van de beek: insnijding van de beek bij piekafvoeren (zie § 3.2);
- veranderingen in de structuur van de beekbedding: wegspoelen van organische substraten bij piekafvoeren (zie § 2.3), verslibbing door sedimentatie bij lage afvoeren tijdens droge perioden;

- veranderingen in de beschikbaarheid en het transport van stoffen en daarmee de waterkwaliteit: hogere temperaturen en droogval versnellen de afbraakprocessen in de beekbedding, wat kan leiden tot hogere gehalten aan stoffen (nutriënten, macro-ionen) en lagere zuurstofconcentraties door verhoogde respiratie. Warmer water kan tevens minder zuurstof bevatten, waardoor het zuurstofgehalte via twee routes beïnvloed wordt. Heftige buien leiden daarnaast tot meer inspoeling van stoffen vanuit aanliggende gronden;
- de invloed van de belasting van effluent uit de rioolwaterzuivering op de beek is bij een lage afvoer groter omdat er minder verdunning optreedt;
- veranderingen in de levensgemeenschappen: verdwijnen van soorten die een gedempte lage watertemperatuur, een stabiele afvoer of permanent water nodig hebben in bepaalde fasen van hun levenscyclus (zie Bijlage 4), verschijnen van soorten die profiteren van hoge temperaturen en droogval.

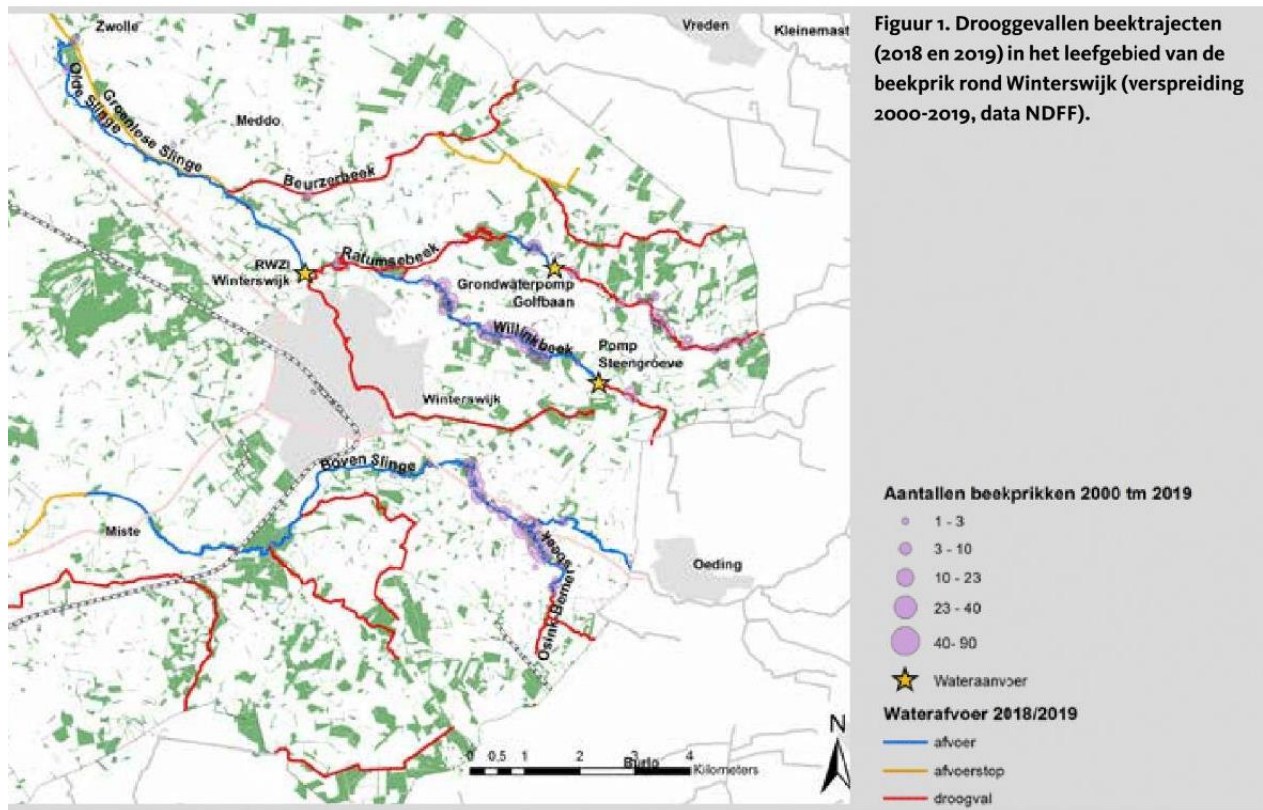
De mate waarin deze effecten optreden, zijn beektraject- of afwateringsgebied-specifiek. Het effect van klimaatverandering kan namelijk van plek tot plek verschillen door verschillen in geologie (ondoorlatende of doorlatende bodem, grondwaterstromingen), topografie (hellingshoek) en landgebruik (aanwezigheid bos langs de beek die voor beschaduwing en temperatuurdemping zorgt, hoeveelheid drainagemiddelen die leidt tot versnelde afvoer van water). Ook de levensgemeenschappen reageren verschillend, afhankelijk van de mate van connectiviteit in een stroomgebied (zijn er koude refugia en zijn deze bereikbaar voor bijvoorbeeld vissen?). Er kan gesteld worden dat alle beken in het onderzoeksgebied gevoelig zijn voor klimaatverandering. Effecten zijn al duidelijk in het gebied zichtbaar. Ten eerste vallen tijdens lange perioden zonder neerslag nu al veel van de zijbeken van de Slinge en bovenlopen van de Keizersbeek droog. Daarnaast neemt de afvoer van de Slinge aanzienlijk af onder deze omstandigheden. De verwachting is dat de frequentie, duur en intensiteit van lage afvoeren, stagnatie en droogval in deze beken gaan toenemen, met als gevolg dat over grotere beeklengtes lage afvoeren of droogval langduriger gaan optreden. Ten tweede raakt temperatuurstijging alle beken in het onderzoeksgebied, omdat de watertemperatuur met enige vertraging de luchttemperatuur volgt. Beschaduwing en grondwatervoeding dempen deze stijging wel en werken zo mitigerend, maar bij langdurig zeer hoge temperaturen worden uiteindelijk alsnog de kritische grenswaarden voor beekorganismen overschreden. Een groot probleem is hierbij de wisselwerking met droogte, vaak gaan beide samen, waardoor het negatieve effect op het ecosysteem versterkt wordt. Ten derde nemen piekafvoeren toe door extremere neerslaghoeveelheden, dit leidt tot beddingerosie en daarmee verdere insnijding. Nu al zijn veel beken in het onderzoeksgebied diep ingesneden (bijv. Osink-Bemersbeek). De verwachting is dat dit toeneemt bij extremere neerslaghoeveelheden. Meer insnijding betekent daarnaast ook verdere verdroging van de aanliggende terrestrische natuur.

Klimaatverandering heeft tot gevolg dat de effecten van piekafvoeren en perioden van lage afvoeren die nu al in het gebied worden waargenomen, worden versterkt. Dit betekent dat de frequentie en omvang van de hydrologische extremen gaan toenemen, ze langduriger aanhouden en dat ze eerder in het jaar aanvangen (in het geval van droogte) De mate waarin deze effecten optreden, hangt af van het klimaatscenario, waarbij de impact bij een gematigd scenario (WI) minder afwijkt van de huidige situatie dan van een extreem scenario (Wh).

Het inschatten van de effecten van klimaatverandering op de waternatuur kan worden gedaan op basis van de huidige situatie. Huidig optreden van zeer lage afvoeren/stagnatie/droogval in droge perioden en/of een diep ingesneden beekbedding zijn twee belangrijke signalen voor de gevoeligheid van waternatuur voor klimaatverandering. Zoals hierboven genoemd, zijn hydrologische en morfologische verstoringen overal aanwezig in het onderzoeksgebied, waarbij gesteld kan worden dat met voortschrijdende klimaatverandering de situatie overal zal verergeren: de impact die nu al wordt waargenomen, wordt groter, langduriger en breidt zich verder uit naar de aanliggende trajecten of beken die nu nog net watervoerend blijven. De zijbeken en bovenlopen van de Keizersbeek zijn hierbij het gevoeligst, de Slinge zal door het grotere watervolume grotere veranderingen aankunnen. Effecten van een temperatuurverhoging zijn moeilijker in te schatten, mede omdat voor veel soorten die exacte temperatuurlimieten niet bekend zijn en soorten zich ook tot op zekere hoogte bij geleidelijke veranderingen kunnen aanpassen.

Waar precies de meest robuuste trajecten liggen in termen van gevoeligheid voor klimaatverandering vraagt een verdiepend veldonderzoek. Droogval/stagnatie en insnijding zijn redelijk goed in beeld, waarbij veldopnamen van de mate van droogval/stagnatie in het watersysteem door gebiedsbeheerders tijdens

extreem droge perioden (voorbeeld in Figuur 3.7) en het inmeten van de insnijding van de beekbedding per traject hierbij belangrijke bronnen van informatie zijn. Lokale grondwatervoeding en watertemperatuur zijn dit niet en vragen nader onderzoek. Wel kan de biologie worden gebruikt om een grove indicatie te krijgen van de gevoeligheid voor lage afvoeren. De aanwezigheid van temperatuurgevoelige (koud-stenotherme) en stromingsminnende (rheofiele) soorten macrofauna en vis geeft aan hoe kwetsbaar een locatie in een beek is (zie Bijlage 4 'Analyse knelpunten ecologie op basis van de milieu-indicaties macrofauna' voor een overzicht).



Figuur 3.7 Voorbeeldkaart van een inschatting van de stagnatie en droogval van de beken in het studiegebied in de droge zomers van 2018-2019 (Spikmans et al. 2020). Deze aanpak zou kunnen helpen de gevoeligheid voor droogte vast te stellen.

Concluderend kan worden gesteld dat de waternatuur bij klimaatverandering verder onder druk komt te staan. De huidige situatie tijdens piekafvoeren en perioden van droogte in het gebied is hierbij maatgevend. De omvang, duur, frequentie van zowel piekafvoeren als lage afvoeren zullen verder gaan toenemen in de nu al gevoelige trajecten, terwijl het moment dat droogte intreedt eerder in het jaar zal gaan optreden. De huidige knelpunten goed in kaart brengen is daarom essentieel voor een risico-inschatting.

4 Maatregel-effecten bij klimaatscenario's

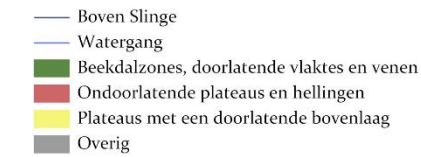
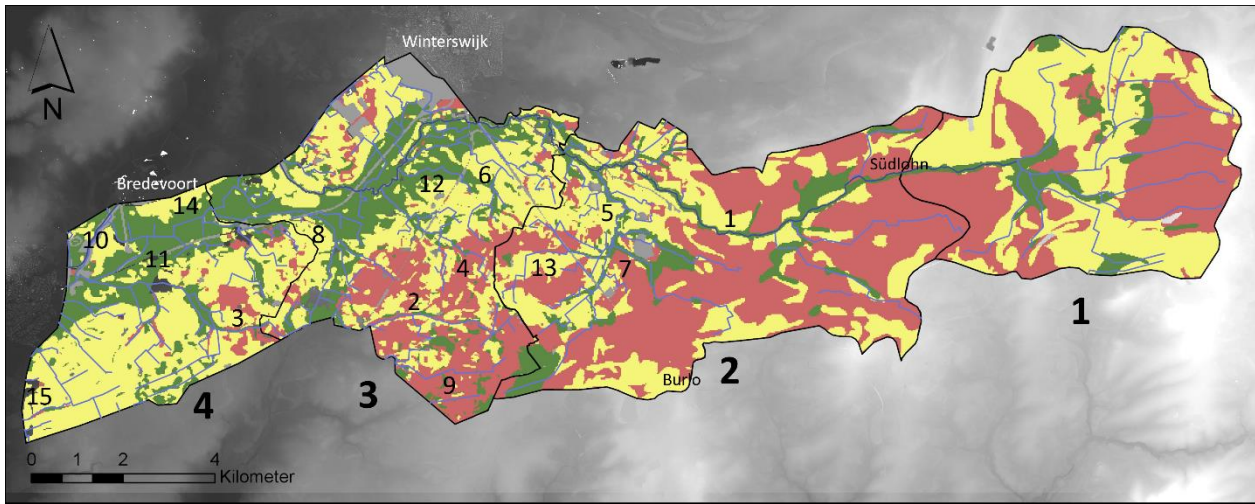
In een autonoom scenario, waarbij de huidige aanpak wordt voortgezet en er geen extra maatregelen worden uitgevoerd, zullen de huidige knelpunten in waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit verder verslechteren door de voorziene klimaatveranderingen. Om het stroomgebied van de Boven-Slinge, zijn zijbeken en de bovenlopen van de Keizersbeek klimaatadaptiever te maken en de ecologische en hydrologische situatie te verbeteren, kunnen verschillende maatregelen worden ingezet. Deze maatregelen variëren in omvang (schaal), positie (waar in het landschap) en volgordelijkheid (welke maatregelen moeten eerst worden genomen?). De negatieve effecten van de knelpunten in het systeem hangen veelal met elkaar samen. Om de ecologie te verbeteren, zijn bijvoorbeeld zowel maatregelen op het vlak van de hydrologie als de waterkwaliteit nodig. Vanwege de samenhang tussen de effecten van de knelpunten is het werken met maatregelpakketten in plaats van het nemen van individuele maatregelen noodzakelijk.

Hieronder geven wij een globale ruimtelijke toedeling van de geselecteerde maatregelpakketten op basis van de systeembeschrijving van het stroomgebied weer. Het is zonder gedetailleerde analyse op het niveau van de afzonderlijke (sub)stroomgebieden niet mogelijk om de maatregelen in meer ruimtelijk detail in het gebied te plaatsen. De hieronder beschreven ruimtelijke toedeling dient dan ook te worden gezien als een 'gereedschapskist' waarmee gebiedsgericht de implementatie van de maatregelen nader bepaald kan worden.

Wij onderscheiden in de volgende paragrafen drie landschapszones, waar de landschappelijke bodemkaart klassen op serie niveau zijn ingedeeld, waarbinnen deze pakketten worden voorgesteld:

1. ondoorlatende plateaus en hellingen (Figuur 4.2);
2. plateaus met een doorlatende bovenlaag (Figuur 4.3);
3. de (van oorsprong) natte gebieden, die bestaan uit beekdalzones, doorlatende vlaktes en venen. Bij deze laatste zone worden ook de beken gerekend (Figuur 4.6).

De zones verschillen onderling vooral in de hoeveelheid water die er van nature geborgen kan worden. Zo kan op de ondoorlatende plateaus en de hellingen relatief weinig water geborgen worden door een combinatie van reliëf en ondoorlatende lagen in de ondergrond. Op de plateaus met doorlatende bovengrond is er relatief meer mogelijkheid tot waterberging in de bodem, omdat de ondoorlatende lagen op een iets grotere diepte liggen. Ten slotte zijn de van nature natte gebieden het geschiktst voor de berging van water door hun veelal lage ligging in het landschap. Sommige maatregelpakketten zijn toepasbaar in meerdere landschapszones en zullen daarom vaker genoemd worden.



Figuur 4.1 Overzichtskaart van het projectgebied en de indeling van de drie landschapszones. De dikgedrukte zwarte nummers geven de deelgebieden weer zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek, 15) Snijders Veerbeek.

4.1 Maatregelen per categorie van volgordelijkheid

De maatregelen voor klimaatadaptatie verschillen in volgordelijkheid, impact en ruimtelijke schaal waarop de maatregelen uitgevoerd moeten worden. De maatregelen die behandeld worden, hebben betrekking op drie verschillende aspecten, namelijk het verbeteren van 1) de waterkwantiteit, 2) de waterkwaliteit en 3) de habitatkwaliteit (o.a. watertemperatuur, substraatsamenstelling beekbedding) van de beken, beekdalen en hun intrekgebieden.

Hieronder zijn de individuele maatregelen die onderdeel uitmaken van de maatregelpakketten beknopt weergegeven en gerangschikt op volgordelijkheid, omdat bepaalde aanpassingen nodig zijn om andere (lagere volgordelijkheid) te laten werken. De onderstaande tabellen geven een overzicht *welke* maatregelen *waar* (landschapszones) genomen dienen te worden. Daarbij wordt vermeld wat de *impact* (gescoord d.m.v. groot, middel, klein) van de maatregelen is en voor welk van de bovengenoemde doelen dat geldt. Ook geeft de tabel weer wat de *ruimtelijke schaal* is waarop de maatregelen doorgevoerd moeten worden (stroomgebied, beek(dal) of beektraject) en voor welk (sub)stroomgebied de maatregelen toepasbaar zijn. Laatstgenoemde is een indeling op systeem-schaal, waardoor het voor sommige maatregelen (zoals beekdimensies) niet mogelijk is om zonder detailstudie van het substroomgebied aan te geven waar de maatregelen precies geïmplementeerd kunnen worden. Daarnaast is het belangrijk om te vermelden dat de impactscore gebaseerd is op de aanname dat de maatregelen optimaal worden uitgevoerd en op een dusdanig schaalniveau dat ze optimaal functioneren en zo de grootst mogelijke impact hebben. Het slechts ten dele uitvoeren van de maatregelen op een beperkt schaalniveau zal een aanzienlijke vermindering van de effectiviteit tot gevolg hebben.

Om de volgordelijkheid tussen maatregelen weer te geven, zijn de maatregelen in drie klassen onderverdeeld. De maatregelen met de classificatie *Primair (P)*; Tabel 4-1) vormen de basis die in orde moet zijn om de maatregelen van een lagere orde (volledig) effectief te laten zijn. Daarna komen de maatregelen geclassificeerd als respectievelijk *Secundair (S)*;

Tabel 4-2 en *Tertiair (T; Tabel 4-3)*. De volgordelijkheid van deze maatregelen is gericht op het verbeteren van de hierboven genoemde doelen (waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit) op *systemschaal*, waardoor sommige maatregelen die op lokale schaal een aanzienlijke impact kunnen hebben, toch als een secundaire of tertiaire maatregel worden gezien in dit overzicht. De *tertiaire* maatregelen zullen het effectiefst zijn wanneer aan de hogere orde-maatregelen wordt voldaan. Zo heeft beekdalbodempverhoging in een beekloop alleen impact wanneer de piekafvoeren vanuit het bovenstrooms gelegen gedeelte van het gebied gereduceerd zijn, omdat anders het aangebrachte sediment na verloop van tijd weer wegspoelt door te grote erosieve krachten. Binnen de classificaties *Primair*, *Secundair* en *Tertiair* is in de tabel geen verder onderscheid gemaakt in de volgordelijkheid. Een verdere specificatie hoe de maatregelen kunnen bijdragen aan de benoemde doelen wordt gegeven in de beschrijving van de maatregelpakketten in de onderstaande paragrafen.

Tabel 4-1 Overzicht van het Primaire (P) pakket van mogelijke maatregelen voor het stroomgebied van de Boven-Slinge. De genoemde substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek.

Maatregel	Zone (Ondoorlatende plateaus ⁽⁵⁾ , Plateaus met doorlatende bovengrond ^(D) , beekdal en vlaktes, incl. beken)	Impact (hydrologie, waterkwaliteit, habitatkwaliteit)	Ruimtelijke schaal (stroomgebied, beek, beektraject)	Toepasbaar op (sub) stroomgebied nr.
Pa	Verwijderen drainerende elementen: o.a. dempen van greppels en andere waterlopen en het verwijderen buisdrainage	Plateau ^{SD} , beekdal	Groot (Grondwaterstand, Waterkwaliteit) Klein (piekafvoer, basisafvoer)	Stroomgebied 1-15
Pb	Herstellen van (natuurlijke) drempels in het landschap en natuurlijke waterscheidingen	Plateau ^{SD} , beekdal	Groot (Grondwaterstand, piekafvoer, basisafvoer, Waterkwaliteit)	Stroomgebied 1-15
Pc	Gesloten kringloop landbouw	Plateau ^{SD} , Beekdal	Groot (Waterkwaliteit)	Stroomgebied 1-15
Pd	Water langer vasthouden op landbouwpercelen bijv. d.m.v. walletjes	Plateau ^{SD}	Middel (Piekafvoer)	Stroomgebied 1-15
Pe	Functiewijziging agrarische percelen op plateaus van akkerbouw naar grasland, heide of natuurlijk grasland.	Plateau ^{SD}	Groot (Waterkwaliteit) Klein (Grondwaterstand, piekafvoer, basisafvoer)	Stroomgebied 1-7, 9, 12, 13
Pf	Functiewijziging agrarische percelen in beekdalen van akkerbouw naar grasland.	Beekdal	Middel (Waterkwaliteit, Habitatkwaliteit) Klein (Grondwaterstand (-), piekafvoer, basisafvoer (-))	Beek 1-3, 5-8, 10-12, 14
Pg	Beekdal bebossen	Beekdal	Groot (Waterkwaliteit, Habitatkwaliteit) Klein (piekafvoer)	Beek 1-15
Ph	Oppervlakkig bergen oppervlaktewater (regenwaterbuffers)	Plateau ^S	Middel (piekafvoer) Klein (basisafvoer)	Stroomgebied 1-5, 7, 9, 13
Pi	Lozingen puntbronnen opheffen (o.a. RWZI effluent, industrieel proceswater)	Beek, beekdal	Groot indien invloed op watersysteem ver doorwerkt naar benedenstrooms (Waterkwaliteit, Habitatkwaliteit)	Beek 1-15
Pj	Aanpassingen aan het rioolstelsel waardoor overstorten gesaneerd kunnen worden of de frequentie of volume verminderd kan worden	Plateau ^{SD} , beekdal	Groot indien aantal en uitworp(frequentie) Groot (Piekafvoer, Waterkwaliteit, Habitatkwaliteit)	Beek 1-15
Pk	Verbeterde technieken en vermindering van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting	Plateau ^{SD} , beekdal	Middel (Waterkwaliteit)	Stroomgebied 1-15
Pl	Hellingen bebossen	Plateau ^{SD}	Middel (Waterkwaliteit, piekafvoer, oppervlakkige afspoeling verminderen)	Stroomgebied 1-7, 9, 13

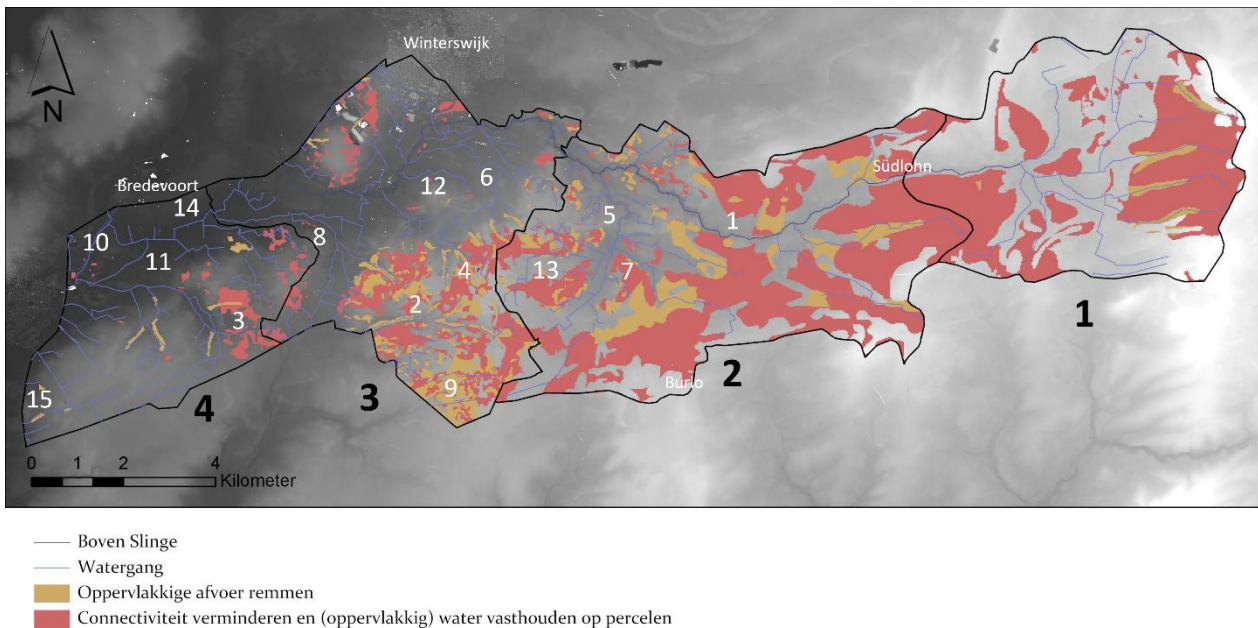
Tabel 4-2 Overzicht van het Secundaire (S) pakket van mogelijke maatregelen voor het verbeteren van de hydrologische situatie, de waterkwaliteit en habitatkwaliteit voor het stroomgebied van de Boven-Slinge. De genoemde substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek.

Maatregel	Zone (Ondoorlatende plateaus ^(S) , Plateaus met doorlatende bovengrond ^(P) , beekdal)	Impact (hydrologie, waterkwaliteit, habitatkwaliteit)	Ruimtelijke schaal (stroomgebied, beek, beektraject)	Toepasbaar op (sub) stroomgebied nr.
Sa Afvoersloten van rabatten dempen	Plateau ^{SD} , beekdal	Klein (grondwaterstand)	Stroomgebied	1-15
Sb Omvorming van naaldhout naar loofbossen	Plateau ^{SD} , beekdal	Middel (basisafvoer)	Stroomgebied	1-15
Sc Verondiepen beekloop, toestaan inundatie beekdal	Beekdal	Groot (grondwaterstand, basisafvoer, piekafvoer, Habitatkwaliteit)	Beek	Detail onderzoek nodig

Tabel 4-3 Overzicht van het Tertiaire (T) pakket van mogelijke maatregelen voor het verbeteren van de hydrologische situatie, de waterkwaliteit en habitatkwaliteit voor het stroomgebied van de Boven-Slinge. De genoemde substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek.

Maatregel	Zone (Ondoorlatende plateaus ^(S) , Plateaus met doorlatende bovengrond ^(P) , beekdal)	Impact (hydrologie, waterkwaliteit, habitatkwaliteit)	Ruimtelijke schaal (stroomgebied, beek, beektraject)	Toepasbaar op (sub) stroomgebied nr.
Ta Hout laten liggen of inbrengen in de vorm van houtpakketten	Beekdal	Middel (piekafvoer), Groot (Habitatkwaliteit) Klein (grondwaterstand)	Beektraject	1-15
Tb Ontstuwen beken	Beekdal	Middel (Waterkwaliteit), Groot (Habitatkwaliteit)	Beek	Detail onderzoek nodig
Tc Versmallen beekloop (twee-fasen-profiel)	Beekdal	Middel (piekafvoer, Habitatkwaliteit) Klein (basisafvoer)	Beek	Detail onderzoek nodig
Td Ruimte creëren voor laten meanderen van beken	Beekdal	Middel (piekafvoer, Habitatkwaliteit) Klein (basisafvoer)	Beektraject	1, 5, 8
Te Inbrengen van meer organische stof in landbouwpercelen	Plateau ^{SD}	Klein (piekafvoer)	Stroomgebied	1-15
Tf Sterk belastende agrarische teelten op de aanliggende percelen langs de beken, zoals mais en bloembollen, te vervangen door intensief grasland	Beekdal	Groot (Waterkwaliteit, Habitatkwaliteit)	Beek	1-15

4.2 Ondoorlatende plateaus en hellingen



Figuur 4.2 Overzichtskartaal van het projectgebied en de locaties waar maatregelen voor ondoorlatende plateaus en hellingen kunnen worden toegepast. De dikgedrukte zwarte nummers geven de deelgebieden weer zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek, 15) Snijders Veerbeek.

4.2.1 Uit- en afspoeling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw.

De landbouw op de plateaus wordt omgevormd naar een situatie op basis van een gesloten stoffenkringloop. Door *verbeterde technieken* en *vermindering van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting (Pk)* vermindert voor gewassen de af- en uitspoeling van nutriënten, slib en toxische stoffen in het stroomgebied (aanzet tot circulaire landbouw). In het ideale geval wordt een *gesloten kringloop (Pc)* (volledig circulair) gerealiseerd. Dit betekent geen uit- en afspoeling van stoffen (nutriënten, slib en toxische stoffen) naar de beken. Door dit te combineren met de onderstaande pakketten kan een grotere impact worden gerealiseerd met zowel waterkwaliteits- als waterkwantiteitseffecten. De bovenstaande maatregelen zullen het meeste effect hebben in deelgebieden 1-3, waar veel landbouw bedreven wordt op de plateaus met een slecht doorlatende ondergrond. Op Nederlands grondgebied gaat het dan met name om de brongebieden/bovenstroomse deel van de Wooldse Waterleiding, Dambeek, Limbeek, Veenhuis Waterleiding, Schippersbeek en Osink-Bemersbeek, omdat hier veel slecht doorlatende lagen zeer dicht onder de oppervlakte voorkomen (Figuur 4.2).

4.2.2 Oppervlakkige afvoer op de hellingen remmen

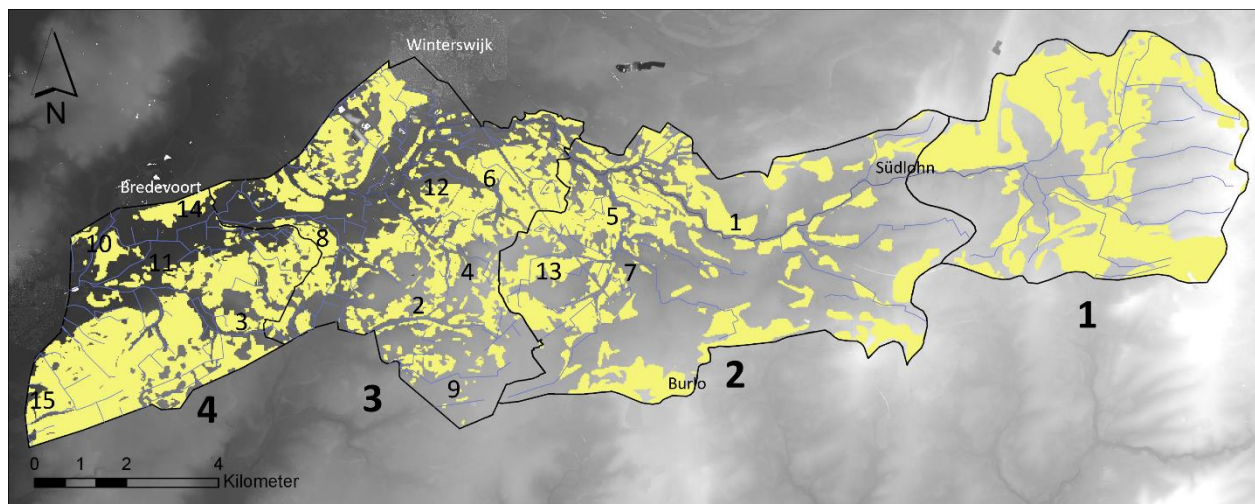
Door *hellingen te bebossen (PI)*, wordt de oppervlakkige afspoeling gedempt en verminderd. Hierdoor nemen piekafvoeren in de lageregelegen beekdalzones af en vermindert tevens de belasting van nutriënten, slib en toxische stoffen, omdat deze stromen in het bos worden afgevangen. Echter blijft zonder maatregelenpakket 1 de belasting van het hellingbos onverminderd groot. Zoals in Figuur 4.2 is te zien, is het bebossen van hellingen met name van belang in het Duitse gedeelte van het stroomgebied (deelgebied 1 en 2) van de Slinge, aangezien daar veel hellingen voorkomen. Desalniettemin is het van belang om ook in de meer stroomafwaarts gelegen deelgebieden 3 en 4 zo veel mogelijk de oppervlakkige afvoer op de hellingen te remmen, zoals in de brongebieden van de Wooldse Waterleiding, Dambeek en Veenhuis Waterleiding. Wel moeten eventuele *drainerende watergangen of andere structuren worden gedempt of geblokkeerd (Pa)* om

snelle afstroming via deze weg te voorkomen. De schaal van deze maatregel is kleiner dan voorgesteld in onderstaand pakket 3, waardoor de impact die gerealiseerd kan worden minder is.

4.2.3 Water langer vasthouden op landbouwpercelen en in bosgebieden op de plateaus om oppervlakkige afvoer te remmen en verdamping te reduceren.

Door middel van het verminderen van oppervlakkige afspoeling en het verhogen van het watervasthoudend vermogen van percelen, bijvoorbeeld via het *wijzigen van de landgebruiksvorm (Pe)* naar een beter watervasthoudend gewas of vegetatie (bijvoorbeeld van akkerbouw naar grasland) of het *inbrengen van meer organische stof (Te)* in de bodem in combinatie met *het dempen van greppels en andere waterlopen (Pa)* in het stroomgebied, verdwijnt neerslag minder snel naar de beken. Daarnaast is het *wijzigen van de landgebruiksvorm (Pe)* naar een landgebruik dat zorgt voor minder verdamping een belangrijke maatregel om het gebied te vernatten en de basisafvoeren te verhogen. Deze maatregelen dienen in ieder geval genomen te worden op het schaalniveau van het stroomgebied van de zijbeken van de Boven-Slinge (Tabel 4-1). Deze maatregelen kunnen bijvoorbeeld geïmplementeerd worden in de brongebieden van de Wooldse Waterleiding, Schippersbeek, Veenhuis Waterleiding, Limbeek, Osink-Bemersbeek en Dambeek. Daarnaast kan de connectiviteit tussen de (landbouw)percelen en de beekdalen worden verminderd. Dit kan door middel van het *aanleggen of herstellen van (natuurlijke) drempels (Pb)* in het landschap, zoals ruige vegetatie en walletjes langs percelen. In bossen met rabatten moet de afwatering uit het bos gestopt worden door de *afvoersloten te dempen (Sa)*. Water kan dan in de rabatten infiltreren. Omdat de bodem van nature weinig doorlatend is, zal water (tijdelijk) *oppervlakkig geborgen (Ph)* moeten worden in laagtes of eventueel bekkens die dienst doen als regenwaterbuffer *op de percelen tijdens hevige neerslag (Pd)*. Deze maatregelen moeten voornamelijk genomen worden in deelgebieden 1-3, aangezien de relatief ondoorlatende ondergrond in deze deelgebieden weinig tot geen ruimte biedt voor bodemberging. Consequentie van deze maatregelen is dat de afvoer in de beken gelijkmatiger wordt (piekafvoeren verminderen/verdwijnen). Dit heeft consequenties voor het waterkwantiteitsbeheer: dimensionering profielen, stuwen. Tevens wordt de belasting van nutriënten, slib en toxische stoffen verminderd, omdat de oppervlakkige afspoeling wordt gereduceerd. Echter blijft zonder maatregelpakket 1 de belasting van het systeem aanwezig. Wanneer pakket 1 en 3 worden gecombineerd, kan de grootste impact worden gerealiseerd.

4.3 Plateaus met een doorlatende bovengrond



- Boven Slinge
- Watergang
- Drainage en connectiviteit verminderen en waterbergend vermogen bodem verhogen

Figuur 4.3 Overzichtskaart van het projectgebied en de locaties waar maatregelen voor (plateaus) met doorlatende ondergrond kunnen worden toegepast. De dikgedrukte zwarte nummers geven de deelgebieden weer zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek, 15) Snijders Veerbeek.

4.3.1 Uit- en afspoeling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw.

De landbouw op de plateaus wordt omgevormd naar een situatie op basis van een gesloten stoffenkringloop. Door verbeterde technieken en vermindering van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting (*Pk*) vermindert voor gewassen de af- en uitspoeling van nutriënten, slib en toxische stoffen in het stroomgebied (aanzet tot circulaire landbouw). In het ideale geval wordt een *gesloten kringloop* (*Pc*) (volledig circulair) gerealiseerd. Dit betekent geen uit- en afspoeling van stoffen (nutriënten, slib en toxische stoffen) naar de beken. Door dit te combineren met de onderstaande pakket(ten) kan een grotere impact worden gerealiseerd met zowel waterkwaliteits- als waterkwantiteitseffecten. Dit maatregelenpakket is toepasbaar op het gehele stroomgebied van de Boven-Slinge (deelgebieden 1-4).

4.3.2 Water langer vasthouden op landbouwpercelen en in bosgebieden op de plateaus.

Door middel van het *inbrengen van organische stof* (*Te*) en het verminderen van oppervlakkige afspoeling op landbouwpercelen en *het dempen van greppels en andere watergangen en het verwijderen van buisdrainage* (*Pa*) (Figuur 4.4) in het stroomgebied verdwijnt neerslag niet direct naar de beken, maar infiltreert het veel meer lokaal in de bodem. Daarnaast is het *wijzigen van de landgebruiksvorm* (*Pe*) naar een landgebruik dat zorgt voor minder verdamping een belangrijke maatregel om de grondwaterstanden en de basisafvoer te verhogen. In bossen met rabatten moet de afwatering uit het bos gestopt worden door de *afvoersloten te dempen* (*Sa*). Ten opzichte van de landschapszone 'ondoorlatende plateaus en hellingen' is de infiltratiecapaciteit van de bodem groter, waardoor meer water kan worden vastgehouden en geleidelijk worden afgegeven. Daarnaast wordt de connectiviteit tussen de (landbouw)percelen en de beekdalen verminderd om piekafvoeren en oppervlakkige afspoeling te beperken. Dit kan door middel van het *aanleggen of herstellen van (natuurlijke) drempels* (*Pb*) in het landschap, zoals ruige vegetatie en walletjes langs percelen.

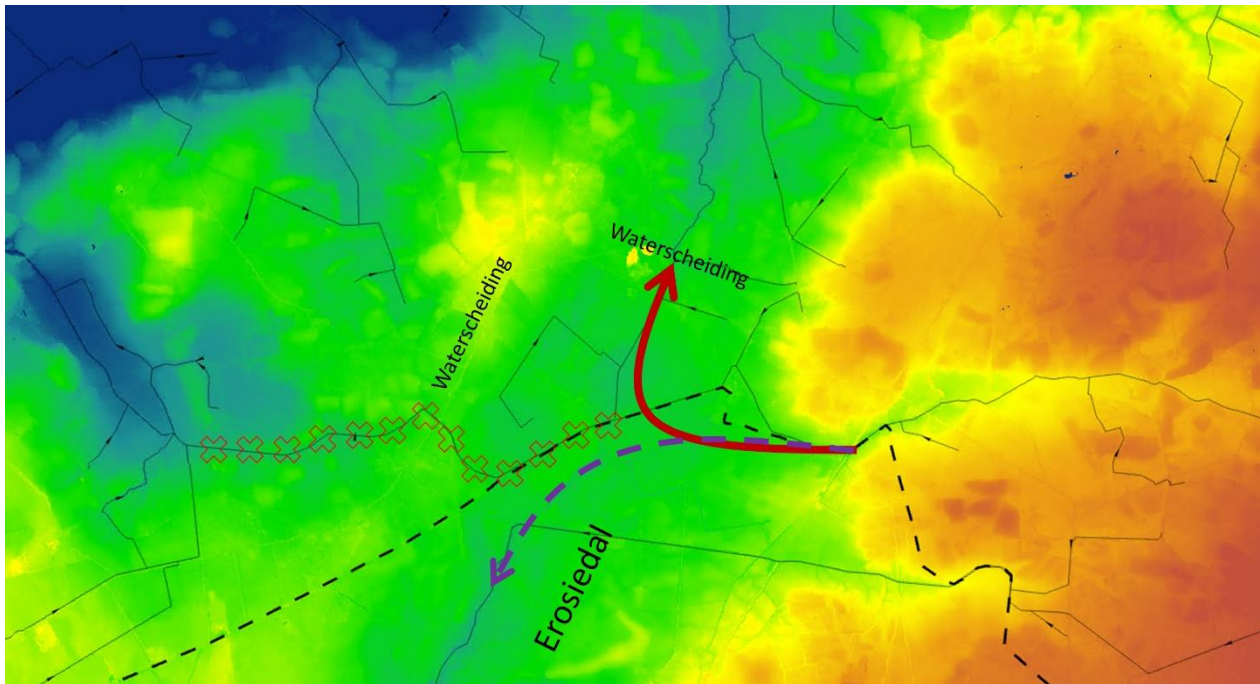


Figuur 4.4 Voorbeeld van het brongebied van de Stortelersbeek waar het uitvoeren van maatregelen Pa en Sa indicatief zijn geplaatst. Dit geeft een beeld van de ruimtelijk plaatsing van de maatregelen in het gebied; de exacte uitvoering van de maatregelen dient echter gebaseerd te worden op detailonderzoek, hetgeen in deze afbeelding niet is gedaan.

Een ingrijpendere maatregel is het *herstellen van natuurlijke waterscheidingen (Pb)* die in het verleden zijn doorgraven. Een belangrijk voorbeeld hiervan is de verbinding tussen de Dambeek en de Haartse Waterleiding. Hierbij is te zien dat er een verbinding is gemaakt tussen deelgebieden 3 en 4 die van nature niet aanwezig was. Door het doorgraven van de natuurlijke waterscheiding tussen de Haart en het Blekkinkveen en de aansluiting te creëren met de Dambeek is het stroomgebied, en daarmee de afvoer, van de Haartse Waterleiding sterk toegenomen. Daarnaast heeft het doorgraven van de natuurlijke waterscheiding ervoor gezorgd dat de Dambeek-Haartse Waterleiding nabij de Spiekerdijk een onnatuurlijk groot verval heeft, waarbij de watergang een hoogteverschil van ruim 3 m moet overbruggen binnen 500 m. Ter referentie: de natuurlijke laagte waar de Haartse Waterleiding doorheen stroomt benedenstrooms van de Spiekersdijk heeft een verval van circa 1 m over 500 m. Dit heeft als gevolg dat de Haartse-Waterleiding over een groot deel van zijn loop is beklinkerd om (verdere) insnijding te voorkomen. Hieruit blijkt dat de water/sedimentbalans en gradiënt van de waterloop niet in evenwicht zijn. Om wateroverlast benedenstrooms in het stroomgebied van de Haartse Waterleiding te voorkomen, is het aan te raden om de natuurlijke waterscheiding tussen de Dambeek en de Haartse Waterleiding te herstellen door het dempen van de watergang in dit gebied, zodat de afvoer wordt verminderd. Dit heeft als consequentie dat de afvoer van de Dambeek via een andere weg afgevoerd moet worden. Een mogelijkheid hiervoor is om het water in zuidwestelijke richting af te voeren door de natuurlijke laagte van het aanwezige smeltwaterdal, zoals het water ook voor menselijk ingrijpen zal hebben gestroomd (Figuur 4.5). Hiervoor is echter wel nauwe samenwerking met Duitsland nodig. Een andere mogelijkheid is om de afvoer van de Dambeek via de Stortelersbeek in noordoostelijke richting te leiden. Echter, ook hierbij zal dan *een natuurlijke waterscheiding doorgraven worden* en zal de afvoer van de Stortelersbeek aanzienlijk toenemen, wat grote gevolgen kan hebben, namelijk een toenemende mate van insnijding en (laterale) morfodynamiek, en daarmee ecologie (o.a. door kans op wegspoeling), van de Stortelersbeek.

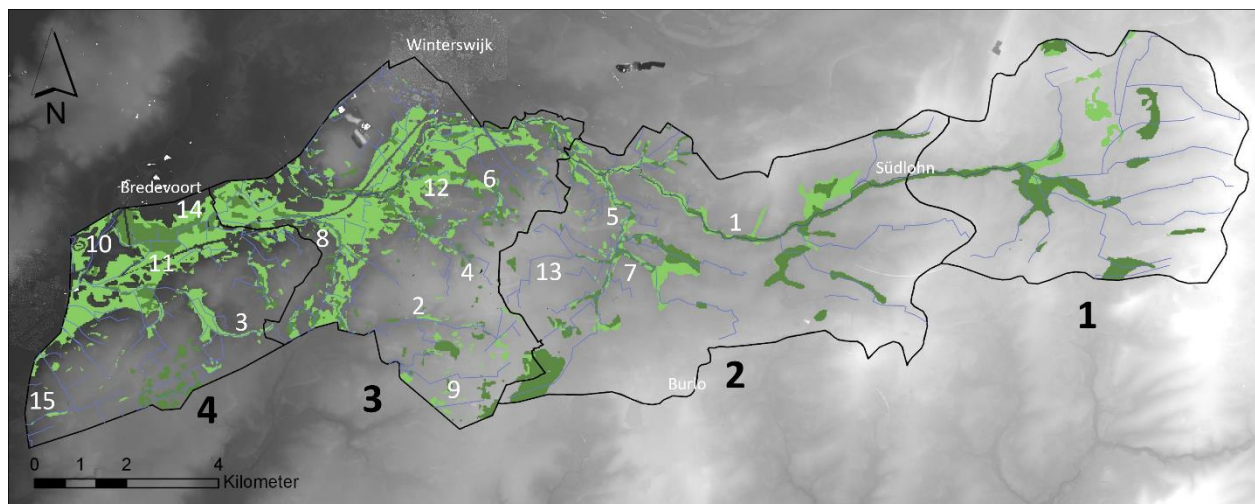
Wanneer er naaldbos aanwezig is, kan door *omvorming van naaldbout naar loofbossen (Sb)* de verdamping worden beperkt en er meer water worden vastgehouden. Consequentie van deze maatregelen is dat de afvoer in de beken gelijkmatiger wordt (piekafvoeren verminderen/verdwijnen). Dit heeft consequenties voor

het waterkwantiteitsbeheer: dimensionering profielen, stuwen. Tevens wordt de belasting van nutriënten, slib en toxische stoffen verminderd, omdat de oppervlakkige afspoeling wordt gereduceerd. Echter blijft zonder maatregelpakket 1 de belasting van het systeem aanwezig. Wanneer pakket 1 en 2 worden gecombineerd, kan de grootste impact worden gerealiseerd.



Figuur 4.5 Hoogtekaart van het gebied rond de aansluiting van de Dambeek op de Haartse Waterleiding. Geplaatste rode kruizen geven grofweg het traject dat gedempt zal moeten worden om een meer natuurlijke afvoersituatie te herstellen. De paarse pijl geeft de meest natuurlijke afvoerrichting en optie aan, hiervoor is echter wel nauwe samenwerking met Duitsland nodig. De rode pijl geeft een mogelijke afvoer via de Stortelersbeek weer, hierbij zal echter wederom een natuurlijke waterscheiding doorkruist worden.

4.4 Beekdalzones, doorlatende vlaktes en venen



- Boven Slinge
- Watergang
- Permanent water vasthouden en vertraagd afgeven (broekbossen en venen)
- Periodiek water bergen en infiltreren (overstromingsvlaktes)

Figuur 4.6 Overzichtsk kaart van het projectgebied en de locaties waar maatregelen voor beekdalzones, doorlatende vlaktes en venen kunnen worden toegepast. De dikgedrukte zwarte nummers geven de deelgebieden weer zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De substroomgebieden zijn: 1) Boven-Slinge, 2) Dambeek, 3) Haartse Waterleiding, 4) Limbeek, 5) Osink-Bemersbeek, 6) Siepersbeek, 7) Schippersbeek, 8) Stortelersbeek, 9) Wooldse Waterleiding, 10) Keizersbeek, 11) Stuwbeek Aalten, 12) Schepers Waterleiding, 13) Veenhuis Waterleiding, 14) Zwanenbroek, 15) Sniijders Veerbeek.

4.4.1 Uit- en afspoling stoffen verminderen middels verbeterde landbouwtechniek of nog effectiever het realiseren van kringlooplandbouw

De landbouw wordt omgevormd naar een situatie op basis van een gesloten stoffenkringloop. Door *verbeterde technieken* en *vermindering van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting (Pk)* vermindert voor gewassen de af- en uitspoeling van nutriënten, slib en toxische stoffen in het stroomgebied (aanzet tot circulaire landbouw). In het ideale geval wordt een *gesloten kringloop (Pc)* (volledig circulair) gerealiseerd. Dit betekent geen uit- en afspoling van stoffen (nutriënten, slib en toxische stoffen) naar de beken. Door dit te combineren met de onderstaande pakketten kan een grotere impact worden gerealiseerd met zowel waterkwaliteits- als waterkwantiteitseffecten. Op de korte termijn kan overigens ook een waterkwaliteitsverbetering worden gerealiseerd door *sterk belastende teelten op de aanliggende percelen langs de beken, zoals mais en bloembollen, te vervangen door (intensief) grasland (Tf)*, waardoor de uit- en afspoling van nutriënten, slib en toxische stoffen daalt. Echter beslaat dit maar een klein deel van het totale landgebruik in het onderzoeksgebied.

4.4.2 Beperking ontwatering in gedraineerde laagtes en beekdalen

Door het *verondiepen of dempen van sloten en greppels in laagtes (Pa)* wordt kwelwater minder snel afgevoerd en worden de oorspronkelijke kwelzones in laagtes en de beekdalen (gedeeltelijk) hersteld (Figuur 4.4). Dit komt ten goede aan de natuurlijke vegetaties in deze zones en de watervoerendheid van de beken. Bovendien worden piekafvoeren hiermee gedempt, omdat water vertraagd naar de beek wordt toegevoerd. Deze maatregelen kunnen bijvoorbeeld worden toegepast in de (boven)loop van de Siepersbeek, Stortelersbeek en Haartse Waterleiding, maar ook in de benedenstroomse delen van de Boven-Slinge in deelgebieden 3 en 4, waar de beek de natuurlijke, veelal zandige laagtes van de glaciële erosiedalen volgt. Een voorbeeld hiervan is de Stortelersbeek, die naar alle waarschijnlijkheid relatief sterk kwel gevoed is (Van der Hoek, 1997). Het beperken van de afvoer van kwel in de (boven)lopen van dit stroomgebied kan de watervoerendheid van de beek ten goede komen. Dit geldt voor zowel de huidige situatie, maar ook zeker

met het oog op de effecten van de verwachte klimaatveranderingen waarin extremen in droogte ervoor kunnen zorgen dat grondwateraanvulling in het bovenstrooms gelegen infiltratiegebied (d.w.z. o.a. op Duits grondgebied) onvoldoende is, wat zorgt voor een vermindering van de kweldruk en daarmee de watervoerendheid van de beek.

De vernatting door de te nemen maatregelen heeft als consequentie dat bij landbouwkundig gebruik de vernatte zone mogelijk een *functieverandering moet ondergaan (Pf)*, waarbij de delen die nu in intensief landbouwkundig gebruik zijn, worden omgezet in meer extensieve vormen van agrarisch landgebruik (bijv. grasland met extensieve beweiding) tot natuur die beter afgestemd zijn op de nieuwe hydrologische situatie. De functieverandering van de natte gebieden heeft tevens tot gevolg dat de belasting met nutriënten, slib en toxische stoffen wordt teruggebracht. Echter kan nalevering vanuit de bodem nog wel lange tijd spelen en eventuele ontwikkelingen naar natuurlijke vegetatietypen vertragen. Eventueel moeten doorsneden natuurlijke barrières die oorspronkelijk water in laagtes vasthielden, worden hersteld; dit kan door middel van het aanleggen of *herstellen van (natuurlijke) drempels in het landschap (Pb)*. Een voorbeeld hiervan is te vinden in het stroomgebied van de Haartse Waterleiding, waar de natuurlijke laagte tussen de Spiekerdijk en Haartseweg gebruikt zou kunnen worden voor dit doeleinde (Figuur 4.5).

4.4.3 Periodieke inundatie beekdalen als gevolg van aanpassingen aan het dwarsprofiel

Een verdergaande aanpak als uitbreiding op maatregelpakket 2 is dat de *beken worden ontstuwd (Tb), verondiept (Sc) en versmald (Tc) over de gehele lengte van de beken*. Hierbij kan worden gekozen voor het staken van maatregelen in de beek, zoals maaibeheer en schoning, maar ook *hout inbrengen (Ta)*, zodat het profiel verruwt en verkleint. Daarnaast kan er gekozen worden om de *beekbodem te verhogen (Sc)* door middel van suppletie van (gebiedseigen) sediment. Het is echter van belang om de afvoer te dempen alvorens de bodemverhoging te realiseren om erosie van de suppletie te voorkomen. De verhoogde beekbodem in combinatie met de verkleinde dimensies maakt het mogelijk dat de beek op plekken waar laagtes aanwezig zijn (bredere dalen) kan gaan inunderen bij hogere afvoeren; hierdoor worden piekafvoeren benedenstrooms nog verder gereduceerd. Voor deze maatregel is ruimte nodig. Het *beekdal en de oeverzone ondergaan daarom een functieverandering (Pf)*. Hierbij wordt het landbouwkundig gebruik gewijzigd in grasland met extensieve zomerbeweiding (in droge periode) en bij zeer natte omstandigheden naar palludicultuur. Uiteraard kan ook worden ingezet op natuurontwikkeling gericht op moerassen. Onder voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden kunnen op de lange termijn beekdalvenen en broekbossen tot ontwikkeling komen. Onder voedselrijke omstandigheden zijn dit eutrofe moeras(bos)typen. Ten slotte kan ervoor gekozen worden om *ruimte te creëren voor het meanderen van de beken (Td)* om hiermee de gradiënt van de beeklopen te verkleinen en zodoende de stroomsnelheden in de beken te verlagen. Dit heeft als bijkomend gunstig effect dat er meer variatie ontstaat in stroomsnelheden, wat gunstig is voor de ecologie. In de praktijk zal het vrijelijk meanderen van de beekloop door erosie en aanzanding beperkt zijn tot (delen van) de Boven-Slinge, Osink-Bemersbeek, Limbeek (benedenloop) en Stortelersbeek, omdat er alleen hier sprake is van zowel een gunstig (zandig) substraat, relatief goed te eroderen oevers en gunstige gradiënt van het beekdal. Met name in de bovenlopen zal ofwel het substraat (keileem/tertiaire klei) ofwel de stroomsnelheid nog onvoldoende zijn voor het ontstaan van vrijelijk meanderende geulen. Hier kan echter wel sprake zijn van sinueuze beeklopen door substraatdifferentiatie (bijv. harde (gesteente) lagen of de aanwezigheid van bomen langs de oevers van de lopen).

Ondanks dat normalisatie, kanalisatie en regulatie in alle beken voorkomen, zijn het met name de benedenlopen van de Boven-Slinge en haar substroomgebieden in deelgebieden 3 en 4 waarin het realiseren van een meer natuurlijk profiel van de beek een grote impact kan hebben ten opzichte van de huidige situatie. Een voorbeeld hiervan is vrijwel de gehele loop van de Haartse-Waterleiding, Siepersbeek, Schepers Waterleidingen Keizersbeek.

4.4.4 Beschaduwning beektrajecten in open landschap door bebossen beekdalzone

Op open plekken wordt *bosontwikkeling langs de beek (Pg)* toegestaan, zodat de beek beschaduwd raakt. Waterplantengroei wordt door gebrek aan licht dusdanig geremd dat het maaionderhoud van de beek achterwege kan blijven. Minder zoninstraling betekent temperatuuurdemping, waardoor vooral hoge maximumtemperaturen worden gereduceerd (tot ca. 5°C). Hoewel het aan te raden is om het bebossen van

de beekdalzone in alle stroomgebieden toe te passen, zijn het met name de beeklopen in deelgebied 4 die in de huidige situatie weinig tot geen beschaduwing kennen, wat aanleiding geeft tot het aanplanten van bomen langs deze beeklopen.

Bomen op de oever zorgen daarnaast voor de ontwikkeling van een onregelmatig beekprofiel, een gevarieerd beddingssubstraat en gradiënten in stroming (stromingsvariatie). Bosstroken vangen daarnaast de uit- en afspoeling van stoffen (nutriënten, slib en toxische stoffen) uit het aanliggende landbouwgebied gedeeltelijk af, waardoor een waterkwaliteitsverbetering kan worden gerealiseerd. Een locatie waar het bebossen van de beekdalzone een toegevoegde waarde kan hebben op de hydrologie, waterkwaliteit en beektemperatuur is bij de Siepersbeek. Door hier een beboste beekdalzone te ontwikkelen, in combinatie met aanpassingen in het dwarsprofiel, kan de drainagebasis worden verhoogd, wat een gunstig effect op de grondwaterstanden in de beekdalzone zal hebben, met name op de aangrenzende dekzandruggen. Daarnaast zal bebossing de bovengenoemde positieve effecten met betrekking tot een onregelmatig beekprofiel en vermindering van de nutriëntbelasting met zich meebrengen.

4.4.5 Waterkwaliteitsverbetering beken door aanpak puntbronnen.

De belasting van het beekstelsel met nutriënten, toxische stoffen en organisch slib kan worden teruggedrongen door *alle puntlozingen in het gebied te saneren (Pi)*. Het gaat hierbij met name om RWZI-effluent in de Slinge, afkomstig van de zuivering bij Oeding in Duitsland. Ook komen in Duitsland verder bovenstrooms IBA's voor. Door het toevoegen of verbeteren van processtappen in de zuiveringsketen kan schoner effluent worden gerealiseerd. In het Nederlandse deel is één puntbron in de vorm van een hemelwateroverstort bekend bij Kotten. Door *aanpassingen aan het rioolstelsel* door te voeren, kan deze overstort worden gesaneerd (*Pj*) of kan deze zo worden aangepast dat de uitworp van overstortingen (frequentie of volume) verminderd kan worden.

4.5 Beoordeling eerder voorgestelde oplossingsrichtingen en vergelijking met de voorgestelde maatregelen

In een in de jaren negentig van de vorige eeuw uitgevoerde studie naar het plan van aanpak voor het beheer van het natte profiel van de (semi)natuurlijke Winterswijkse beken, is door Van der Hoek (1997) een set aan oplossingsrichtingen gegeven voor de destijds geconstateerde knelpunten. Deze oplossingsrichtingen hebben we vergeleken met de maatregelen uit deze studie zoals die in de voorgaande paragrafen zijn geschetst (Tabel 4-4). Op basis van de geschiktheid voor het verbeteren van de waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit in relatie tot de voorspelde veranderingen hebben we de geschiktheid per oplossingsrichting gescoord aan de hand van de klassen 1) zeer geschikt, 2) beperkt geschikt, 3) ongeschikt en 4) niet beoordeeld. Geschiktheid is in deze context de mate waarin de oplossingsrichtingen overeenkomen met het gedachtegoed achter de in deze studie voorgestelde maatregelen en daarmee nog steeds zullen bijdragen aan het verbeteren van de huidige knelpunten in waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit. Over de categorie '4) niet beoordeeld' kunnen geen uitspraken gedaan worden zonder nader detailonderzoek.

Naast een inschatting van de geschiktheid is, waar mogelijk, per oplossingsrichting een koppeling gemaakt met een voorgestelde maatregel uit deze studie. De beperkt geschikte maatregelen zijn dusdanig gescoord, omdat het effect dat gehaald kan worden met deze oplossingsrichtingen slechts beperkt is op systeemniveau. Het toepassen van (duiker)stuwen t.b.v. afvoerspreiding/vertraging wordt gezien als een ongeschikte maatregel, omdat hiermee slechts lokaal en tijdelijk water vastgehouden kan worden en het stroming (die nodig is voor kenmerkende beekfauna) tegengaat, het zorgt voor verslibbing waardoor de habitat ongeschikt wordt voor veel beeksoorten en het zorgt voor barrières voor migrerende vissen. Het nietsdoen en ontwikkelingen volgen wordt als ongeschikt gezien, omdat de negatieve effecten van het huidige water- en landgebruik systeem zorgt voor zware knelpunten op het gebied van waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit, waarvan de droge zomer in 2018 een voorbeeld was. Nietsdoen zal derhalve resulteren in een verergering van de knelpunten onder de huidige en voorspelde klimaatveranderingen.

4.6 Noodzaak en urgentie van de te treffen maatregelen

De voorgestelde oplossingsrichtingen uit § 4.5 beschouwend, is het overgrote deel hiervan nog steeds toepasbaar en relevant voor de huidige situatie. De knelpunten die ten grondslag lagen aan de voorgestelde maatregelen uit het rapport van Van der Hoek (1997) zijn nog steeds aan de orde en zullen met het oog op de effecten van klimaatverandering (meer extremen in droogte en neerslag) alleen maar toenemen in urgentie. *Adaptatie tegen de negatieve effecten van huidige en toekomstige klimaatveranderingen is dan ook noodzakelijk. Het is daarom van groot belang om op korte termijn te beginnen met het implementeren van maatregelen om een meer natuurlijk bodem- en watersysteem te realiseren, dat bijdraagt aan het verbeteren van de waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit.*

Dit vraagt om *grootschalige en langdurige aanpassingen in het watersysteem en landgebruik in het gebied* (vergelijkbaar met de omvang van de aanpassingen die in het verleden zijn gedaan om het gebied geschikt te maken voor de huidige functies), die gericht zijn op het langer vasthouden van water in de brongebieden, het omhoogbrengen van grondwaterstanden in het gehele gebied (beekdalen en plateaus), het dempen van piekafvoeren in het watersysteem, het reduceren van afspoeling van nutriënten en toxische stoffen uit diffuse bronnen, het tegengaan van lozing uit puntbronnen, het reduceren van de toename van de watertemperatuur en (tijdelijke) zuurstofloosheid en het tegengaan van droogval of stagnatie van water in de watergangen. Het is hierbij aan te raden om in de bovenstroomse brongebieden (plateaus) te beginnen met het implementeren van de maatregelen, omdat deze ook zullen doorwerken in de lagergelegen delen van het gebied.

De mate waarin de maatregelen effectief zullen zijn in de tijd is variabel. Zo is het reduceren van nutriëntbelasting uit diffuse bronnen en het bebossen van beekdalzones een relatief langzaam proces, waardoor deze maatregelen niet voor 2027 voldoende effectief zullen zijn. Maatregelen zoals het inbrengen van hout in de beekgeulen kunnen wel op korte termijn doorgevoerd worden, waardoor er lokaal een positief effect op kan treden voor 2027. Op de korte termijn kan het saneren van puntbronnen en het realiseren van verbeterde zuivering een belangrijke stap vormen in het verbeteren van de waterkwaliteit. Daarnaast is het grootschalig verwijderen van drainerende elementen in het gebied een maatregel die op korte termijn de piekafvoeren in de geulen kan reduceren en tevens bij kan dragen aan het langer vasthouden van water in de brongebieden.

Bovenstaande benadrukt nogmaals dat het noodzakelijk is om zo snel mogelijk te beginnen met het grootschalig uitvoeren van de voorgestelde maatregelen. *Alleen door het uitvoeren van de maatregelen op grote schaal (die van stroomgebieden) is het mogelijk om ten minste een deel van de negatieve effecten van de voorspelde toekomstige klimaatverandering te compenseren en de situatie voor de hydrologie, water- en landnatuur lokaal te verbeteren.* Daarnaast is het essentieel om het Duitse gedeelte van het stroomgebied van de Boven-Slinge mee te nemen in de doelstelling om de waterkwantiteit, waterkwaliteit en habitatkwaliteit te verbeteren en klimaatadaptiever te maken, aangezien van nature een groot deel van de afvoer van de Boven-Slinge afkomstig is uit dit deel van het stroomgebied. In de huidige en de te verwachten toekomstige situatie is deze afvoer in de zomer minimaal of niet bestaand, hetgeen ervoor zorgt dat het benedenstroomse deel van de Boven-Slinge extra gevoelig is voor verdroging.

Tabel 4-4 Beoordeling van de geschiktheid van de in de jaren 90 van de vorige eeuw voorgestelde oplossingsrichtingen door Van der Hoek (1997) met betrekking tot verbetering van de waterkwantiteit, -kwaliteit en habitatkwaliteit in relatie tot de voorspelde klimaatverandering. Klassen: 1) zeer geschikt, 2) beperkt geschikt, 3) ongeschikt en 4) niet beoordeeld.

nr.	Oplossingsrichting (Van der Hoek, 1997)	Geschiktheid	Maatregel (deze studie)
1.1	Aanleg beplante bufferstroken ter vermindering invloeden van intensief landbouwkundig gebruik oeverlanden	1	Pg
1.2	Toepassing beheerlandbouw in oeverlanden	1	Pf
1.3	Omvorming van uit productie gekomen gronden tot natuurterrein	1	pf
2.1	Herziening situatie duikers en bruggen ter vermindering % oeverlengte bebouwd	4	nvt
2.2	Aanleg struikachtige beplanting tussen weg en beek, wanneer daarvoor ruimte is.	4	nvt
2.3	Verleggen tracé beek, verder van een weg af	4	nvt
2.4	Aanleg beplanting t.b.v. belasting door recreatie in bebouwd gebied	4	nvt
3.1	Toepassing drainage-sloten in bestaande buisdrainagestelsels, ter voorkoming van verdroging en demping afvoer naar hoofd- en zijwatergangen	4	nvt
3.2	Dempen van delen van watergangen: verhoging grondwaterstanden en -berging t.b.v. afvoervertraging	1	Pa
3.3	Verondiepen watergangen t.b.v. afvoervertraging	1	Sc
3.4	Extensiveren onderhoud aan watergangen t.b.v. afvoervertraging	2	Ta
3.5	Toepassing (duiker)stuwen t.b.v. afvoerspreiding/vertraging	3	nvt
4.1	Vervanging stuwen door kunstwerken die continuïteit van stroming beter waarborgen (b.v. cascades, duikerstuwen)	2	Tb
4.2	Aanleg stromende omleiding om bestaande te handhaven stuwen	2	Tb
4.3	Streven naar sanering van bestaande opstuwende kunstwerken d.m.v. afvoer vertragende maatregelen (Oplossingsrichtingen 3.1 t/m 3.5)	1	Pa, Pb, Sc, Tb, Tc, Td
5.1	Plaatselijk vergroten doorstroombroefiel ter vermindering hoogste stroomsnelheden; ook aanleg t.b.v. inundatie en her aansluiten oude beekmeanders als refugia	1	Sc, Tc, Td
6	Verbetering stromingsstructuur met Oplossingsrichtingen 4, 7 en 9	1	Pa, Pb, Sc, Tb, Tc, Td
7.1	Opheffen normalisatie (zie ook Oplossingsrichting 10)	1	Sc, Tc, Td
7.2	Opheffen regulatie (zie ook Oplossingsrichting 10)	1	Pa, Tb
8	Verbetering substraatdifferentiatie en samenstelling met Oplossingsrichtingen 4, 10, 7 en 9	1	Pa, Pb, Pg, Sc, Tb, Tc, Td
9.1	(Geleidelijk) vervangen machinaal onderhoud door handwerk	2	nvt
9.2	Extensiveren onderhoud (maai-/ruimfrequentie)	2	nvt
10.1	Beekbegeleidende beplanting	1	Pg
11.1	Verminderen invloed/ evt. saneren huishoudelijke lozingen en melktankspoeling (deels vervat in Gemeentelijke Rioleringsplannen)	1	Pi
11.2	Vermindering periodiek belasting door riooloverstorten en straatputten	1	Pj
11.3	Vermindering belasting door effluent van RWZI's	1	Pi
12.1	Opsporen en zo mogelijk saneren bronnen van waterbodemvervuiling	4	nvt
12.2	Nader onderzoek gedrag bestaande vervuiling, zonodig sanering vervuilde waterbodems	4	nvt
13	Terugkoppelen beoordelingsresultaten naar andere factorcomplexen, maatregelen conform dáár geconstateerde knelpunten; evt. keuze ander monsterpunt	4	nvt
14.1	Evaluatie levensomstandigheden visfauna (stroming, droogvalling, passerbaarheid): herstel meer permanente stroming en opheffen migratie-barrières	1	nvt
14.2	Uitzetten van vissoorten in potentieel waardevolle systemen met een sterk geïsoleerde ligging	4	nvt
15	Niets doen, ontwikkelingen volgen	3	nvt

5 Conclusies

In de inleiding van dit rapport hebben wij de onderstaande onderzoeksvragen geformuleerd. In schuingedrukte tekst geven wij hier de antwoorden op basis van ons onderzoek. Na de antwoorden op deze hoofdvragen geven wij de rode lijn van dit rapport weer.

Onderzoeksvragen en antwoorden

1. Landschapsecologische relaties:

- a. Hoe bepalen de oorspronkelijke relaties (vóór ingrijpen door de mens) tussen ondergrond, morfologie, grond- en oppervlaktewater en de bodem de mogelijkheden voor water- en landnatuur? *In grote lijnen wordt het gebied gekenmerkt door een gevarieerde geologie en geohydrologie met sterk ondoorlatende lagen in de ondiepe ondergrond in het oosten van het gebied. Hierdoor worden de aanvoer en aanvulling van grondwater beperkt en dit zorgt voor (sterk) fluctuerende grondwaterstanden. De afvoeren van beken die hun oorsprong hebben op een ondoorlatende ondergrond zijn dan ook sterk afhankelijk van de neerslag. In het verleden werd dit water vastgehouden en vertraagd afgegeven; er trad in het gebied een sterke sponswerking op. Hierin waren de doorstroommoerassen, venen en natte heiden in de laagtes en beekdalen die de oorspronggebieden van de beken vormden, bepalend. Deze habitattypen herbergden een grote biodiversiteit, zowel wat betreft flora als fauna. Verder benedenstreams konden beken inunderen bij hoge afvoer omdat er een graduele overgang was tussen beek en het dal dat fungeerde als overstromingsvlakte. De Boven-Slinge, zijn zijbeken en overige natuurlijke beken in het gebied herbergden een soortenrijke, voor laaglandbeken kenmerkende waterfauna, waarbij de soorten een preferentie hadden voor stroming, lage watertemperaturen (grondwatervoeding) en voedselarme en weinig organisch belaste omstandigheden. Daarnaast was er een duidelijke binding met de beboste oeverzone of met de beekbegeleidende moerassen (zie voor nadere toelichting de conclusies uit Hoofdstuk 2, onder 'Natuurlijke achtergrondsituatie en de Referentie situatie (begin 20^e eeuw)' hieronder).*

- b. Hoe heeft het menselijk handelen deze relaties beïnvloed en daarmee de mogelijkheden voor water- en landnatuur veranderd?

Door toenemende invloed van de mens, met name in de 20^e eeuw, is het landschap verdroogd. De combinatie van ontginning van de natte habitattypen, de aanleg van drainagesloten en het graven van nieuwe waterlopen ten behoeve van de landbouw en normalisatie, kanalisatie en regulatie van de beken, heeft de sponswerking van het gebied tenietgedaan en de beekafvoer van min of meer stabiel naar sterk dynamisch gewijzigd. De natuurlijke afwatering is hierdoor sterk verstoord. Een vergroting van de afvoerpieken heeft geleid tot diepe insnijding met verdroging van het beekdal tot gevolg en de versnelde afvoer tot lage tot geen afvoer in droge perioden. Met name in de zomer zakken de grondwaterstanden steeds verder uit en komt steeds meer droogval van beken voor. Landbouw is dominant geworden in het gebied, mede mogelijk gemaakt door de intensieve ontwatering, zowel op de plateaus als in de beekdalen. Intensief agrarisch gebruik van de percelen en urbanisatie heeft geleid tot verhoogde concentraties nutriënten en toxische stoffen in grond- en oppervlaktewater, afkomstig uit diffuse en puntbronnen en een verhoging van de sliblast in de beken. De intensievere ontwatering, sterke toename en intensivering van het landbouwareaal, de toename in bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen hebben de kwaliteit en kansen van soortenrijke land- en waternatuur doen afnemen. Hierdoor zijn de kansen voor van oorsprong voorkomende natte landnatuurtypen zoals natte heide en broekbossen afgenomen en zijn veengebieden verdwenen. Door de sterke verstoring van het systeem zijn veel karakteristieke soorten teruggedrongen in lokale populaties, waar ze zich tot op heden lokaal weten te handhaven in het gebied op plekken waar de milieuomstandigheden nog gunstig zijn. Voor de waternatuur zijn kerngebieden de Slinge en Osink-Bemersbeek waar nog veel kenmerkende soorten macrofauna en vis aangetroffen kunnen worden. Hierin speelt het relatief grote verhang en de jaarrond permanente afvoer een belangrijke rol. Ook zijn hier langs de beken relictpopulaties van grondwaterafhankelijke natuur aan te treffen. Dit biedt kansen voor systeemherstel, waarbij deze relicten kunnen fungeren als bronpopulaties.

-
2. Hoe zal klimaatverandering, zonder herinrichting van het gebied, ingrijpen op het ecohydrologisch functioneren van het gebied en welke consequenties heeft dat voor de landschapsecologische relaties? Relevante klimaatscenario's hierbij zijn (inclusief de bijstelling op basis van het Klimaat signaal '21 (zie [KNMI – KNMI'14-klimaatscenario's](#))):
- W_L2050: warm scenario met beperkte verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - W_H2050: warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2050
 - W_H2085: warm scenario met grotere verandering van luchtstromen, verwachting voor 2085
- NB De scenario's van 2023 zijn in deze studie niet meegenomen, omdat het onderzoekswerk reeds was afgerond toen deze werden gepubliceerd en toen ook nog niet waren doorgerekend in hydrologische modellen voor het betreffende gebied.

Onder invloed van klimaatverandering treden drie veranderingen op die kunnen worden gezien als een verslechtering van de huidige situatie:

- toename van de afvoer in de winter en het gedurende alle seizoenen vaker optreden van piekafvoeren die groter van omvang kunnen zijn;*
- afname van de afvoer in de zomer, met als gevolg lage beekafvoeren en het vaker, eerder en langduriger optreden van perioden van stagnatie of (gedeeltelijke) droogval van de beekbedding;*
- stijging van de watertemperatuur (jaarrond) en het vaker, eerder en langduriger optreden van extreme temperaturen in de zomer, waardoor de verdamping in deze perioden toeneemt wanneer water beschikbaar is voor planten en plantengroei beperkt wordt waar dit niet het geval is.*

Op de waternatuur heeft dit de volgende gevolgen:

- verdere insnijding van de beken door piekafvoeren, met meer verdroging van aanliggende gronden tot gevolg;
 - verlies van heterogeniteit van de beekbedding door wegspoelen organische substraten bij piekafvoeren en verslibbing bij lage afvoeren;
 - sterkere belasting van het systeem met stoffen en slib, hogere temperaturen en droogval versnellen de afbraakprocessen in de beekbedding, heftige buien leiden tot meer inspoeling van stoffen vanuit aanliggende gronden;
 - veranderingen in de levensgemeenschappen, warmte- en droogtegevoelige soorten verdwijnen.
- Daarnaast is er nu al een verschuiving zichtbaar van natuurtypen van natte vochtige groeiplaatsen naar die van droge groeiplaatsen in de landnatuur, iets dat verder zal toenemen.*
- Op dit moment hebben alle wateren in het gebied al te kampen met negatieve effecten van klimaatverandering. De knelpunten in de huidige situatie geven aan waar de op dit moment gevoelige trajecten liggen in het gebied, waarbij de belangrijkste risicosignalen zijn:*
- stagnatie of droogval in laatste droge zomers, ii) diep ingesneden bedding,*
 - benedenstrooms overstort/lozingspunt, iv) geen bos langs de beek (onbeschadwd traject).*

3. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de huidige ecologische kwaliteit die direct samenhangt met de inrichting van het watersysteem te behouden en te versterken (gebiedsbreed, dus niet per se op de huidige plek)?

De problemen in het gebied worden voor een groot deel gestuurd door het bovenstroomse intensieve ontwateringsstelsel dat de haarvaten van het systeem vormt. Pas wanneer hier het water beter kan worden vastgehouden, kan worden geborgd dat benedenstrooms herstel kan optreden. Dit kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld drainerende structuren te verwijderen of ineffectief te maken (afdammen, niet meer maaien, sloten en greppels dempen), natuurlijke laagtes te laten inunderen, meer water te laten infiltreren in de bodem etc. Hierdoor wordt de afvoerdynamiek benedenstrooms gedempt, omdat water langzamer wordt afgegeven vanaf bovenstrooms. Hierdoor worden afvoerpieken kleiner en vermindert de kans op droogval. Hydrologische maatregelen zijn alleen effectief wanneer ze op systeemsschaal (het gehele stroomgebied van een beek waarvoor verbeterde condities nodig zijn) worden genomen, wel kunnen ze snel effect sorteren na de ingreep. In het licht van klimaatverandering zijn deze maatregelen cruciaal om de (ecologische) kwaliteit van het systeem te waarborgen. Meer benedenstrooms kan tevens worden ingezet op het bergen van water door de beek weer te laten inunderen. Hiervoor moeten echter wel de insnijdingen worden aangepakt (bijv. door aanvullen van bodemmateriaal, i.e. suppletie). Het hydrologisch herstel is nog maar een deel van de oplossing, want een ander probleem is de diffuse en puntbelasting met stoffen die remmend werken op de fysisch-

chemische en ecologische kwaliteit van de beeksystemen. Om te voorkomen dat stoffen van landbouwpercelen uit- of afspoelen, is ten minste optimalisatie van de landbouwkundige bedrijfsvoering of invoer van circulaire of natuurinclusieve landbouw noodzakelijk. Pas wanneer deze bronnen worden aangepakt, kan de waterkwaliteit in de beken worden verbeterd. Puntbronnen moeten worden gesaneerd en er moet worden ingezet op verbeterde zuiveringstechnieken van het effluent. De aanpak van diffuse belasting is een langetermijnmaatregel vanwege nalevering uit de bodem, maatregelen voor puntbronnen kunnen veel sneller effect sorteren. De aanpak van diffuse belasting vraagt net zoals de hydrologische maatregelen een aanpak op systeemchaal om effect te sorteren, de tijd tot het waarnemen van succes is lang vanwege nalevering. Ook vanuit klimaatverandering is de aanpak van verontreinigende/milieuvreemde stoffen van belang; met name stagnatie bij lage afvoeren (dus relatief hoge concentraties) in combinatie met hogere watertemperaturen leiden tot waterkwaliteitsproblemen en soms gezondheidsrisico's (bijv. bloei cyanobacteriën, vissterfte). Om de effecten van hogere temperaturen te mitigeren, is beschaduwning van de beken noodzakelijk, omdat dit een temperatuur dempende werking heeft. Het aanplanten van bomen langs beken heeft als neveneffect dat de stromings- en structuurvariatie in de beek wordt verhoogd, waar de fauna van profiteert. Hout inbrengen kan dit nog verder versterken.

Wat zijn binnen bovenstaande vraag 'quickwins' of 'no-regret'-maatregelen die op korte termijn (voor 2027) te realiseren zijn?

De grootste effecten zijn te verwachten van de grootschalige systeemmaatregelen bovenstrooms; dit vraagt echter langdurige gebiedsprocessen die meestal niet voor 2027 gerealiseerd kunnen worden. Gezien de urgentie in het licht van klimaatverandering moeten er ook nu acties worden opgepakt, zeker om de nog in het gebied aanwezige waarden te behouden voor grootschalige ingrepen kunnen worden uitgevoerd. We stellen dat snel kan worden gestart met de onderstaande maatregelen. Hierbij doen wij geen uitspraken over sociologische factoren die de haalbaarheid van de implementatie bepalen:

- Het zo veel mogelijk afdammen en/of niet meer maaien van drainagesloten om de afwatering te vertragen.
- Het uitvoeren van precisiebemesting op percelen om uitspoeling te voorkomen of anderszins verminderen van aanvoer van nutriënten vanuit de landbouw.
- Aanplanten van bomen langs de beken op open plekken om de watertemperatuur te dempen en structuurvariatie te verhogen. Dit kan tevens als bufferstrook dienen om inspoelen nutriënten te voorkomen.
- Aanpakken puntbronnen.
- Verbeteren habitatkwaliteit in beken door hout in te brengen.

4. Wat zijn de effectiefste maatregelen om, gezien het veranderende klimaat, de bodemberging maximaal te vergroten (ambitie is 100 mm) met minimale schade aan de gebruiksfuncties?

Uit de waterbalansberekeningen is het beeld van de klimaatverandering voor de watervoerendheid van de beken alarmerend te noemen. Om de afvoer in de zomer op peil te houden, zijn maatregelen nodig die zorgen voor meer bodemberging:

- Minder gewasverdamping, te denken valt aan minder intensieve landbouw, een beregeningsverbod en omzetting van bos/landbouwgrond naar natuurgraslanden/heide. Vanuit de waterbalans is het verminderen van de gewas verdamping het effectiefst om de afvoeren in de zomerperiode te verhogen.
- Een zeer sterke vertraging van de afvoer tijdens de winterperiode. Dit lukt niet met alleen het dichtn van sloten of het verwijderen van drains. De afwatering van natuurlijke laagtes zal ook moeten worden geblokkeerd om water in het gebied vast te kunnen houden, waarbij periodieke inundatie (water op maaiveld) kan plaatsvinden.
- Hogere grondwaterstanden in de beekdalen om ervoor te zorgen dat er minder water vanuit de beekgeul naar het watervoerende pakket kan infiltreren. Effectieve maatregelen betreffen een combinatie van minder onttrekkingen, verwijderen van ontwateringsmiddelen en het verondiepen van beken zelf. Ook het verleggen van rechtgetrokken beeklopen draagt bij aan het vertragen van de afvoer uit het stroomgebied. Beekdalen moeten in de winterperiode weer kunnen inunderen; dimensies van de beeklopen moet daarop worden afgestemd. Afvoer die niet door de beekloop plaatsvindt maar over de dalvlakte (stromende berging) zorgt voor een demping van de hydrodynamiek in de beek en heeft een vertragend effect op de afvoer uit het stroomgebied.

Gekoppeld aan vraag 5, is een specifiek te beantwoorden vraag wat een natuurlijk afvoerregime hier inhoudt. Met welke maatregelen is dit natuurlijke afvoerregime te bereiken?

Een natuurlijk afvoerregime houdt in dat de afvoeren van het watersysteem gedempt zijn en dus gelijkmatiger verdeeld over het jaar. Dit betekent concreet kleinere pieken in de afvoer en een hogere en constantere basisafvoer in de zomer om zo de kans op droogval te verminderen. Dit natuurlijke afvoerregime is te bereiken met het uitvoeren van de bovenstaande beschreven maatregelen onder de onderzoeksvragen 3 en 4 en zoals beschreven in Hoofdstuk 4. Vanwege klimaatverandering is herstel van afvoerregimes uit het verleden waarschijnlijk moeilijk haalbaar in de praktijk.

De studie laat zien dat het stroomgebied van de Boven-Slinge en de bovenlopen van de Keizersbeek in het huidige en toekomstige klimaat gevoelig is voor toenemende extreme droogte en neerslag. We hebben gezien dat deze gevoeligheid veroorzaakt wordt door de effectieve en grootschalige ontwateringsstrategie en door veranderingen van landgebruik in de afgelopen eeuwen. Het gebied wordt droger in de zomer. Daardoor neemt de kans op droogval of stagnatie van water in de Boven-Slinge, zijn zijbeken en de bovenlopen van de Keizersbeek sterk toe. Dit heeft nadelige gevolgen voor de flora en fauna in het gebied: soorten die niet tegen deze verdroging bestand zijn, zullen verdwijnen. Door het versneld afwateren van de hoger gelegen gronden spoelen tevens nutriënten uit de bodem. Deze stoffen verzamelen zich vervolgens in de beeklopen en hebben negatieve effecten op de flora en fauna.

Het is dan ook nodig dat het gebied zich aanpast aan de negatieve effecten van verdere klimaatverandering. Dit vraagt om grootschalige en langdurige aanpassingen in het watersysteem en in het landgebruik van het gebied. De gevraagde aanpassingen zijn gericht op het langer vasthouden van water in de brongebieden, het omhoogbrengen van grondwaterstanden in het hele gebied (in de beekdalen en op de plateaus) en het dempen van piekafvoeren van het watersysteem. Daarnaast zijn aanpassingen nodig om de afspoeling te verminderen van nutriënten en giftige stoffen naar de beeksystemen en om de watertemperatuur minder te laten toenemen. Op deze manier kan er toegewerkt worden naar een robuuster bodem-watersysteem dat voldoende (grond)water en bodemkwaliteit voor natuur, landbouw en andere gebruiksfuncties kan leveren.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., Verdonschot, R.C.M., De Vries, H.H., Groenendijk, D., Dijkstra, J.P. & Van Diggelen R., 2014. Effecten van maaibeheer op kleine zeggenmoerassen in beekdalen; effecten op vegetatiestructuur, microtopografie en faunagemeenschappen. Rapport nr. 2014/OBN183-BE. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Bakker, T.W.M., J. Kleijn & E. van Zadelhoff 1979. Duinen en Duinvalleien. TNO, Delft.
- Besse-Lototskaya, A., R.C.M. Verdonschot, P.F.M Verdonschot & J. Klostermann (2007). Doorwerking klimaatverandering in KRW-keuzen: cases beken en beekdalen: literatuurstudie. Alterra rapport 1536. Alterra, Wageningen.
- Besselink, Daan, Logemann, Dolf, Van De Werfhorst, Harmen, Jansen, André & Reeze, Bart, 2017. HANDBOEK ECOHYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE BEEKDALLANDSCHAPPEN. Amersfoort, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. STOWA 2017-05. 246 p.
https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/handboek-ecohydrologische-systeemanalyse-beekdallandschappen.021812.pdf
- Bijlsma, R.J., Van Delft, S.P.J., Jansen, J.A.M., Sierdsema, H. & Siepel, H., 2020A. Ecologisch beoordelingskader voor herstelprogramma's Natura 2000 Veluwe. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport 3036. 114 p. <https://edepot.wur.nl/532541>
- Bijlsma, R.J., Van Delft, S. P. J., Loeb, R & Bobbink, R., 2020B. Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap (OBN 2017-88-DZ). Driebergen, VBNE. OBN rapport 2020/OBN240-DZ. 180 p.
- Breman, B.C., Nieuwenhuizen, W., Dirkx, G.H.P., Pouwels, R., De Knegt, B., De Wit, E., Roelofsen, H.D., Van Hinsberg, A., Van Egmond, P.M. & Maas, G.J., 2022. Natuurverkenning 2050 – Scenario Natuurinclusief. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. Wot-rapport 136. 158 p. <https://edepot.wur.nl/558179>
- De Vries, Harm Peter, 2019. Het Woold; Een interdisciplinaire studie naar de ontginningsgeschiedenis en ruimtelijke opbouw van het landschap van het buurtschap Het Woold te Winterswijk tussen 800 en 1832. Groningen/Bronkhorst, Rijksuniversiteit Groningen. Masterscriptie Landschapsgeschiedenis Rijksuniversiteit Groningen 132 p.
- Dirkx, G.H.P., Smeerdijk, D.G. van & Haaster, H. van 1998. Historische ecologie van het Reestdal: een onderzoek naar historische referentiebeelden voor natuur. Assen, Stichting 'Het Drentse Landschap'.
- Ehlert, T., van den Boom, A. (1999) Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen. Merkblätter Nr. 17. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- Factsheets KRW Waterlichamen Waterschap Rijn en IJssel (2020)
Gelderland, Provincie, 2016A. Natura 2000-beheerplan Willinks Weust (62). Arnhem, Provincie Gelderland.
Gelderland, Provincie, 2016B. Beheerplan Natura 2000 64 – Wooldse Veen. Arnhem, Provincie Gelderland.
https://media.gelderland.nl/Natura_2000_Beheerplan_Wooldse_Veen_3686c86bcc.pdf
- Grond, Vincent, Maas, Gilbert, Kosian, Menne, Vreenegeoor, Ellen & Broks, Kees, 2021. De stadsgenese Cultuurhistorie en het natuurlijke systeem als gids voor klimaatadaptatie en stedelijke ontwikkeling. Amersfoort, STOWA en RCE. Rapport 2021-11. 37 p. <https://www.stadsgenese.nl/>
- Harkema, T. (2019) Channel pattern prediction in Dutch streams. MSc-thesis, Wageningen University, Wageningen, 66 p.
- Helpenstein, Anatol; Mulder, Vera L.; Heuvelink, Gerard B.M.; Okx, Joop P. (2021): Tier 4 maps of soil pH at 25 m resolution for the Netherlands. 4TU.ResearchData. Dataset. <https://doi.org/10.4121/16451739.v1>
- Hop, H., Moonen, J. (2021) Zeldzaamheid van de macrofauna van Nederlandse Binnenwateren op basis van de meetgegevens van de waterbeheerders. Rapportage Aqualysis, Zwolle.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

- Jalink, M.H. & A.J.M. Jansen, 1995. Indicatorsoorten deel 2: Beekdalen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen. Staatsbosbeheer i.s.m. VEWIN, IKC-Natuurbeheer en Kiwa, Driebergen.
- Jansen, P. C., Vries, F. de & Runhaar, J., 1999. Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden; Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Staring Centrum-rapport 694. 22 p. <https://edepot.wur.nl/297896>
- Jansen, P.C. & Runhaar, J.R., 2001. Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 367. 32 p. <https://edepot.wur.nl/32236>
- Julian, J.P., Torres, R., 2006. Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology* 76, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.11.003>
- Kemmers, R. H. & de Waal, R.W., 1999. Ecologische typering van bodems: Deel 1 Raamwerk en humusvormtypologie. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 667-1. 70 p. <https://edepot.wur.nl/298541>
- Kemmers, R. H., de Waal, R. W. & van Delft, S. P. J., 2001. Ecologische typering van bodems: Deel 3 Van typering naar kartering. Wageningen, Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 352. 55 p; p. <https://edepot.wur.nl/298541>
- Kemmers, R. H., Van Delft, S.P.J., Van Riel, M.C., Hommel, P.W.F.M., Jansen, A.J.M., Klaver, B., Loeb, R., Runhaar, J. & Smeenge, H., 2011. Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2140. 83 p. <https://edepot.wur.nl/164977>
- Kleinshans, M.G., Van den Berg, J.H., 2011. River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method. *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 721–738. <https://doi.org/10.1002/esp.2090>
- Kleijer, H., 2001. De bodemgesteldheid van de gebieden Winterswijk-Plateau en Winterswijk-West: Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Wageningen, Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 091. 90 p; p.
- Klijn, F., 1995. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification; with examples of ecoregions, ecodistricts and ecoseries of the Netherlands. Leiden, Leiden University. Phd Thesis p. <https://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%3A2961878/view>
- Liess, M. & van der Ohe, P.C. (2005) Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental toxicology and chemistry* 24: 954-965.
- Maas, Gilbert, Van Delft, Bas & Mol, Gerben, 2018. Geomorfologische analyse van de Raamvallei. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport 2918. 84 p. <https://edepot.wur.nl/467002>
- Maas, G. J., Van der Meij, M., Delft, S. P. J. van & Heidema, A.H. (2019). 'Toelichting bij de legenda Geomorfologische kaart van Nederland 1:50 000 (2019).' <http://legendageomorfologie.wur.nl/>. Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Makaske, Bart & Maas, Gilbert & Candel, Jasper. (2020). Handboek Geomorfologisch Beekherstel – Herziene Uitgave.
- Massop, H. T. L. (2019). Historische data en hydrologie van de Baakse Beek. *Stromingen: vakblad voor hydrologen*, 33(1), 61-74. <https://edepot.wur.nl/470882>
- Pottgieser, T., Paster, S. (2015) Fliessgewassertypenkarten Nordrhein-Westfalens. LANUV-Arbeitsblatt 25. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Recklinghausen.
- Provincie Gelderland (2019) Waterplan Gelderland 2010-2015. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Rinaldi, M., Mengoni, B., Luppi, L., Darby, S.E., Mosselman, E., 2008. Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend. *Water Resour. Res.* 44, 1–17. <https://doi.org/10.1029/2008WR007008>
- Runhaar, J., Jansen, P. C., Timmermans, H., Sival, F.P., Knol, W.C., Delft, S. P. J. van, Mekking, P., Gijsbertse, H.A. & Kramer, H., 2003a. Historische waterhuishouding en historisch grondgebruik in het waterschap Regge en Dinkel. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 801. 213 p. <https://edepot.wur.nl/154534>
- Runhaar, J., Jalink, M.H., Hunneman, H., Witte, J.P.M. & Hennekens, S.M., 2009. Ecologische vereisten habitattypen. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute. KWR 09.018.
- Runhaar, J., Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P., Verdonschot, R.C.M. & Hommel, P.W.F.M., 2013. Herstel broekbossen. Rapport nr. 2013/OBN169-BE. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Runhaar, Han & Hennekens, Stephan, 2014. 'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' Versie 3; Gebruikershandleiding. Wageningen, Nieuwegein, Utrecht, Alterra Wageningen UR, KWR Watercycle Research Institute, STOWA. 57 p. <https://www.synbiosys.alterra.nl/waternood/>

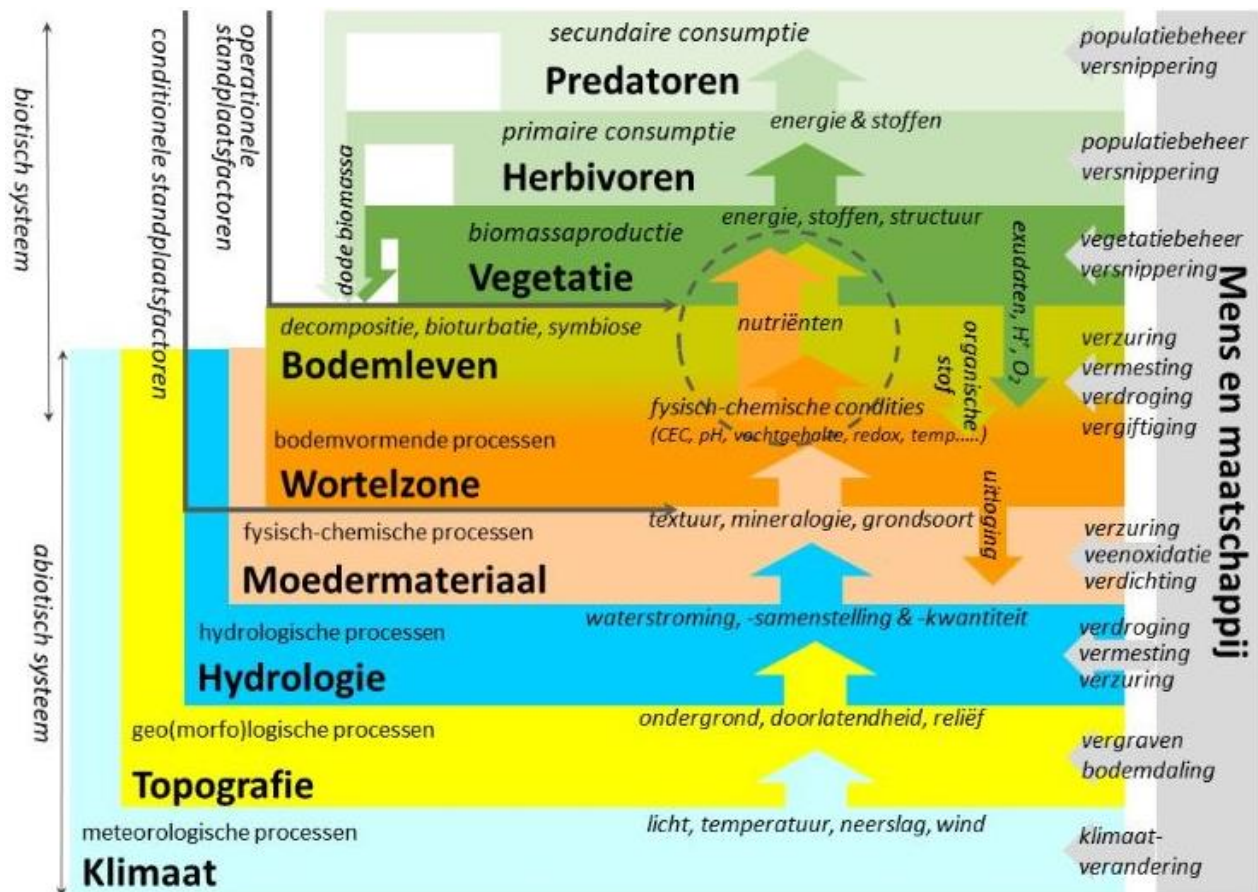
-
- Sevink, Jan, Delft, Bas van, Geujen, Corine, Schouten, Matthijs & Tweel-Groot, Loekie van 2014. De veenbasis: kenmerken en effecten van ontwatering, in relatie tot behoud en herstel van de Nederlandse hoogvenen; Een literatuurstudie. Driebergen, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE). OBN-rapport 2014/195-NZ. P. <https://edepot.wur.nl/327213>
- Sevink, Jan, Van der Linden, Marjolein & Jansen, André (2022). 'Peatland restoration based on a landscape (palaeo)ecological system analysis (LESA): the case of Aamsveen, eastern Netherlands.' *Mires and Peat* Volume 28 (2022), Article 23: 16 <http://www.mires-and-peat.net/>.
- Spikmans, F., M. Groen, M. de Vos (2020) Beekprik in de Achterhoek in tijden van droogte en lozingen. RAVON 22: 9-13.
- Tummers J. & Berndsen, J., 2022. Voorkomen van beekprik in de Boven-Slinge. Rapport 2021.191. RAVON, Nijmegen.
- Van Buuren, Michael & Maas, Gilbert, 2021. Quick scan ondergrond IJssel Vechtdelta: bouwstenen voor een visie op een robuust en veerkrachtig ecosysteem. Wageningen, Wageningen Environmental Research. WENR-Rapport 3127. 127 p. <https://wur.on.worldcat.org/oclc/1281112506>
- Van Delft, S.P.J., 2018. Natuurpotentie voor enkele percelen in Willinks Weust; Aanvullend ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek PAS/Natura 2000 Willinks Weust. Wageningen, WENR. WENR-Rapport 2913. 72 p. <https://edepot.wur.nl/464165>
- Van Delft, S. P. J. & G.J., Maas, 2018. LESA Verlengde nevengeul bij Junne. Wageningen, Wageningen Environmental Research (Alterra). WenR Rapport 2917. 78 p. <https://edepot.wur.nl/467150>
- Van Delft, Bas, 2021. Landschappelijke Bodemkaart Artilleriegeschietkamp Oldebroek. Wageningen, Wageningen Environmental Research. Notities 15 p.
- Van Delft, S. P. J. & Maas, G. J., 2022. De Landschappelijke Bodemkaart van Nederland; versie 2022. Wageningen, Wageningen Environmental Research. <https://bodemdata.nl/themakaarten>
- Van der Hoek, W., 1997. Plan van aanpak beheer van het natte profiel van de (semi-)natuurlijke Winterswijkse beken; beheervisie Winterswijkse beken. Arnhem, EcoQuest.
- Van der Molen, Peter C., Baaijens, Gert Jan, Grootjans, Ab & Jansen, André, 2010. LESA, Landschapsecologische Systemanalyse. Utrecht, Dienst Landelijk Gebied-SOI. P. https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/handleiding-lesa-van-der-molen-et-al.ebb03f.pdf
- Van der Molen, D.T., Pot, R., Evers, C.H.M., Van Herpen, F.C.J., Van Nieuwerburgh, L.L.J. (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027. Rapport 2018-49 3^e druk, STOWA, Amersfoort.
- Van der Molen, D.T., Pot, R., Evers, C.H.M., Buskens, R., Van Herpen, F.C.J. (2013). Referenties en maatlatten voor overige wateren (geen KRW-waterlichamen). Rapport 2013-14, STOWA, Amersfoort.
- D.T. van der Molen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu), R. Pot (Roelf Pot onderzoek- en adviesbureau), C.H.M. Evers (Royal HaskoningDHV), R. Buskens (Royal HaskoningDHV), F.C.J. van Herpen (Royal HaskoningDHV)
- Van Wirdum, G., 1979. Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. Proc. And Inf. CHO-TNO 25, The Hague, p. 66-82.
- Verberk, W. C. E. P., Verdonschot, P. F. M., Van Haaren, T., & Van Maanen, B. (2012) Milieu-en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna (No. 2012-19). Stowa.
- Verdonschot, R.C.M., Runhaar, J., Buijse, A.D., Bijkerk, R., Verdonschot, P.F.M. (2016) Doorstroommoerassen en moerasbeken; typebeschrijvingen en ontwikkeling maatlatten voor de biologische kwaliteitselementen. Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot, R.C.M, H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot & A. Besse (2007). Klimaatverandering en aquatische biodiversiteit. 1. Literatuurstudie naar temperatuur. Alterra rapport 1451. Alterra, Wageningen.

Bijlage 1 Methode Landschappelijke Bodemkaart en realisatiekansen en knelpunten voor land- en waternatuur

Achtergrond – Functie volgt vorm

De laatste jaren groeit het besef dat het voor een duurzame inrichting van gebieden wenselijk is om zo veel mogelijk uit te gaan van de potenties van deelgebieden voor de diverse doelen. En die potenties worden in hoge mate bepaald door de fysisch-geografische opbouw van het gebied (o.a. Grond et al., 2021). Denk daarbij aan de geologische, geomorfologische, hydrologische en bodemkundige eigenschappen die op een hiërarchische manier met elkaar samenhangen (Klijn, 1995; Kemmers et al., 2011). Volgens het principe 'Functie volgt vorm' worden doelen nagestreefd op de plekken waar deze met zo min mogelijk ingrepen (kosten) gerealiseerd en onderhouden kunnen worden (Bremner et al., 2022, zie ook <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Wettelijke-Onderzoekstaken/WOT-Natuur-en-Milieu/Show/De-bodem-is-onze-basis-Bodeminformatie-helpt-ons-bij-klimateuitdagingen.htm>).

- Bij **gebieden** denken wij dan op verschillende schaal van landelijk, Nederland tot regionaal: Provincie of Waterschap tot lokaal: natuur(ontwikkelings)gebied;
- De **doelen** kunnen variëren van functies als wonen, landbouw, natuur, waterberging, bedrijven en transport op landelijke of regionale schaal tot natuurdoelen op regionale en lokale schaal;
- Relevante fysisch-geografische **eigenschappen** hangen af van de doelen waarin wij geïnteresseerd zijn en de gebiedseigen fysisch-geografische opbouw. Belangrijke eigenschappen voor verschillende doelen zijn:
 - Reliëf, als motor voor hydrologische processen.
 - Moedermateriaal, als basis voor een groeiplaats en matrix voor grondwaterstromingen waarbij de stroming afhankelijk is van de doorlatendheid en de grondwatersamenstelling verandert door interactie met het moedermateriaal. Tevens relevant voor de draagkracht bij een aantal functies.
 - Bodemvorming onder invloed van de hydrologische positie tijdens de bodemvorming. Bodemeigenschappen zijn daardoor blijvend veranderd, met name door uitspoeling (podzolvorming) of aanvoer van stoffen (carbonaten, ijzer, zwavel) in kwelsituaties.
 - De actuele hydrologie die door veranderingen in landgebruik en de bijbehorende ingrepen in de waterhuishouding sterk kan afwijken van de referentiesituatie ten tijde van de bodemvorming. Hierdoor kunnen bodems anders functioneren dan wij zouden verwachten op basis van de fysisch-geografische positie. Hydrologische herstelmaatregelen, bijvoorbeeld bij natuurherstelprojecten, kunnen dat functioneren deels herstellen.
 - Bij een veranderend klimaat zoals wij dat nu al ervaren, met wijzigingen in verdeling van de neerslag, meer droogte, maar ook perioden met veel wateroverlast zijn eigenschappen als oppervlakkige afvoer/accumulatie, bergend vermogen en vochtleverend vermogen bepalend voor de effecten van klimaatverandering op de verschillende doelen.



Figuur B1.1 Verfijnd rangordemodde inclusief biotisch systeem en de invloeden van mens en maatschappij. (Van Belle, De Graaf, Van Loon bron: <https://www.natuurkennis.nl/thema-s/Landschapsecologische-systeemanalyse/lesa/lesa/>).

Omdat binnen de ecologie het belang van de fysisch-geografische positie en -relaties al veel vroeger als leidend gezien werd, is dit principe daar al eerder beschreven aan de hand van het 'rangordemodell' (Bakker et al., 1979). Het heeft daarna onder andere aan de basis gestaan van de bij (voorgangers van) WENR ontwikkelde ecologische bodemtypologie (Kemmers & De Waal, 1999; Kemmers et al., 2001) en De Landschapsleutel (Kemmers et al., 2011). Ook bij het opstellen van een 'Landschapsecologische systeemanalyse' (LESA) bepaalt dit model de denkwijze (zie <https://www.natuurkennis.nl/thema-s/Landschapsecologische-systeemanalyse/lesa/lesa/>). In Figuur B1.1 is dit rangordemodell weergegeven, waarbij tevens de invloed van mens en maatschappij is opgenomen.

De Landschappelijke Bodemkaart

De Landschappelijke Bodemkaart (LBK) is gebaseerd op de landschapsecologische indeling van de Landschapsleutel (Kemmers et al., 2011) en beschrijft de fysisch-geografische structuur van het landschap, gebaseerd op geomorfologie, bodem en de hydrologische positie ten tijde van de bodemvorming. Voor de interpretatie dient dit geëvalueerd te worden op basis van de huidige hydrologie en/of de toekomstige hydrologie na ingrepen in de waterhuishouding of verandering van het klimaat. De natuurlijke uitgangssituatie kan vergeleken worden aan de hand van de referentiehydrologie die geleid heeft tot de bodemvorming in de huidige bodems.

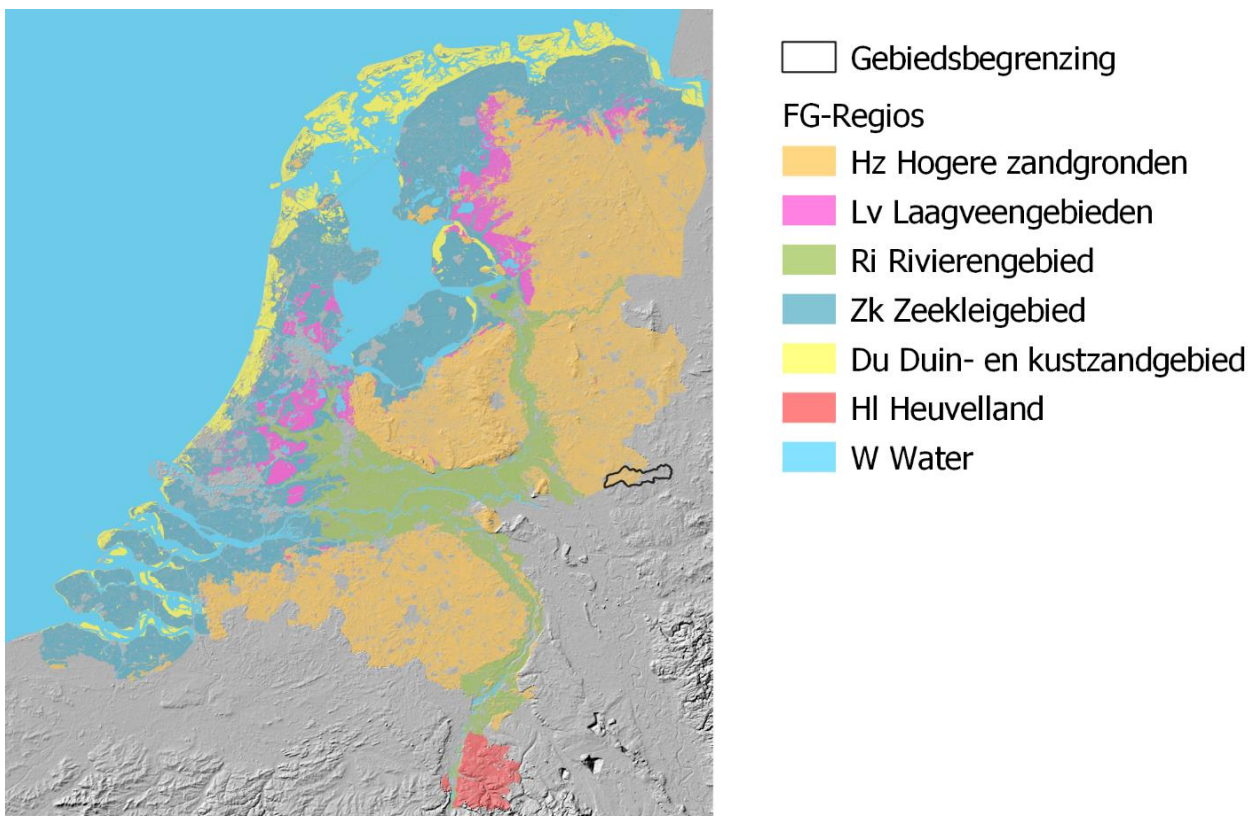
Ontwikkeling LBK

Bij het uitvoeren van Landschapsecologische Systeemanalyses (LESA's) is kennis van het abiotische systeem een essentieel onderdeel (Van der Molen et al., 2010; Besselink et al., 2017). Dit bepaalt immers de mogelijkheden voor natuurlijke vegetatie en daaraan verbonden de fauna (zie ook Figuur B1.1). Belangrijke informatie hierover ligt opgeslagen in de geomorfologische kaart en bodemkaart. In 2011 werd 'De Landschapsleutel' geïntroduceerd, als methode om deze mogelijkheden te verkennen en eventuele knelpunten in o.a. hydrologie en bodemchemie te bepalen (Kemmers et al., 2011). Gedurende het afgelopen

decennium is deze methode door WENR vaak toegepast voor diverse praktische inrichtingsvraagstukken (o.a. Maas et al., 2018; Van Delft, 2018; Van Delft & Maas, 2018; Bijlsma et al., 2020; Van Delft, 2021). Daarbij werd vaak een 'Landschappelijke Bodemkaart' (LBK) gemaakt, gebaseerd op de indeling van Landschapsleutel. In 2015 is een eerste versie van een landelijke LBK gemaakt op basis van de Geomorfologische kaart van Nederland en de Bodemkaart van Nederland. Daarbij is uitgegaan van de indeling van de Landschapsleutel, maar om technische redenen en wegens onvolkomenheden in de basisbestanden moesten er veel handmatige aanpassingen gedaan worden, waardoor de kaart niet reproduceerbaar was.

Hiërarchische indeling

De legenda van de LBK volgt de hiërarchische indeling van de eenheden van De Landschapsleutel (Kemmers 2011), met een aantal aanpassingen die in de loop der jaren zijn doorgevoerd. Er worden 6 fysisch-geografische regio's (FG-Regio's) onderscheiden, die zijn onderverdeeld in 24 FG-Secties en 97 FG-Series. Deze niveaus zijn puur hiërarchisch, daaronder komt nog het niveau van FG-typen voor, waarbij een FG-type voor kan komen bij verschillende FG-Series, zelfs binnen verschillende FG-Secties of FG-Regio's. De combinatie van een FG-Serie met een FG-Type noemen wij dan een FG-Eenheid. In Figuur B1.2 zijn de FG-Regio's voor heel Nederland weergegeven met de omgrenzing van het studiegebied. Het gehele studiegebied ligt in de Hogere zandgronden. De indeling van deze FG-Regio in FG-Secties en FG-Series is opgenomen in Tabel B1.1, waarbij de in het studiegebied voorkomende eenheden ingekleurd zijn volgens de legenda van de kaarten in Hoofdstuk 2. In Tabel B1.2 is aangegeven welke FG-typen voorkomen, waarbij in Tabel B1.3 een karakterisering gegeven is van deze eenheden naar moedermateriaal, vochttoestand, zuurbuffer en mineralen.



Figuur B1.2 Fysisch-Geografische Regio's volgens de Landschappelijke Bodemkaart Nederland, versie 2022. Het studiegebied is omljnd en valt geheel binnen de FG-Regio Hz Hogere zandgronden. Dat geldt ook voor het Duitse deel.

Tabel B1.1 FG-secties en FG-Series binnen de Hogere zandgronden. De in het studiegebied voorkomende eenheden zijn ingekleurd volgens de legenda van de kaarten zoals opgenomen in Hoofdstuk 2.

FG-Sectie		FG-Serie	
Code	Naam	Code	Naam
HzG	Glaciale gebieden	HzGSI	Lemige stuwwallen
		HzGSa	Leemarme stuwwallen
		HzGPI	Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen
		HzGPa	Leemarme puinwaaiers en smeltwaterafzettingen
		HzGK	(Kei)leemopduikingen
HzT	Tektonische terrassen in het zandlandschap	HzTL	Lemige terrassen
		HzTA	Leemarme terrassen
		HzTG	Grofzandige terrassen
		HzTK	Kleiige terrassen
		HzTW	Terraswanden
HzS	Stuifzandgebieden	HzSD	Landduinen
		HzSDF	Landduinen, Forten en Overstoven laagten
		HzSF	Forten en Overstoven laagten
		HzSL	Uitgestoven laagten
		HzSX	Stuifzandcomplexen
		HzSDa	Landduinen, actief
		HzSDFa	Landduinen, Forten en Overstoven laagten, actief
		HzSFa	Forten en Overstoven laagten, actief
		HzSLa	Uitgestoven laagten, actief
		HzSxa	Stuifzandcomplexen, actief
HzD	Dekzandgebieden	HzDA	Leemarme droge dekzandgebieden
		HzDL	Lemige dekzandgebieden en dekzand op leem
		HzDV	Vochtige dekzandlaagten
		HzDG	Grondwater gevoede vennen
		HzDR	Regenwater gevoede vennen
HzH	Hoogvenen	HzHL	Levend Hoogveen
		HzHD	Hoogveendijken en restruggen
		HzHO	Overgangsvenen in hoogveen
		HzHK	Veenkoloniën
HzB	Beekdalen en droogdalen	HzBB	Brongebieden en kwelgevoede beekdalen
		HzBN	Niet kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken
		HzBV	Beekdalvlakke
		HzBW	Beekoeverwallen
		HzBL	Beeklopen
		HzBD	Droogdalen
HzO	Oude bouwlanden	HzOZ	Zwarte eerdgronden
		HzOB	Bruine eerdgronden
		HzOK	Kleiige eerdgronden
		HzOL	Lage eerdgronden

Tabel B1.2 In het studiegebied voorkomende FG-Typen.

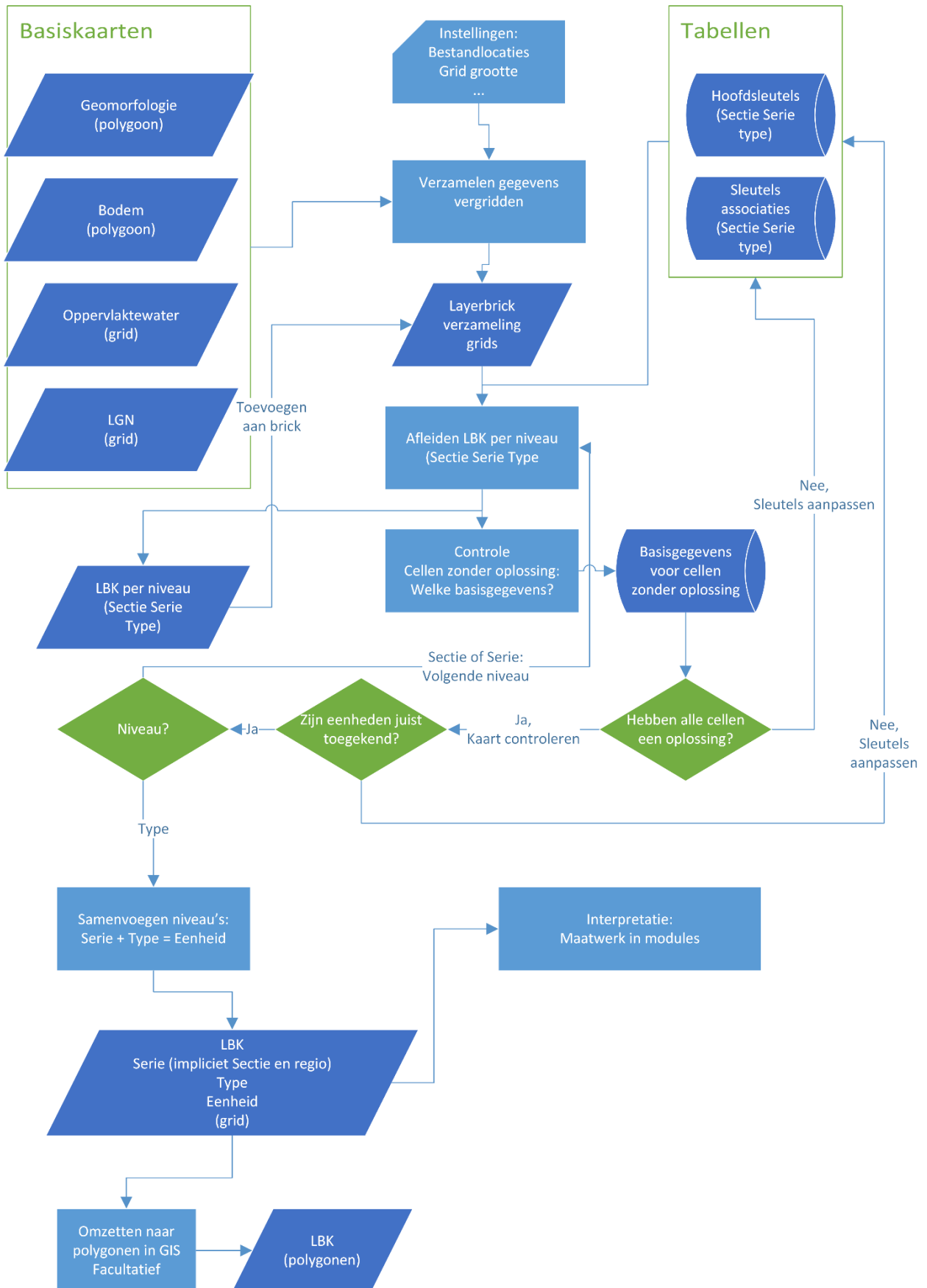
FG-Type	Oppervlakte (ha)
Fve Kleieerdgronden	2
FVn Klei op 'Verdronken veen' (in beekdal)	11
FZk Beek- of rivierkleien gevoed door lokale zwakke kwel	155
FZkf Beek of rivierkleien gevoed door lokale zwakke kwel, met een ijzerrijke bovengrond	37
Kie Oud bouwland met een bovengronden van klei of zavel	37
Oia Matig basenarme Oude rivierkleigronden	146
Sda Initiële droge basenarme zandgronden	12
Sva Initiële vochthoudende basenarme zandgronden	5
Ts Wisselvochtige tertiaire kleigronden (met schijnspiegels)	65
Vk Veengronden met matige regionale kwel	69
Vnh Voedselarm, zuur veen	9
Vv Eutrofe, matig basenrijke veengronden	4
VXs Moerige grond op keileem	45
VZk Moerige gronden op zand met sterke kwel	8
VZkf Moerige gronden op zand met sterke kwel, met een ijzerrijke bovengrond	0
VZn Moerige gronden op zand zonder kwel (overgangsvveen)	70
W Water	31
Xs Wisselvochtige mineraalrijke keileemgronden (met schijnspiegels)	3044
Xse Oud bouwland in keileem of tertiaire klei	21
Xsf Wisselvochtige mineraalrijke keileemgronden (met schijnspiegels), met een ijzerrijke bovengrond	3
Zdea Hoge zandgronden met een zwart bouwlanddek	1286
Zdey Hoge zandgronden met een bruin bouwlanddek	572
Zdh Droge voedsel- en basenarme zandgronden	21
Zdy Droge mineraalrijke zandgronden	239
Zk Zandgronden gevoed door zwakke kwel	1542
Zke Humeuze zandgronden met kwel (lage enkeerden)	201
Zkf Zandgronden gevoed door zwakke kwel, met een ijzerrijke bovengrond	130
Zva Basenarme zandgronden met lateraal toestromend zacht grondenwater	399
Zvh Vochtige voedsel- en basenarme zandgronden	2444
ZVk Veengronden met matige regionale kwel met zanddek	72
Zvr Initiële vocht- en basenhoudende zandgronden	4
ZXsh Voedel- en basenarme zandgronden met stagnerend regenwater en schijnspiegels	1464
D Dijk	86
NB Niet beoordeeld	332
NG Geen oplossing	10
NS Geen bodem gekarteerd	0
Eindtotaal	12576

Tabel B1.3 Karakterisering van in het studiegebied voorkomende FG-Typen.

		Moedermateriaal														
		Z	S	X	T	F	K	O	V	Moedermateriaal		Vocht		Zuurbuffer en mineralen		
Vocht	d	Zdy	Sda							Z	Zand	d	droog	r	baserijk	
		Zdh								S	Stuif- en duinzand	v	vochtig	a	basenarm	
		Zdea								G	Grof zand	n	nat	y	mineraalrijk	
		Zdey								L	Lössleem	s	stagnatie	h	mineraalarm	
	v	Zvr	Sva		Tv					Vv	X	Keileem of tertiaire klei	k	met kwel	f	ijzerrijke bovengrond
		Zvf								Vf	T	Tertiaire klei	z	zoet	e	eerdgrond
		Zva									F	Rivierklei	b	brak		
		Zvh									K	Klei (F of M)	u	buitendijks		
		ZXva									M	Zeeklei	i	ongedifferentieerd		
	n									Vnh	O	Oude rivierklei				
										VZn	V	Veen of moerig				
	s	ZXsh		Xs	Ts						R	Rots				
				Xsf							N	Niet beoordeeld				
				Xse							W	Water				
	k	Zk					FZk			Vk						
		Zkf					FZkf			Vkf						
		Zke								VZk						
		ZXky								VZkf						
		ZVk														
		ZVkf														
i						Kie	Oia									

Reproduceerbaarheid

Sinds 2020 is er gewerkt aan een nieuwe verwerkingsmethode door middel van een serie R-scripts en een verbetering van de sleutels. Ook zijn de basisbestanden die inmiddels opgenomen zijn in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) sterk verbeterd. Met name door de nieuwe legenda voor de Geomorfologische kaart (Maas et al., 2019) zijn de kaartenheden beter te vertalen naar de Fysisch-Geografische eenheden van de LBK. Aangezien binnen BRO voortdurend gewerkt wordt aan de verdere verbetering van de basisbestanden en er bij nieuwe toepassingen van de LBK soms nieuwe eisen gesteld worden aan de indeling, is reproduceerbaarheid van de methode van groot belang. De nieuwe aanpak die sinds 2020 gevolgd wordt, voorziet daarin. In Figuur B1.3 geven wij de verwerkingsmethode weer in een stroomdiagram.



Figuur B1.3 Algemeen stroomdiagram bij het afleiden van de LBK.

Landelijk tot lokaal

Binnenkort wordt een Landschappelijke Bodemkaart van Nederland gepubliceerd, zoals deze afgeleid wordt van de landelijke BRO-bestanden. Deze geeft een goed inzicht in landschapsecologische opbouw van Nederland en is geschikt voor regionale toepassingen. Bij meer lokale toepassingen, bijvoorbeeld in natuurgebieden, is vaak behoefte aan meer gedetailleerde informatie. Als er detailbodemkaarten beschikbaar zijn, is het mogelijk om ook een gedetailleerde LBK te maken. Hierbij wordt voor het deel waar detailbodemkaarten beschikbaar zijn, gebruikgemaakt van die meer gedetailleerde kaarten en voor de rest van het gebied van de BRO-kaarten.

Interpretatie voor natuur

De LBK kan gebruikt worden om, in combinatie met hydrologische informatie, een inschatting te maken van bijvoorbeeld de potenties voor verschillende vormen van natuur, geschiktheid voor bosbouw of effecten van klimaatverandering en mogelijkheden daarop in te spelen. Vergelijking van de huidige situatie met een referentiesituatie kan helpen om een knelpuntenanalyse uit te voeren en maatregelen voor te stellen. Aan de hand van modelberekeningen die het effect van maatregelen of klimaatverandering op de hydrologie zichtbaar maken, kunnen we kijken wat de verwachte effecten zijn bij elke toepassing en elk hydrologisch scenario.

Aangezien hydrologische informatie steeds meer beschikbaar is in gridkaarten zoals het 'Grondwaterspiegeldieptemodel' (<https://bodemdata.nl/basiskaarten> en <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/model-grondwaterspiegeldiepte-wdm/>) en hydrologische modellen de berekende GXG's per scenario meestal per gridcel opleveren, kan de variatie binnen kaartvlakken ook per gridcel benaderd worden. De LBK wordt als gridkaart bepaald en ook de referentiehydrologie is per gridcel ingeschat, hoewel in de huidige versie steeds per FG-Type een vaste waarde genomen is (zie § 2.2.2). Dat levert ook voor de interpretatie een gridkaart op.

Bij de beoordeling van potenties voor de natuur kijken wij wat de realisatiekansen zijn voor verschillende doeltypen bij de hierboven geschetste scenario's. Afhankelijk van de vraag toetsen wij dan de realisatiekansen voor N2000-habitattypen (specifiek in N2000-gebieden zie <https://www.natura2000.nl/profielen/habitattypen>) of SNL-Beheertypen (bij bredere toepassingen zie <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/>). In deze LESA beoordelen wij de beheertypen om een eenduidig gebiedsdekkend beeld te krijgen. Hierbij kijken wij wat de potentiële vegetatieontwikkeling is per FG-Eenheid, wat de standplaatsseisen zijn die daarbij horen en in hoeverre daaraan voldaan wordt in verschillende scenario's.

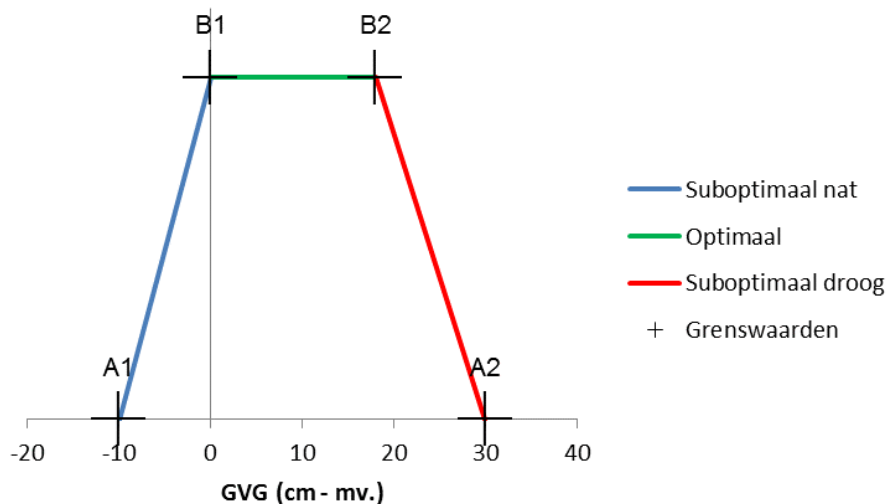
Potentiële vegetatieontwikkeling

Voor het inschatten van de potentiële vegetatieontwikkeling hanteren wij een lijst met doeltypen (SNL-Beheertypen of N2000-habitattypen) die potentieel voor kunnen komen binnen FG-Typen, zo nodig uitgesplitst naar FG-Serie. Deze lijst is opgesteld op basis van de lijsten met 'potentiële plantengemeenschappen' zoals gehanteerd in de Landschapsleutel (o.a. Kemmers et al., 2011; Van Delft et al., 2017a; Van Delft, 2018), de officiële beschrijvingen van habitattypen en beheertypen en expertkennis. Per FG-Type kunnen meerdere potentiële doeltypen verwacht worden, afhankelijk van de standplaatskenmerken (GXG, zuurgraad, nutriëntentoestand en saliniteit). Door het vergelijken van de actuele standplaatskenmerken of standplaatskenmerken in scenario's met de standplaatsseisen van de doeltypen beoordelen wij dan welk doeltype de hoogste realisatiekans heeft. Een dergelijke benadering is eerder toegepast bij een Quickscan ondergrond IJssel-Vechtdelta (Van Buuren & Maas, 2021).

Behalve de fysisch-geografische kenmerken die door de LBK beschreven worden en de standplaatscondities, is het beheer van doorslaggevend belang voor de ontwikkeling van potentiële doeltypen. Wij maken hierbij onderscheid naar beheer dat leidt tot korte vegetaties (maaien, begrazen) en beheer dat, in de Nederlandse klimatologische omstandigheden, leidt tot bos- en struweeltypen (niets doen of bosaanplant). Bij korte vegetaties kan ook onderscheid gemaakt worden naar type beheer, omdat maaien met afvoer (hooilandbeheer) in veel gevallen een ontwikkeling geeft naar andere vegetaties (en doeltypen) dan begrazing. Dat is in de huidige versie nog niet uitgesplitst en zal zeker bij beheertypen niet goed mogelijk zijn, omdat bijvoorbeeld in N10.01 'Nat schraalland' zowel gemaaide als begraaide graslandtypen voorkomen.

Standplaatseisen

De lijst met 'potentiële doeltypen' geeft aan welke doeltypen bij een FG-Eenheid (FG-Serie + FG-Type) potentieel voor kunnen komen, mits wordt voldaan aan de standplaatseisen en het juiste beheer. Om de abiotische condities (standplaatseigenschappen) binnen de FG- eenheid te kunnen vergelijken met de abiotische randvoorwaarden voor een doeltipe, hebben we vooral gebruikgemaakt van de abiotische randvoorwaarden zoals deze zijn geformuleerd in Waternood (Runhaar & Hennekens, 2014). Voor elk beheertype of habitattype zijn voor een aantal standplaatskenmerken grenswaarden aangegeven waarmee de optimale condities bepaald zijn (de groene lijn in Figuur B1.4); de grenswaarden worden dan aangeduid met B1 en B2. Daarnaast zijn er ook nog bereiken aangegeven waarbij het type wel kan voorkomen, maar waarbij de condities suboptimaal zijn (A1 – B1, blauwe lijn; B2 – A2, rode lijn). Buiten dit bereik (A1 – A2) zijn de omstandigheden ongunstig en is het voorkomen van een type onwaarschijnlijk. Als voorbeeld zijn voor een aantal habitattypen de grenswaarden voor de belangrijkste randvoorwaarden opgenomen in B1.4.



Figuur B1.4 Schematisch voorbeeld van de realisatiekansen voor een habitattype (H6410) bij de randvoorwaarden voor dat type (GVG).

Tabel B1.4 Abiotische randvoorwaarden voor enkele habitattypen volgens Waternood (Runhaar & Hennekens, 2014). De waarden -999 en 999 betekenen dat er geen ondergrens of bovengrens is voor de betreffende randvoorwaarde. Voor zuurgraad zijn de klassengrenzen gebruikt volgens de ecologische vereisten voor habitattypen (Runhaar et al., 2009).

		Grenswaarden									
		A1	B1	B2	A2			A1	B1	B2	A2
GVG	H4010A	-10	5	29	50	DSTRESS	H4010A	-999	-999	10	20
cm - mv.	H6230	5	48	999	999	Dagen/jaar	H6230	-999	-999	28	55
	H6410	-10	0	18	30		H6410	-999	-999	2	12
	H7230	-15	-2	15	35		H7230	-999	-999	4	12
	H9120	30	69	999	999		H9120	2	17	999	999
	H9160A	20	43	999	999		H9160A	-999	-999	18	25
	H91E0C	-30	2	27	80		H91E0C	0	0	0	0
GLG	H4010A	0	0	0	0	Zuurgraad	H4010A	3.5	3.5	2.8	0
cm - mv.	H6230	0	0	0	0	pH-KCl	H6230	6.1	4.8	3.5	2.8
	H6410	0	0	0	0		H6410	6.8	6.1	4.1	3.5
	H7230	0	0	0	0		H7230	9	6.1	5.5	4.8
	H9120	0	0	0	0		H9120	5.5	4.1	0	0
	H9160A	0	0	0	0		H9160A	6.8	5.5	3.5	2.8
	H91E0C	-999	-999	48	70		H91E0C	9	6.8	4.8	2.8

De randvoorwaarden voor GVG (en in een aantal gevallen GLG) zijn gegeven in cm -mv. Voor een aantal doeltypen zijn randvoorwaarden opgenomen voor droogtestress (DSTRESS). Droogtestress is gedefinieerd als het aantal dagen dat de vochtspanning in de bovengrond dicht of bij het verwelkingspunt ligt (Runhaar & Hennekens, 2014). Door Jansen & Runhaar (2001) zijn reprofuncties opgesteld waarmee voor een aantal gestandaardiseerde bodemprofielen het aantal dagen met droogtestress berekend wordt als afhankelijk van de GLG.

De zuurgraad is in de randvoorwaarden uitgedrukt in zuurgraadklassen die bepaald zijn door grenswaarden voor pH-KCl (Runhaar et al., 2009 en Tabel B1.4). Als deze waarden beschikbaar zijn uit bodemmonsters of opgenomen pH-profielen kunnen deze bijvoorbeeld per fysiotoop bepaald worden (Van Delft, 2018). Een andere mogelijkheid is de pH-kaart van Nederland (Helfenstein et al., 2022). Wanneer deze informatie ontbreekt, kan zuurgraad niet meegenomen worden in de beoordeling.

Realisatiekansen

Nu wij weten welke doeltypen tot ontwikkeling kunnen komen per FG-Eenheid en wat daarbij de standplaatsseisen zijn, kunnen wij realisatiekansen berekenen voor de referentiesituatie, de actuele situatie en in diverse scenario's. In de volgende paragrafen werken wij de methode uit.

In deze toepassing berekenen wij de realisatiekans voor alle doeltypen die potentieel voorkomen bij de FG-Eenheid en beoordelen welke de hoogste realisatiekans heeft. Dat hoeft niet per se het doeltype te zijn dat in het provinciaal Natuurbeheerplan is aangegeven.

Realisatiekansen per gridcel

De beoordeling van realisatiekansen per gridcel voeren wij uit door voor elke standplaatsfactor de waarde in die gridcel te vergelijken met de randvoorwaarden voor de betreffende doeltypen. Per randvoorwaarde berekenen wij zo een 'beperkingsindex' tussen -1 en 1 (bijvoorbeeld GVG):

-1 als de GVG te nat is (< -10);

-1 – 0 voor het suboptimale bereik aan de natte kant ($-10 - 0$), waarbij de index bepaald wordt door lineaire interpolatie. Dus als GVG -7 cm -mv is, wordt de index $-1 + (-7 - -10)/(0 - -10) = 0.7$;

0 voor het optimale bereik ($0 - 18$);

0 – 1 voor het suboptimale bereik aan de droge kant ($18 - 30$), waarbij de index bepaald wordt door lineaire interpolatie. Dus als GVG -25 is, wordt de index $0 + (25 - 18)/(30 - 18) = 0.583$;

1 als de GVG te droog is (> 30)

Per standplaatsfactor wordt een 'beperkingsindex' bepaald die de mate van beperking aangeeft waarbij ook aangegeven wordt in welke richting die beperking werkt: negatief voor te nat, te zuur, positief voor te droog, te basisch. De realisatiekans wordt vervolgens berekend door per standplaatsfactor het verschil met de absolute waarde te berekenen: $1 - \text{abs}(\text{index})$ en die vervolgens te vermenigvuldigen:

$$\text{Realisatie} = (1 - \text{abs}(\text{indexGVG})) * (1 - \text{abs}(\text{indexGLG})) * (1 - \text{abs}(\text{indexDRGSTRESS})) * (1 - \text{abs}(\text{indexZG}))$$

Dit levert een waarde tussen 0 en 1, waarbij het voorkomen van één randvoorwaarde met een index -1 of 1 leidt tot realisatiekans = 0 (zie ook Runhaar et al., 2003b). Deze realisatiekans wordt voor alle potentiële doeltypen die bij de cel passen uitgerekend en het doeltype met de hoogste realisatiekans bij de betreffende vegetatiestructuur (korte vegetaties vs. bos en struweel) wordt dan geselecteerd als het waarschijnlijkst.

Knelpunten

Per fysiotoop worden zo de realisatiekansen voor de waarschijnlijkste habitattypen in korte vegetaties en bos berekend. Het doeltype met de hoogste realisatiekans wordt dan als waarschijnlijkst beoordeeld, maar er kunnen ook meerdere doeltypen met een redelijk tot hoge realisatiekans gevonden worden. Het is natuurlijk ook mogelijk dat in een situatie (actueel, of in een scenario) voor geen enkele van de potentiële doeltypen een realisatiekans > 0 gevonden wordt. Door de knelpunten per standplaatsfactor te rapporteren, kunnen wij een indruk krijgen welke maatregelen eventueel zinvol zijn.

Hydrologische kenmerken bij referentie

De LBK geeft informatie over de fysisch-geografische opbouw van een gebied, waarbij de eenheden (vooral FG-Typen) een indicatie geven van de hydrologische positie ten tijde van de bodemvorming. Deze zal vrijwel altijd afwijken van de huidige situatie en eventuele veranderingen als gevolg van inrichtingsmaatregelen of klimaatverandering. Om de afwijking van de huidige of toekomstige situatie ten opzichte van een 'natuurlijke' situatie aan te geven, maken wij gebruik van de 'referentiehidrologie'.

Voor deze referentiehidrologie gebruiken wij referentiewaarden volgens Jansen et al. (1999) en Runhaar et al. (2003a). Per bodemeenheid van de bodemkaart van Nederland zijn GXG (GHG, GVG en GLG) percentielen opgenomen: P10, P30, P50, P70 en P90. De dekking is weliswaar vrij volledig, maar soms zijn wel veel eenheden bij elkaar genomen. Naast de referentiewaarden voor GXG geven Jansen en Runhaar ook een kwelkans weer per bodemeenheid (zie Tabel B1.5).

Tabel B1.5 Indeling in kans op voorkomen van kwel op basis van het bodemtype (naar Runhaar et al., 2009).

Code	Betekenis
1	Geen kwel, uitsluitend wegzijging
2	Mogelijke enige periodieke kwel
3	Enige (periodieke) kwel
4	Tamelijke veel (permanente) kwel
5	Veel (permanente) kwel
9	Niet bepaald

Per FG-Type hebben wij een representatieve bodemeenheid geselecteerd om de referentiehidrologie (GXG en kwelkans) mee te karakteriseren. Per GXG kiezen wij de mediane waarde (P50) die hoort bij het FG-type. Dit is het eenvoudigst en geeft één waarde per vlak van de LBK. Eventuele variatie als gevolg van het interne reliëf kan hierbij niet gegeven worden. In theorie kunnen we de variatie in het AHN binnen een kaartvlak gebruiken om de nattere en drogere delen weer te geven, maar dat zou een schijnnaauwkeurigheid geven, omdat we niet weten of de mediaan van de maaiveldhoogte in het vlak ook overeenkomt met de mediaan van de referentie-GXG. Om toch een indruk te geven van de spreiding maken wij ook kaarten met de P30 (voor de nattere delen) en P70 (voor de drogere delen).

Landschappelijke bodemkaart voor het studiegebied

Voor het stroomgebied van Boven-Slinge/Bovenlopen Keizerbeek hebben wij een Landschappelijke Bodemkaart afgeleid met behulp van verschillende basiskaarten (zie Tabel B1.6). Voor het Nederlandse deel zijn de landelijke kaarten van BRO gebruikt, behalve waar een detailbodemkaart beschikbaar is. Voor het Duitse deel zijn vertalingen gemaakt.

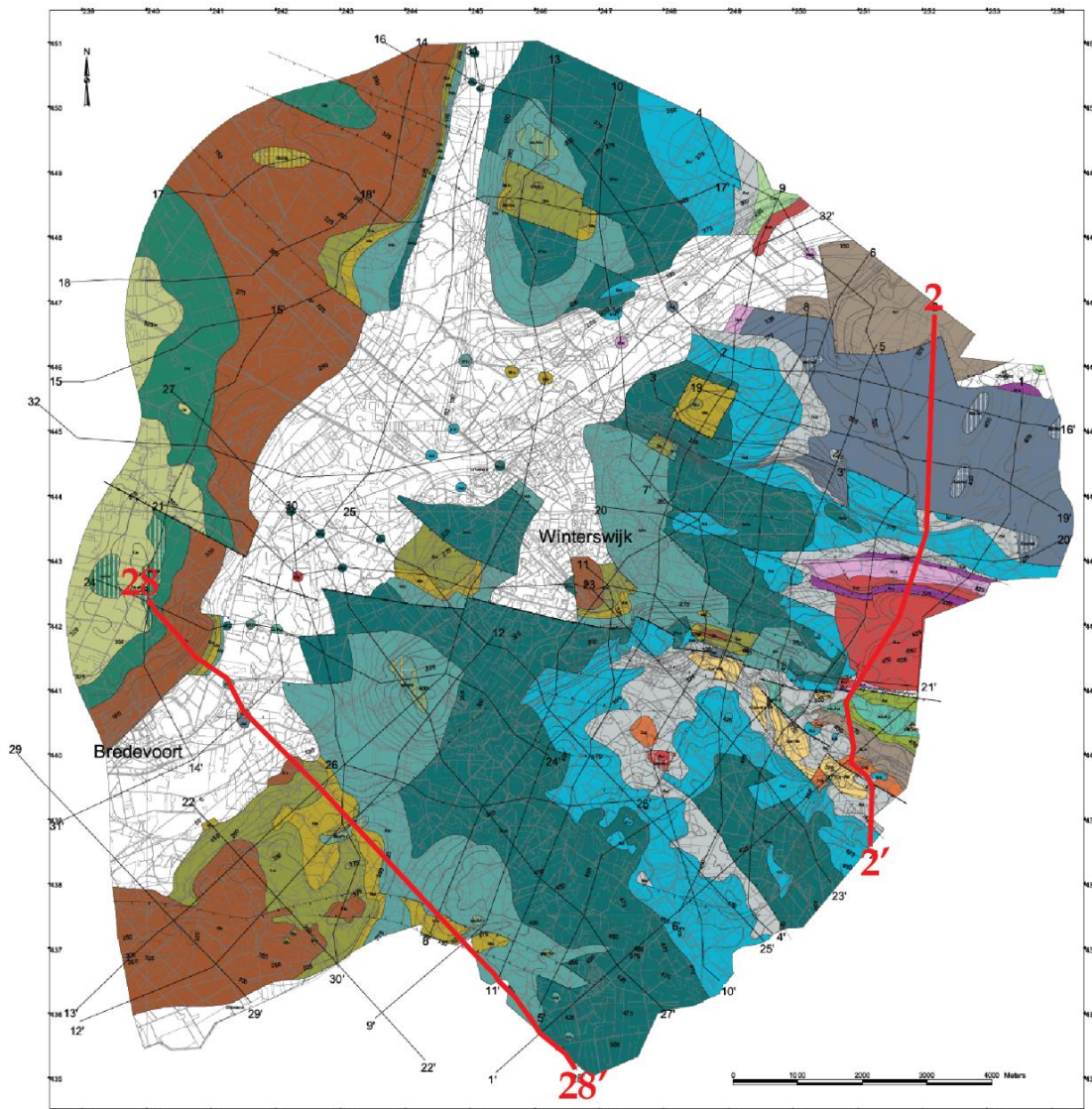
Tabel B1.6 Basiskaarten die gebruikt zijn voor de Landschappelijke Bodemkaart van het studiegebied.

Thema	NL	Dld
Geomorfologie	BRO Geomorfologie 2021	Vertaling Duitse Geologie en bodemkaarten naar NL Geomorfologie
Bodem	Bodemkaart Detailkarteringen. Dekt niet het hele Nederlandse deel. Daarbuiten BRO Bodem 2021	Duitse_Bodemkaart_Vertaald naar Nederlandse legenda

Bijlage 2 Technische tekeningen en kaarten
Geologie, geomorfologie en
landschappelijke bodemkaart

Eerst aangetroffen afzetting onder het Kwartair en tektoniek

Schaal 1 : 25.000



LEGENDA

Kwartaire afzettingen

	alle kwartaire zandafzettingen, geen onderscheid veldtoergerieën, beekdalssystemen, dekzandcomplexen
	veen, Holoceen
	klei en/of veolagen, meest Weichselien, Eemien (schematisch)
	belangrijke bekkenkleiafzetting, soms met veen, Eemien
	bekkenklei, Saalien fijne bekkenafzetting, silt en fijn slibhoudend zand, kleilagen, Saalien
	kleiemaatzetting, Saalien, zeer wisselende samenstelling, doorlatend/ondoorlatend

Tertiaire afzettingen

	Lie Afzetting van Lieveelde zand, fijn-plaag fijn, kalkarm
	Dol Afzetting van Delden zand, slibhoudend, klei
	Eib Afzetting van Eibergen klei, stug, bovenaan siltig, kalkarm
	Ste Laag van Stemerdink klei, stug, kalkrijk
	Mis Laag van Miste glauconietzand, slibhoudend, kalkrijk
	Wn Afzetting van Winterswijk klei, siltig, glauconiet, stug, kalkrijk lager
	Wop Afzetting van Woold klei, zeer stug, kalkrijke lagen
	Kot Afzetting van Kotten klei, zeer stug, kalkrijke lagen
	Rat Afzetting van Ratum zand, zeer fijn - matig fijn, kalkarm
	Don Formatie van Dongen klei, siltig, stug, kalkarm

DOORLATEND
DOORLATEND/ZWAK DOORLATEND
ONDOORLATEND
ONDOORLATEND
ZWAK DOORLATEND
ONDOORLATEND
ONDOORLATEND
ONDOORLATEND
DOORLATEND
ONDOORLATEND

Mesozoïsche afzettingen

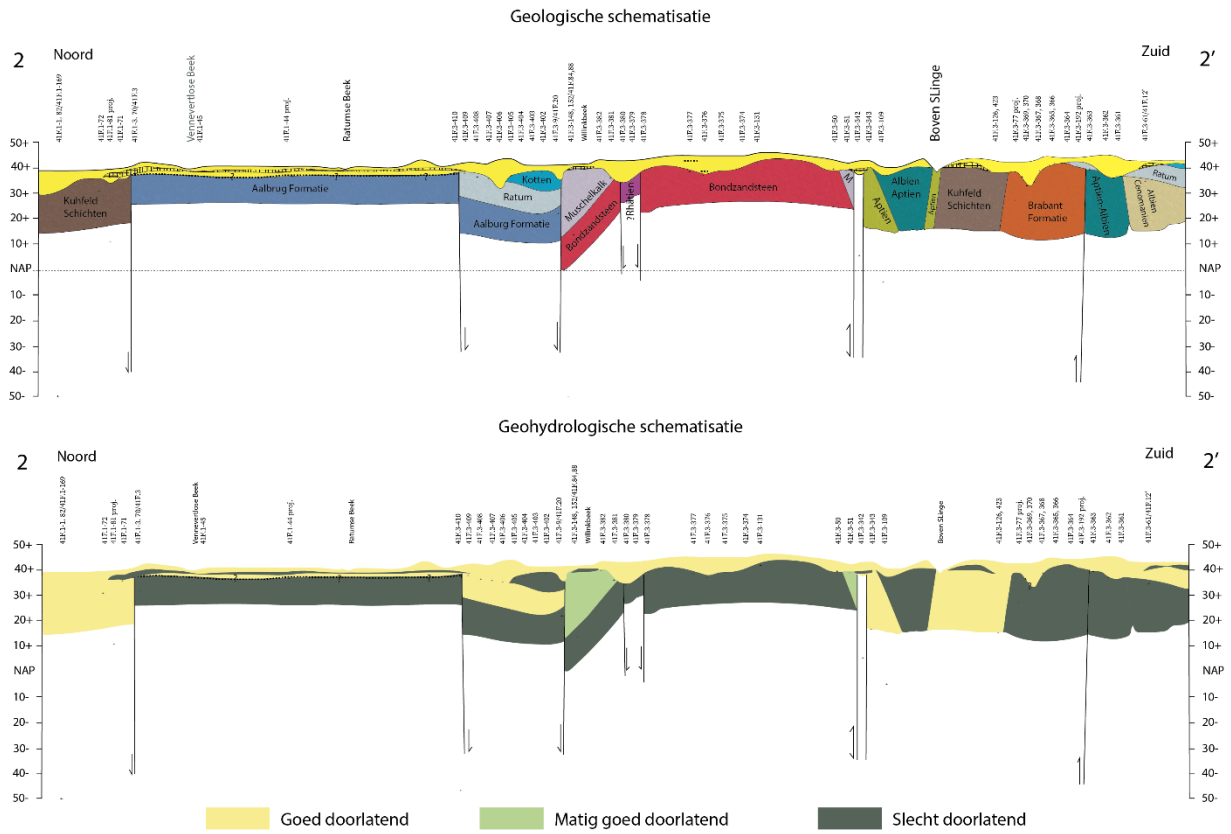
	Cen-Alb Cenomanien-Albien rijf kalk, mergel
	Alb-Apt Albien-Aptien klei, zand g, klei, zeer stug, kalkarm
	Apt Aptien zand met grindlagen, vertakte lagen, klei, kalkarm
	Kuh Kuhfeld Schichten zand, fijn en grof, vast, grind- en kleilagen
	Dgg Callovien, Brabant Formatie, Werkendam Formatie klei, kalksteen, zandsteen, scheltoersteen, kalkarm/kalkrijk
	Aal Aalburg Formatie kalksteen, mergel, kalkarm/kalkrijk
	Rha Rhätien klei, kalksteen, zeer stug
	Mus Muschelkalk kalk, doleriet, kalkige klei
	Bon Bontzandsteen klei, kalksteen, mergel, meest kalkrijk
	Onbekend

DOORLATEND OP SPLETEN de top kan tot een dunne ondoorlatende kleilaag verweerd zijn
ONDOORLATEND
DOORLATEND
MEEST GOED DOORLATEND
ONDOORLATEND/ZWAK DOORLATEND OP SPLETEN
ONDOORLATEND, SOMS BROKKELIG EN DOORLATEND
ZWAK DOORLATEND OP SPLETEN
GOED DOORLATEND OP SPLETEN de top kan tot een dunne ondoorlatende kleilaag verweerd zijn
SOMS DOORLATEND OP SPLETEN

Tektoniek

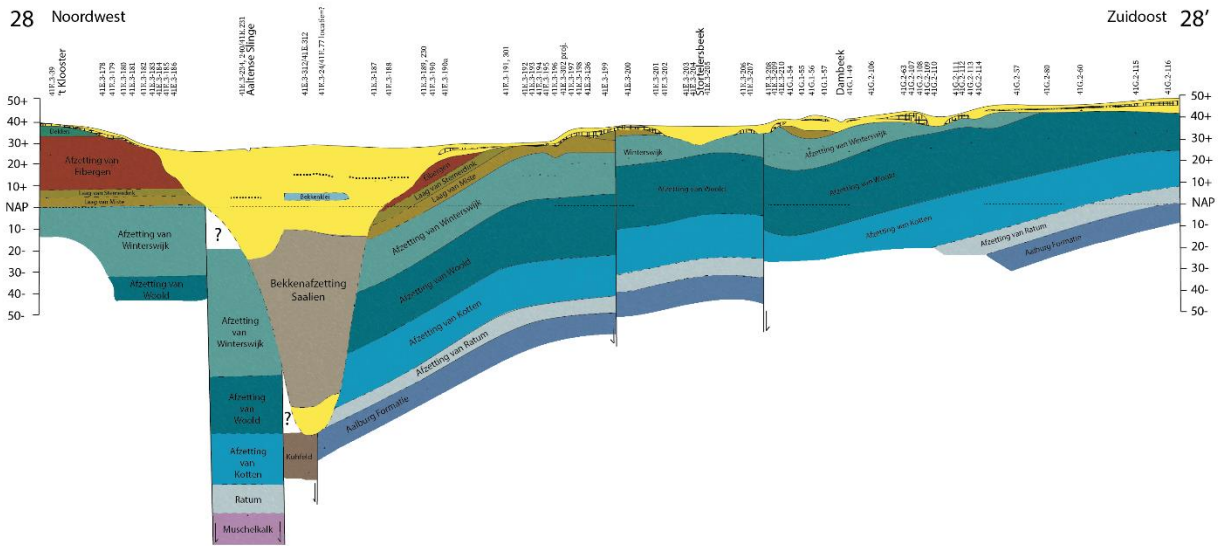
	Breek of flexuur in bovenkant Mesozoïcum en/of Tertiair
	Opschuivingsbreek in Mesozoïcum
	Opschuivingsbreek in Mesozoïcum met afschuiving in Tertiair
	Breukopvulling: diverse mesozoïsche afzettingen
	Beginsdiepte (dm + NAP; zie kaart 3)
	Benust op ca. 1 boring per 2,5 ha
	Benust op ca. 1 boring per 40 ha
	Profieltracé (zie kaart 5)

Figuur B2.1 Overzicht geologische Formaties onder de Kwartaire afzettingen (Van den Bosch & Brouwer, 2009).

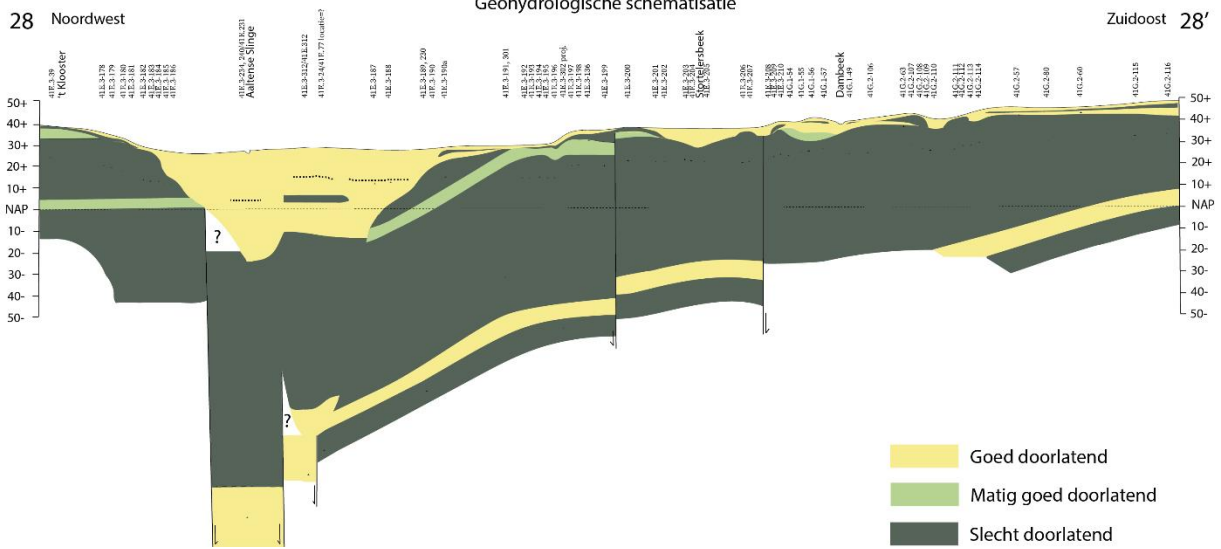


Figuur B2.2 Schematische geologische en geohydrologische dwarsdoorsnede van noord naar zuid door omgeving Winterswijk (Van den Bosch & Brouwer, 2009).

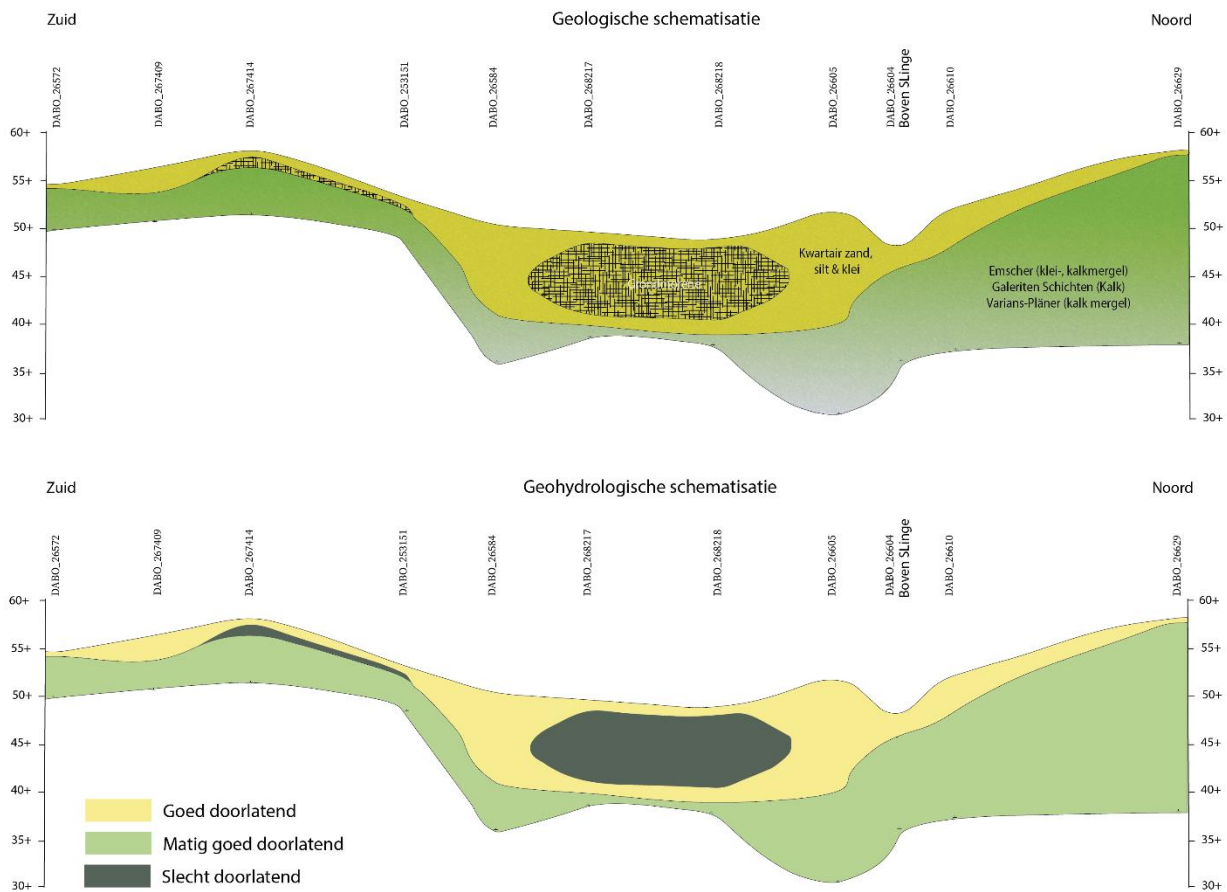
Geologische schematisatie



Geohydrologische schematisatie



Figuur B2.3 Schematische geologische en geohydrologische dwarsdoorsnede van noordwest naar zuidoost door omgeving Winterswijk (Van den Bosch & Brouwer, 2009).



Figuur B2.4 Schematische geologische en geohydrologische dwarsdoorsnede van zuid naar noord in de omgeving Südlohn (Duitsland).

Bijlage 3 Historische ecologie en tussenuitkomsten realisatiekansen referentiesituatie

Historische ecologie

Tabel B3.1 Voorkomen van historische landschappen in Winterswijk bij de Fysisch-Geografische series voor zover deze samenvallen in het studiegebied. De getallen geven de oppervlakte weer in ha van de overlap tussen beide kaarten. De intensiteit van de groene kleur geeft aan binnen welke FG-Series de Historische landschappen vooral voorkomen.

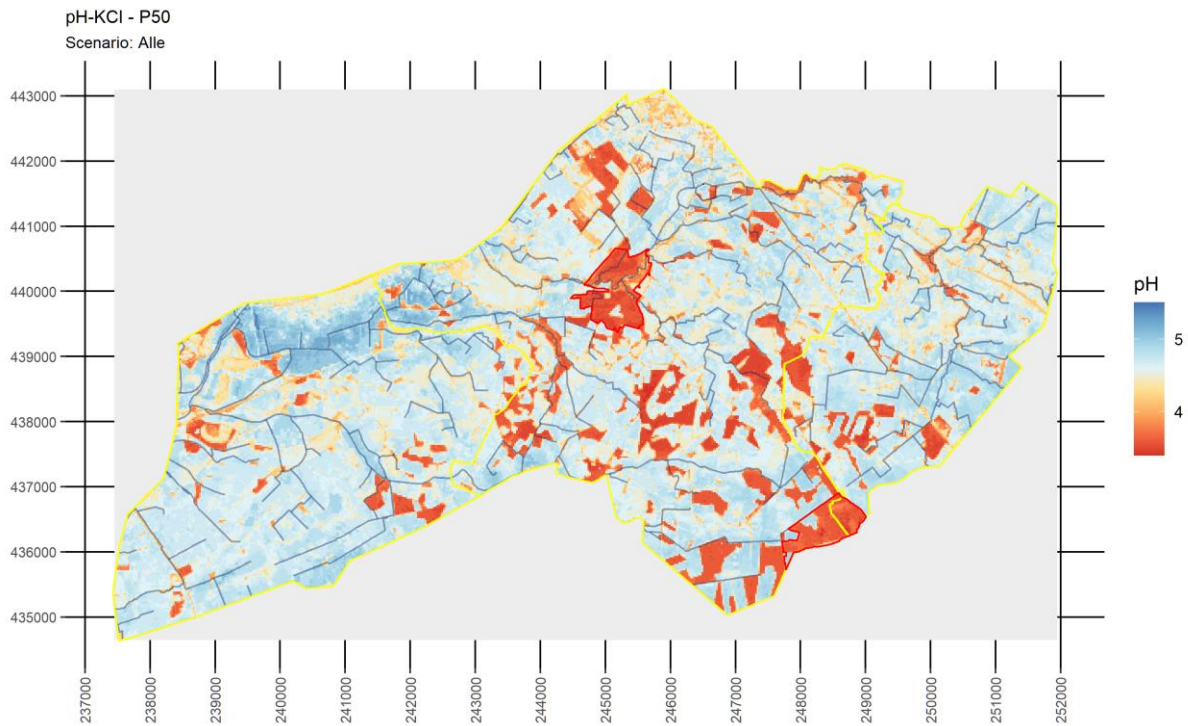
Historische Landschappen in Winterswijk																		
FG-Serie	droge kamptonginningen, essen	vochtige kamptonginningen, oude hoevenlandschap	oude hoevenlandschap scholtenstijl	broekige kamptonginningen	broeken, enigszins regelmatig ingedeeld	broeken, onregelmatig ingedeeld	beekbegeleidende broeken	grotere oude bossen	bos op oud cultuurland	oude buitens	jonge heideontginning	jonge heideontginning scholtenstijl	grotere jonge bossen	jonge ontginningen in veengebieden	niet ontgonnen veengebieden	sterk veranderd landschap	bebouwd gebied	Eindtotaal
HzB Beekdalen en droogdalen	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	7	2	0	0	0	4	3	22
HzBB Brongebieden en kwelgevoede beekdalen	2	9	5	5	16	12	28	1	0	0	21	1	8	6	0	0	0	113
HzBD Droogdalen	0	12	17	3	0	3	0	9	0	0	12	6	0	0	0	1	0	63
HzBN Niet-kwelgevoede beekdalen en beekdalflanken	3	22	5	8	5	11	34	2	0	0	18	3	5	5	0	1	1	125
HzBV Beekdalvlakte	1	33	30	4	6	41	26	7	0	0	14	3	2	2	0	3	0	173
HzBW Beekoeverwallen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HzDA Leemarme droge dekzandgebieden	1	15	11	2	1	2	0	0	0	0	20	2	2	2	0	0	1	59
HzDG Grondwater gevoede vennen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
HzDL Lemige dekzandgebieden en dekzand op leem	2	15	15	12	2	3	0	1	0	1	23	1	1	8	1	1	0	87
HzDR Regenwater gevoede vennen	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
HzDV Vochtige dekzandlaagten	9	127	91	1	28	67	18	21	7	0	161	43	27	14	4	0	23	643
HzG Glaciale gebieden	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
HzGK (Kei)leemopduikingen	2	57	79	14	5	8	0	51	2	0	225	96	31	43	10	8	1	633
HzGPa Leemarme puinwaaiers en smeltwaterafzettingen	0	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
HzGPI Lemige puinwaaiers en smeltwaterafzettingen	1	60	47	18	2	3	0	10	3	0	113	43	33	6	7	13	0	361
HzGSa Leemarme stuwwallen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	0	0	0	11
HzGSI Lemige stuwwallen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
HzHO Overgangsvennen in hoogveen	0	1	3	0	0	0	0	25	0	0	10	1	14	6	32	0	0	92
HzOB Bruine eerdgronden	59	40	21	5	0	0	2	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	132
HzOK Kleiige eerdgronden	1	3	6	3	0	1	1	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	19
HzOL Lage eerdgronden	26	48	26	3	1	1	12	0	3	0	9	0	0	1	0	1	0	131
HzOZ Zwarte eerdgronden	177	255	209	22	0	7	5	2	7	1	32	10	0	2	0	3	8	739
HzSF Forten en Overstoven laagten	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	7	2	0	0	0	12

Historische Landschappen in Winterswijk

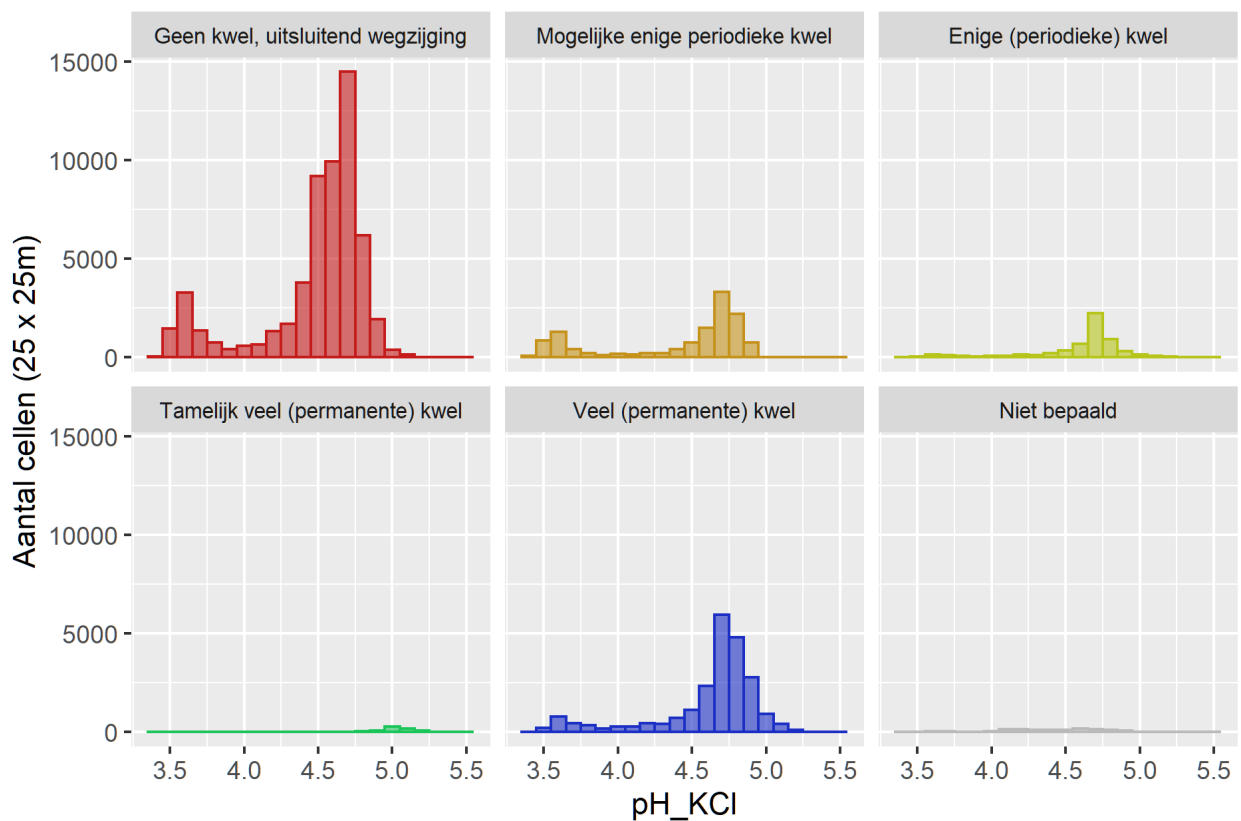
FG-Serie	droge kamptonginningen, essen	vochtige kamptonginningen, oude hoevenlandschap	oude hoevenlandschap scholtenstijl	broekige kamptonginningen	broeken, enigszins regelmatig ingedeeld	broeken, onregelmatig ingedeeld	beekbegeleidende broeken	grotere oude bossen	bos op oud cultuurland	oude buitens	jonge heideontginning	jonge heideontginning scholtenstijl	grotere jonge bossen	jonge ontginningen in veengebieden	niet ontgonnen veengebieden	sterk veranderd landschap	bebouwd gebied	Eindtotaal
HZSL Uitgestoven laagten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	6
HZT Tektonische terrassen in het zandlandschap	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
HZTA Leemarme terrassen	2	128	95	71	5	20	3	5	3	0	325	43	8	41	1	5	21	777
HZTG Grofzandige terrassen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
HZTK Kleiige terrassen	0	7	6	1	4	1	0	6	0	0	27	6	1	1	0	2	0	60
HZTL Lemige terrassen	2	60	49	18	4	14	1	3	2	0	136	21	9	5	0	10	32	367
D Dijk	12	6	3	1	0	1	5	1	0	0	2	0	0	0	0	2	4	37
NB Niet beoordeeld	3	24	3	5	2	6	27	0	0	0	43	7	20	0	0	25	82	247
W Water	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	12
Eindtotaal	305	931	723	199	82	205	171	146	32	2	1202	294	175	156	55	80	181	4940

Tussenuitkomsten realisatiekansen referentiesituatie

Omdat de abiotische randvoorwaarden geen gebruikmaken van de kwelkansen of berekende kwel (Figuur 2.23 en Figuur 2.24) maar van zuurgraadklassen die gebaseerd zijn op pH-KCl (Runhaar et al., 2009), hebben wij gebruikgemaakt van een onlangs verschenen pH-kaart die is gebaseerd op bodemonsters, veldmetingen en door middel van geostatistiek landsdekkend is gemaakt (Helfenstein et al., 2021). De kaart bevat pH-waarden voor meerdere diepteklassen, wij hebben gebruikgemaakt van de waarden tussen 5 en 15 cm -mv. Deze kaart geeft de actuele pH-waarden weer en die zullen in een aantal gevallen zeker afwijken van de zuurgraad in de referentiesituatie. Als gevolg van atmosferische depositie is op zandgronden met een beperkte zuurbuffer verzuring opgetreden en door het wegvallen van kwel zal in een aantal voorheen kwelgevoede bodems de pH ook zijn afgenomen. Omdat er geen betrouwbare gegevens over de zuurgraad in de referentieperiode beschikbaar zijn, hebben wij deze kaart toch gebruikt voor het bepalen van de realisatiekansen in de referentiesituatie, maar ook bij de klimaatscenario's (zie Hoofdstuk 3).



Figuur B3.5.1 PH-KCl op 5-15 cm diepte in de huidige situatie (bron: Helfenstein et al., 2021).



Figuur B3.5.2 De verspreiding van huidige pH-waarden van de bodem voor verschillende kwelkansen. Zie ook Figuur 2.23.

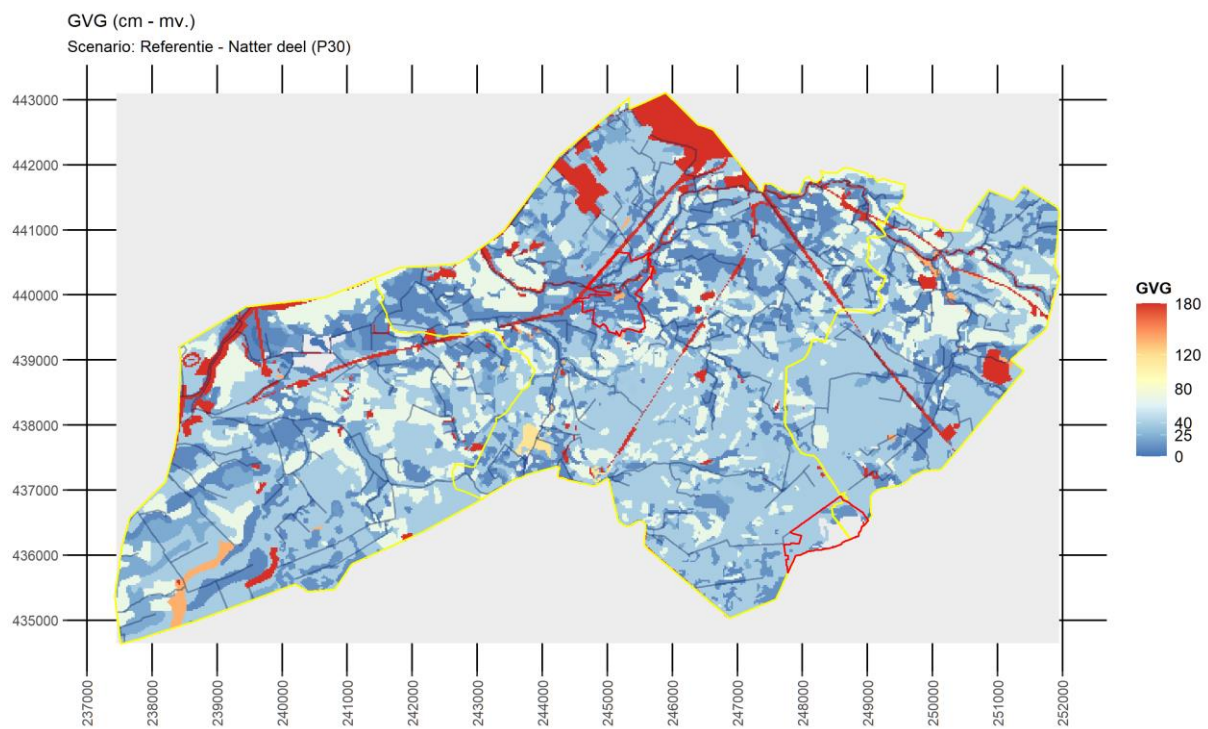
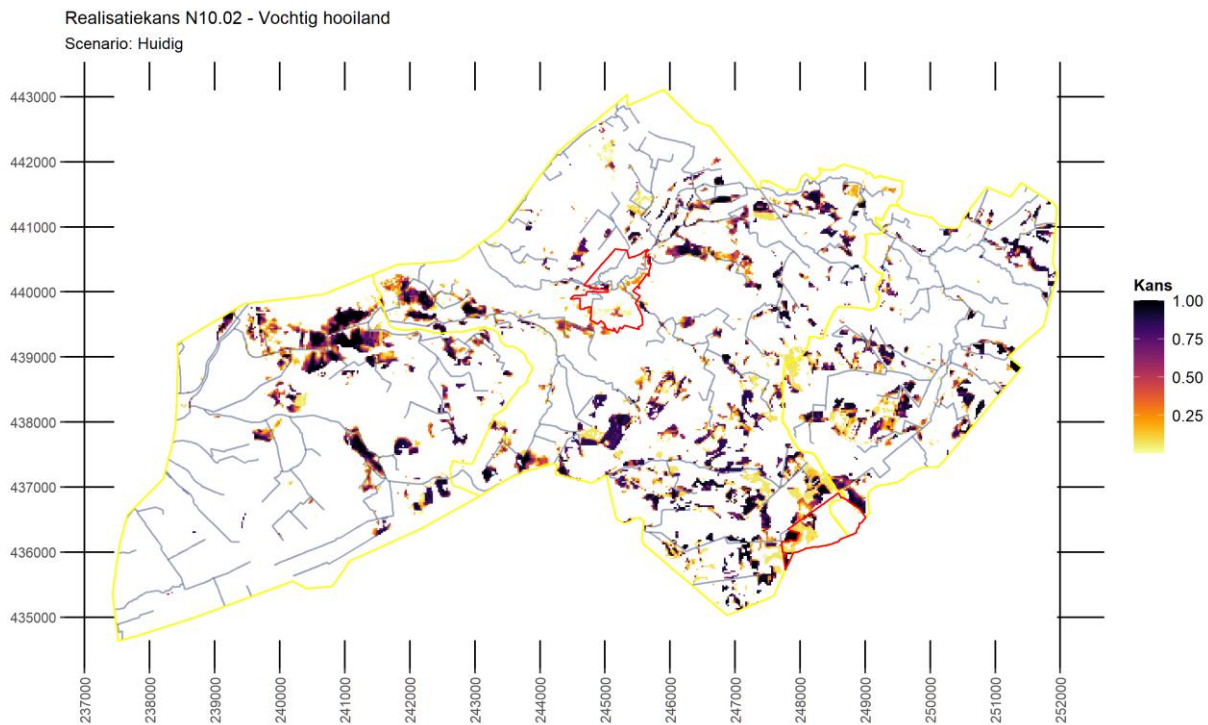
De keuze van een actuele kartering van de pH-KCl voor het bepalen van de realisatiekansen in de referentiesituatie zou dus in een aantal gevallen een onderschatting kunnen geven van deze kansen voor beheertypen die aan meer gebufferde bodems gebonden zijn, bijvoorbeeld in kwelsituaties en een

overschatting voor beheertypen van zuurdere bodems. In Figuur B3 hebben wij per kwelklasse de verdeling van de pH-waarden uit Figuur B3.5.2 uitgezet. Hieruit kunnen wij de volgende conclusies trekken:

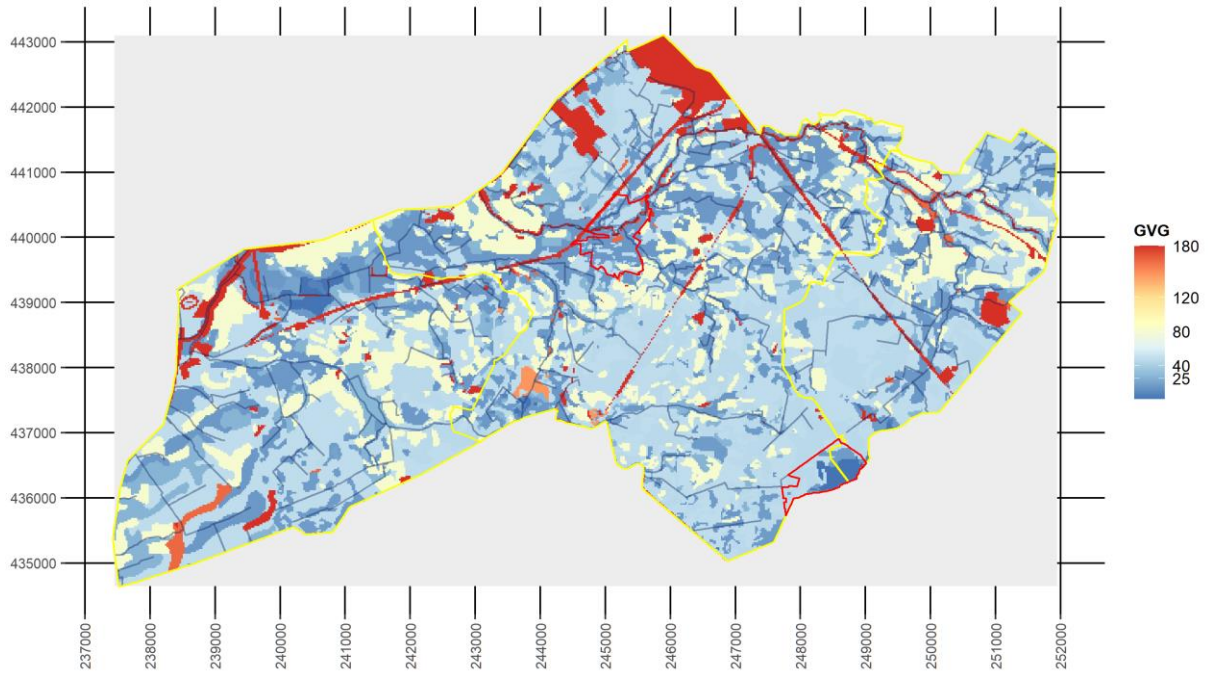
- In de meeste kwelklassen is een tweetoppige verdeling te zien, die kan wijzen op veranderingen in de zuurgraad ten opzichte van wat we zouden verwachten in die klasse.
- Bij klasse 1 – ‘Geen kwel, uitsluitend wegzijging’ verwachten wij zure bodems. Er is dan ook een piek te zien bij pH-KCl 3,5-3,8. Dat is behoorlijk zuur en wijst mogelijk op verzuring. Een veel groter deel van de cellen binnen deze klasse heeft echter pH-waarden 4,5-5,0 (matig zuur). Dat zal een gevolg zijn van bekalking op landbouwgronden die een groot deel uitmaken van de drogere zandgronden in het gebied.
- Bij klasse 2 – ‘Mogelijk enige periodieke kwel’ zien we hetzelfde patroon, hoewel de verbreiding van deze klasse veel beperkter is.
- Bij klasse 3 – ‘Enige (periodieke) kwel’ is de zure piek bij vrijwel niet meer te zien, maar de verbreiding is ook vrij gering.
- Dat geldt nog sterker voor klasse 5 – ‘Tamelijk veel (permanente) kwel’, die sowieso maar heel weinig voorkomt.
- Klasse 5 – ‘Veel (permanente) kwel’ geeft weer een duidelijk tweetoppige verdeling te zien. Hier verwachten wij juist een hoge pH-KCl als gevolg van sterke kwel. De hoge piek met pH-KCl 4,5-5 (matig zuur) lijkt aan de lage kant. Hier zouden we eerder zwak zuur tot neutraal (5-6,5) verwachten. Dit kan een gevolg van verzuring door het wegvallen van kwel zijn. Nog sterker lijkt dat het geval te zijn bij de lage piek, met 3,5-3,8.
- Voor de inschatting van de realisatiekansen in de referentiesituatie betekent dit dat:
 - voor beheertypen die gebonden zijn aan zure groeiplaatsen met overwegend wegzijging, in veel gevallen een te hoge pH-waarde wordt gehanteerd en in een beperkt aantal gevallen een te lage;
 - voor beheertypen die gebonden zijn aan meer gebufferde standplaatsen (vaak onder invloed van kwel), de pH te laag ingeschat zal zijn.

Of deze verschillen leiden tot een verkeerde inschatting van de realisatiekansen is niet geheel duidelijk. Bij veel beheertypen zijn de randvoorwaarden voor zuurgraad redelijk breed.

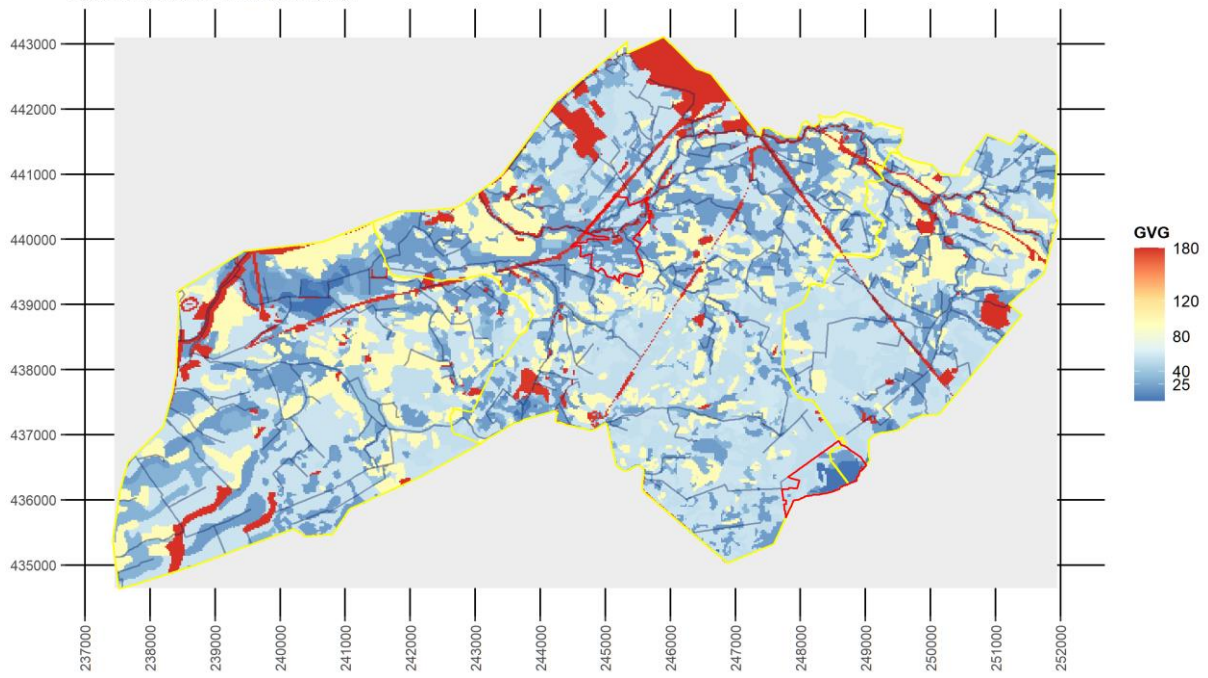
Basiskaarten

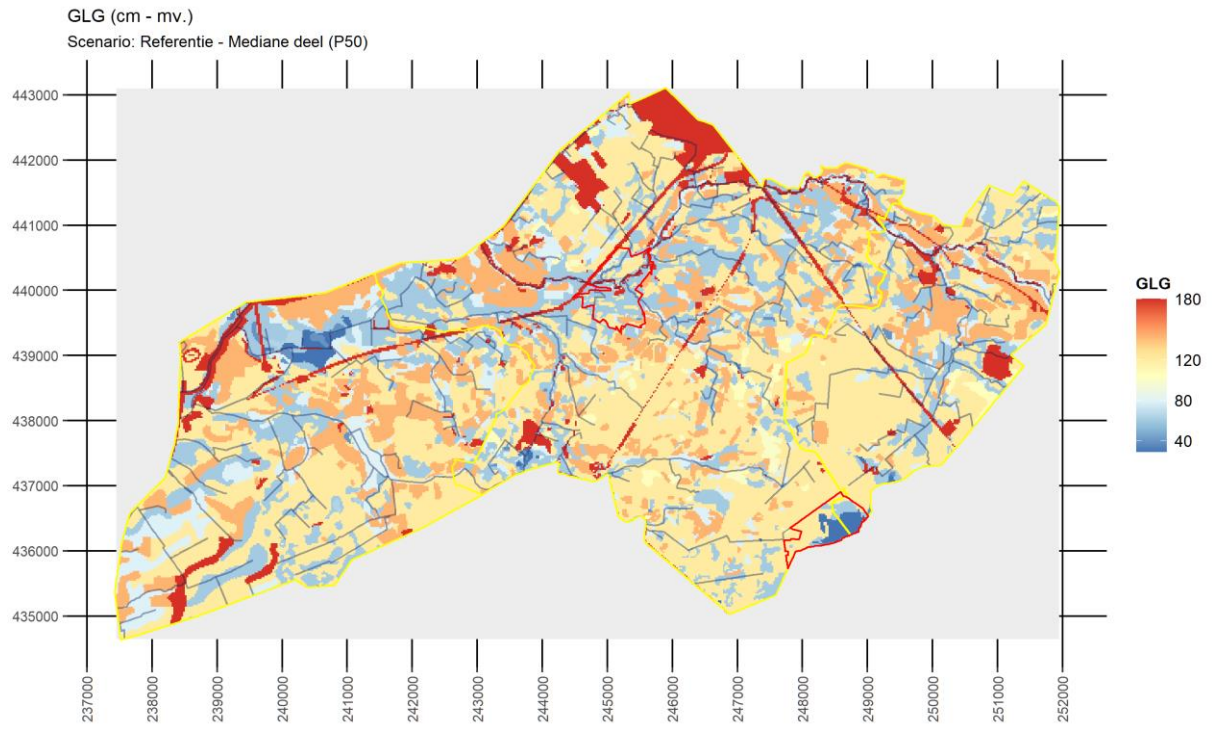
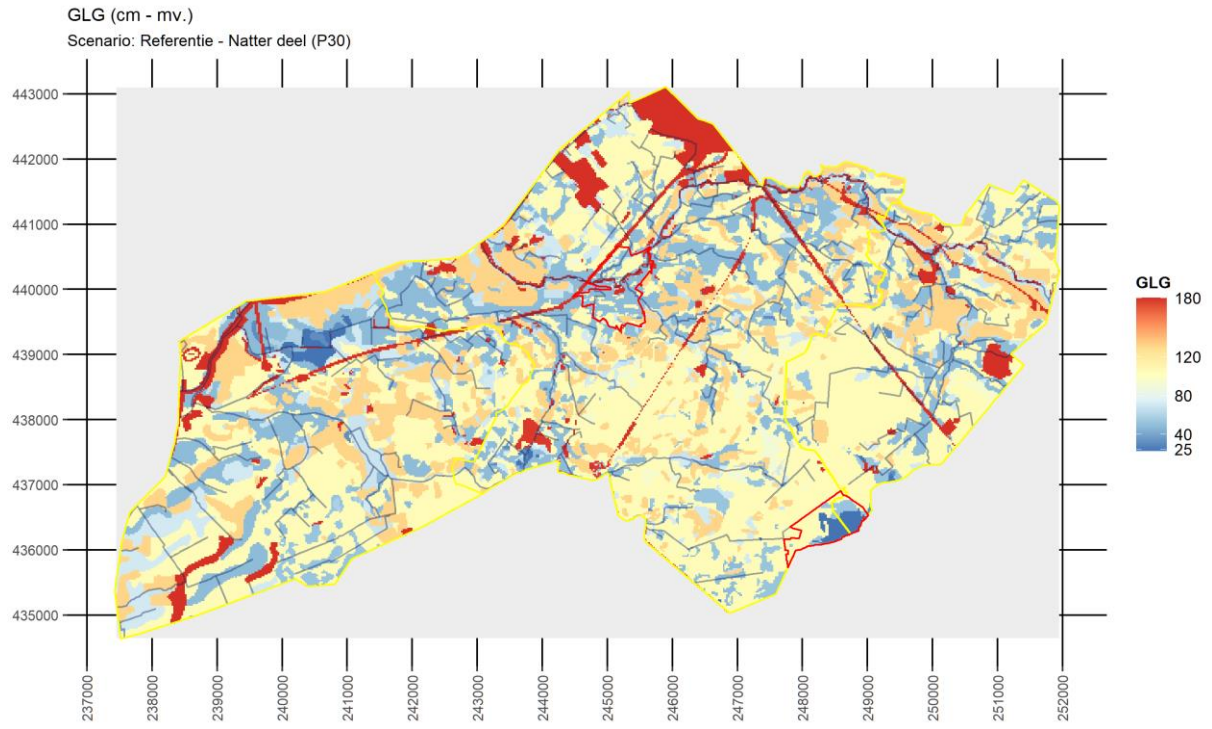


GVG (cm - mv.)
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



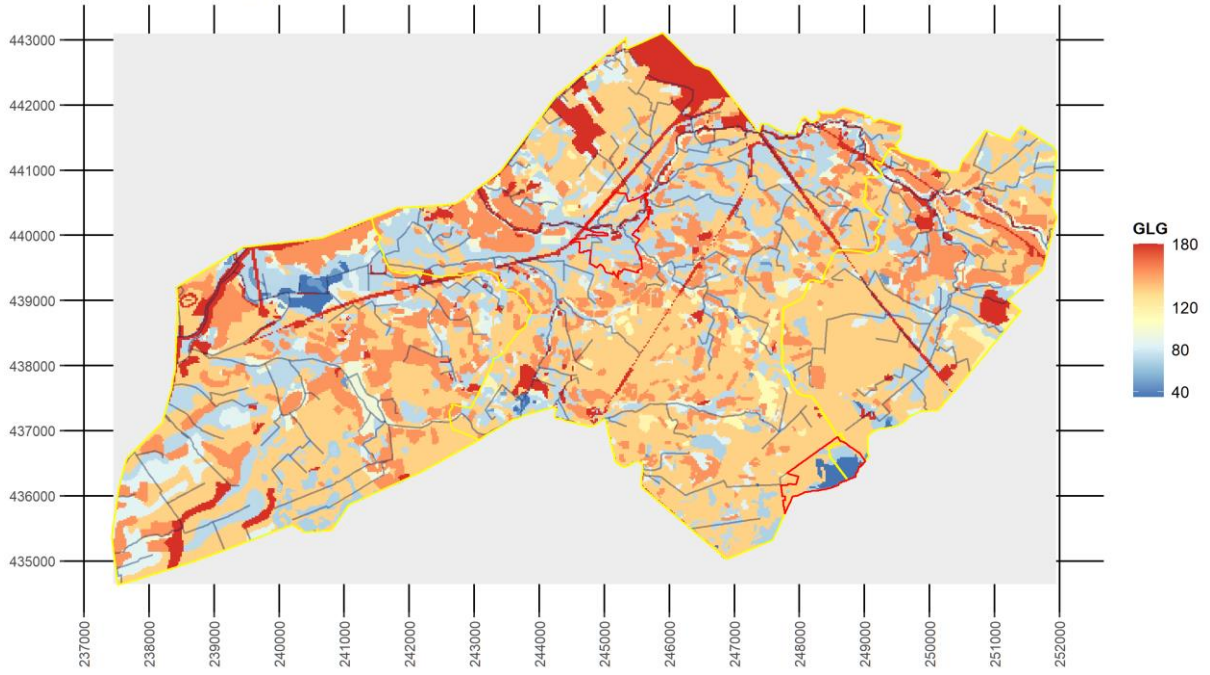
GVG (cm - mv.)
Scenario: Referentie - Droger deel (P70)





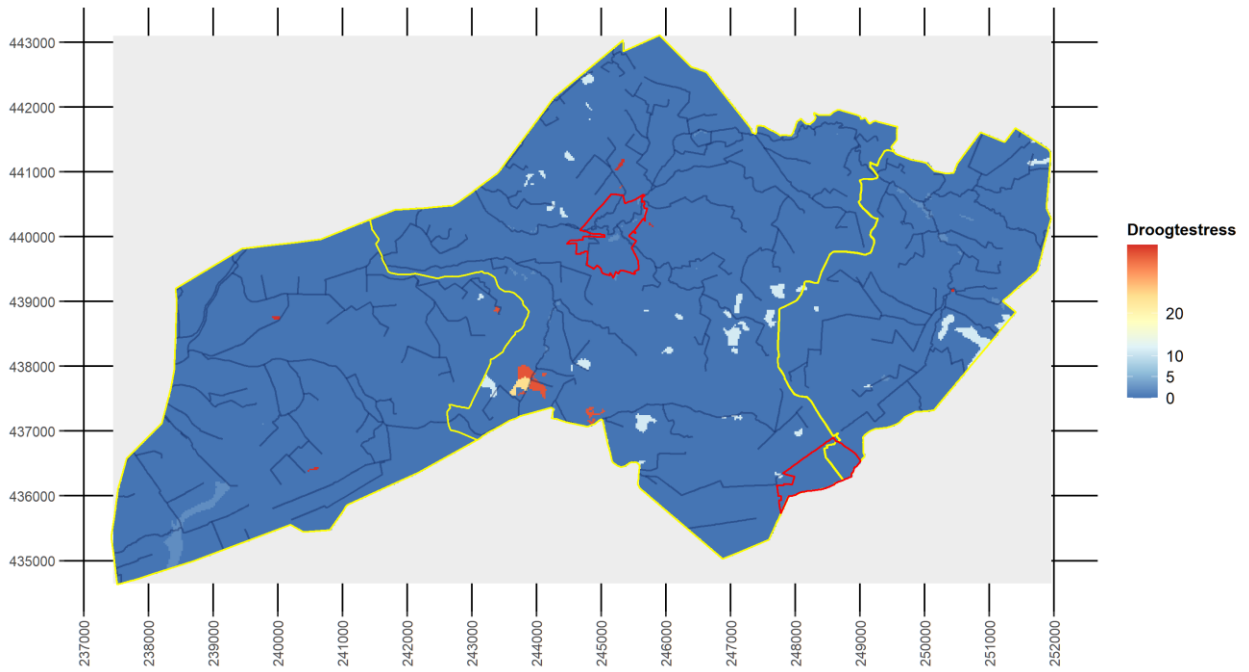
GLG (cm - mv.)

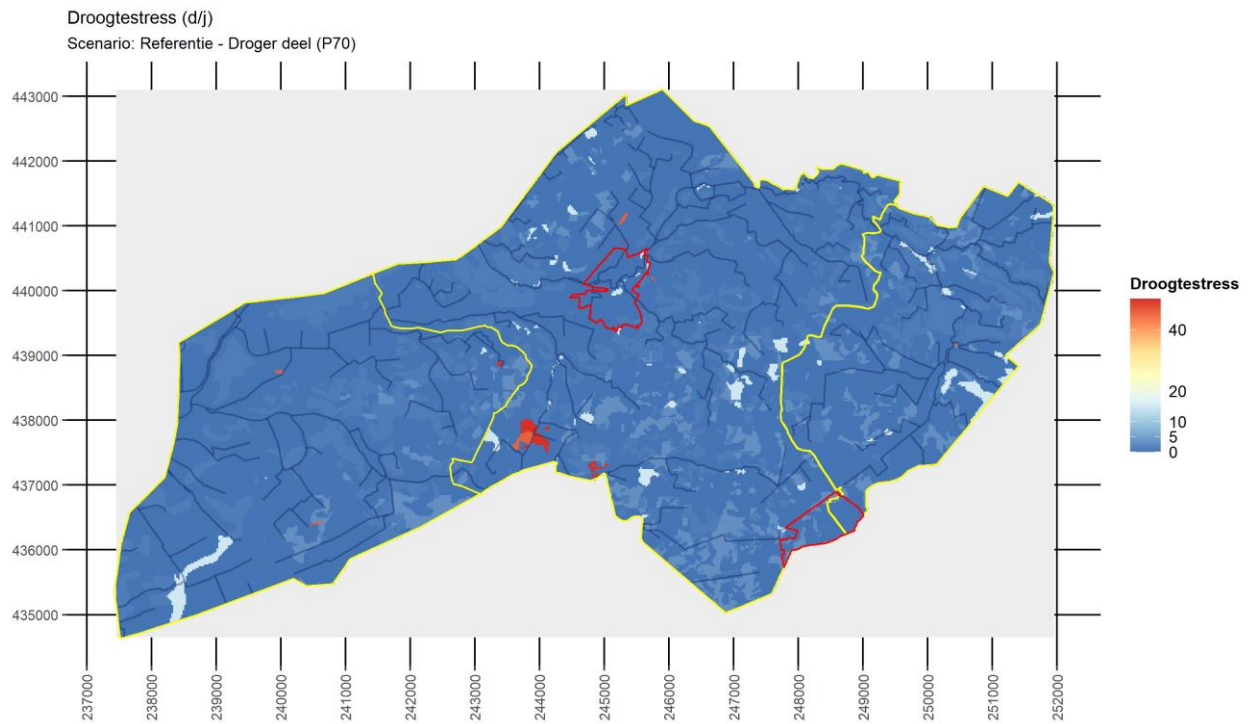
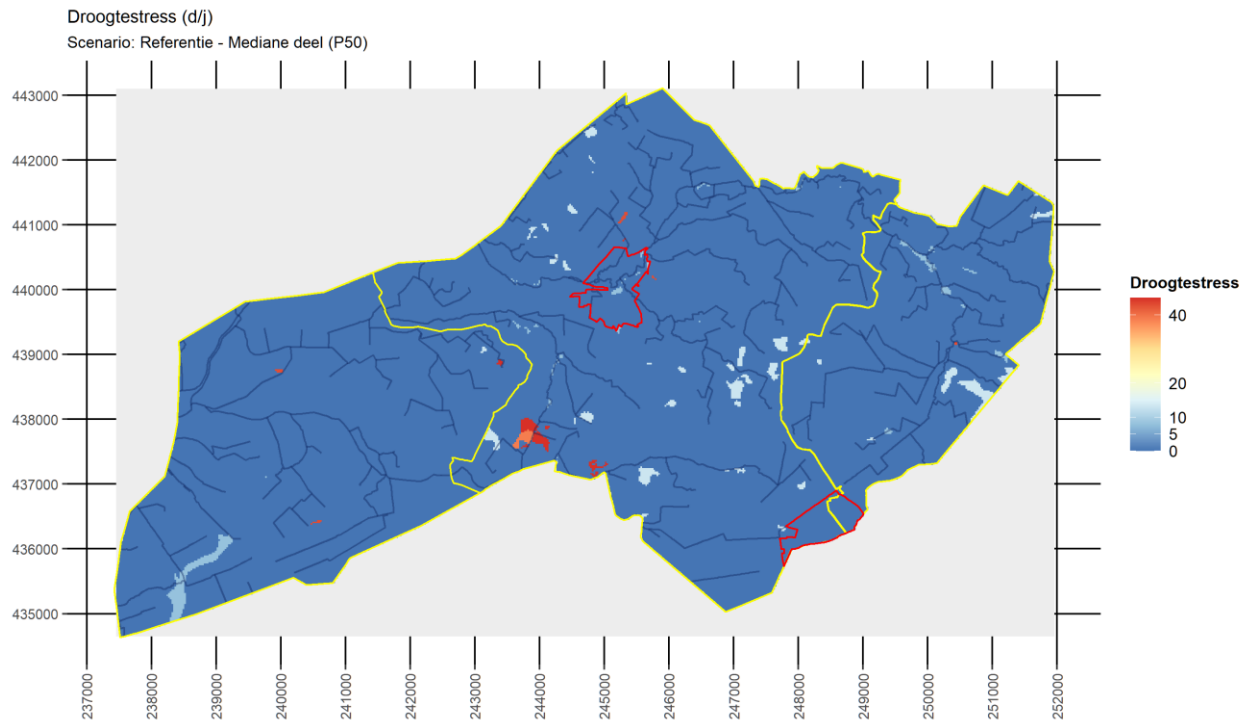
Scenario: Referentie - Droger deel (P70)



Droogtestress (d/j)

Scenario: Referentie - Natter deel (P30)

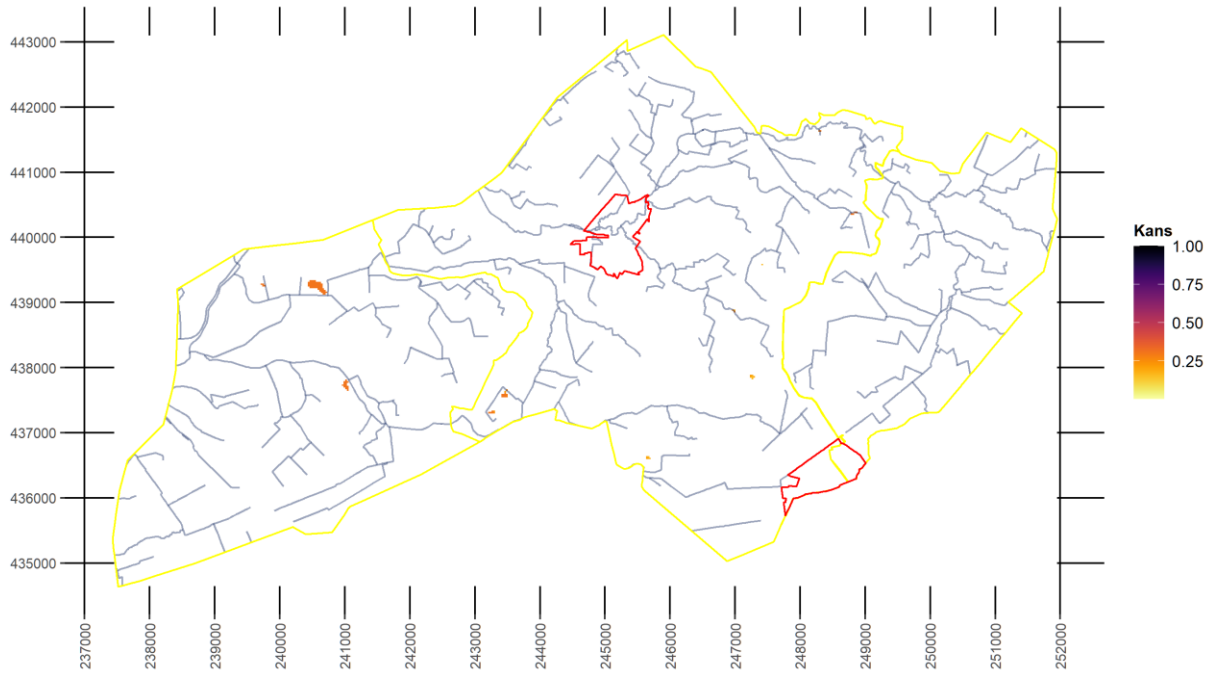




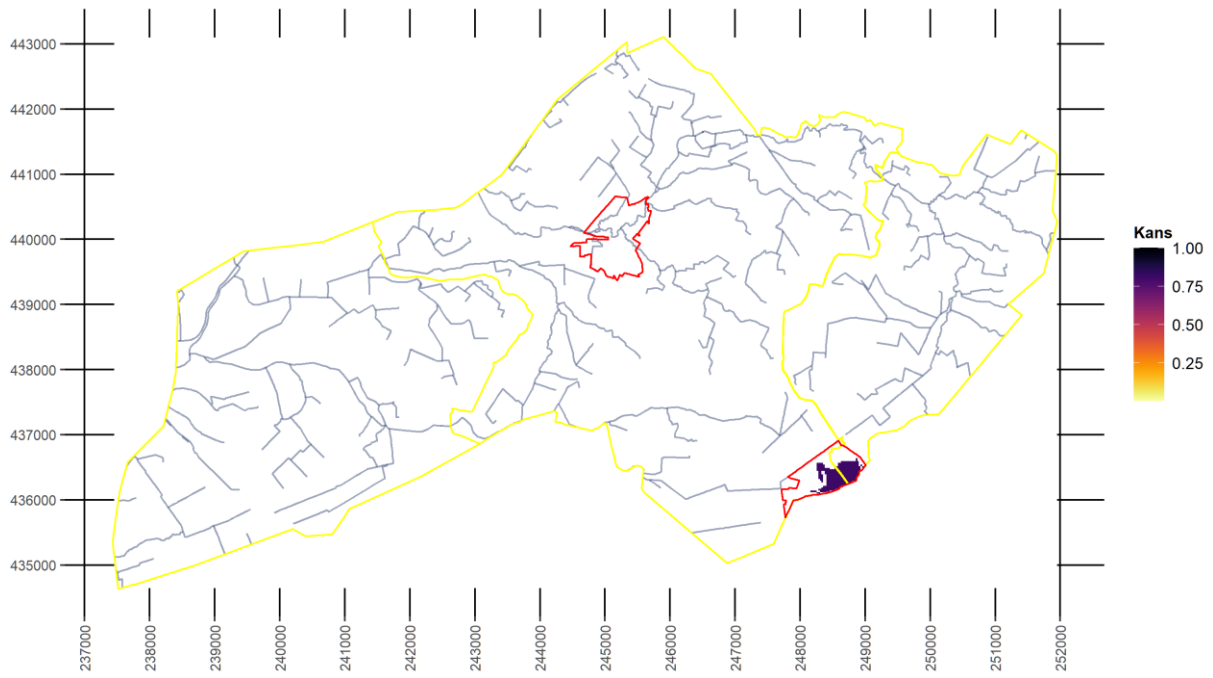
Realisatiekansen P50

Hieronder geven wij de realisatiekansen per beheertype voor het mediane deel (P50) van de vochtgradiënt in de referentiesituatie. Voor het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70) zijn deze kaartjes wel gemaakt, maar niet in deze rapportage opgenomen.

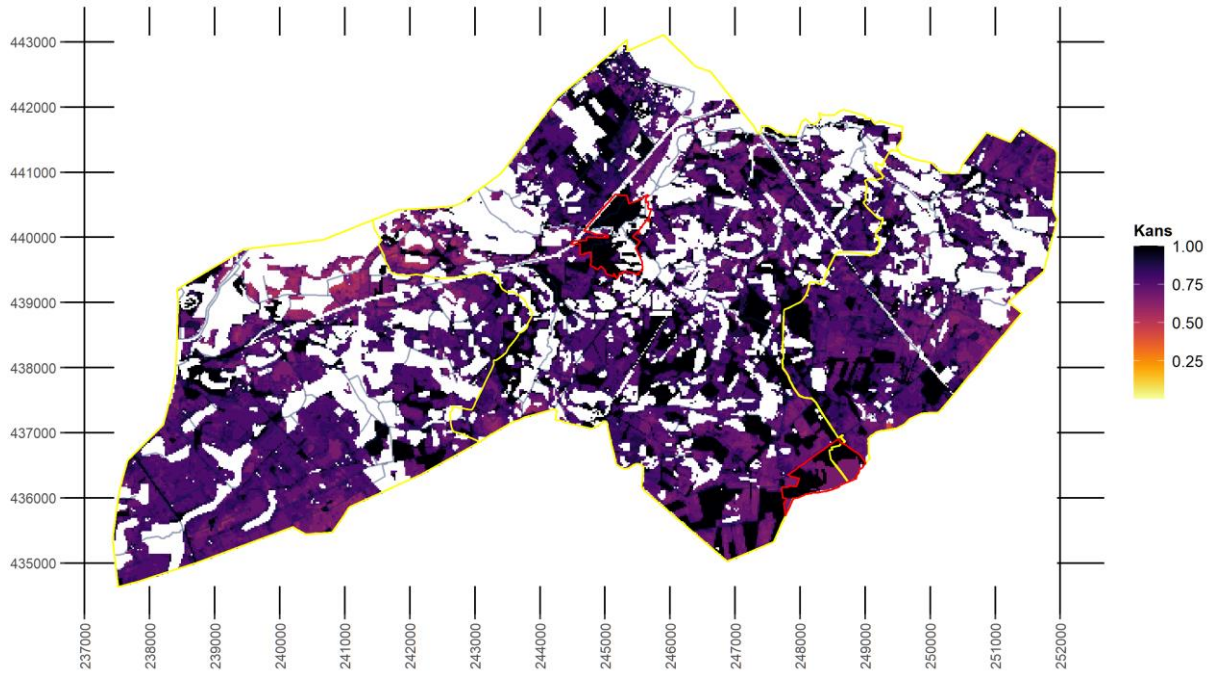
Realisatiekans N06.02 - Trilveen
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



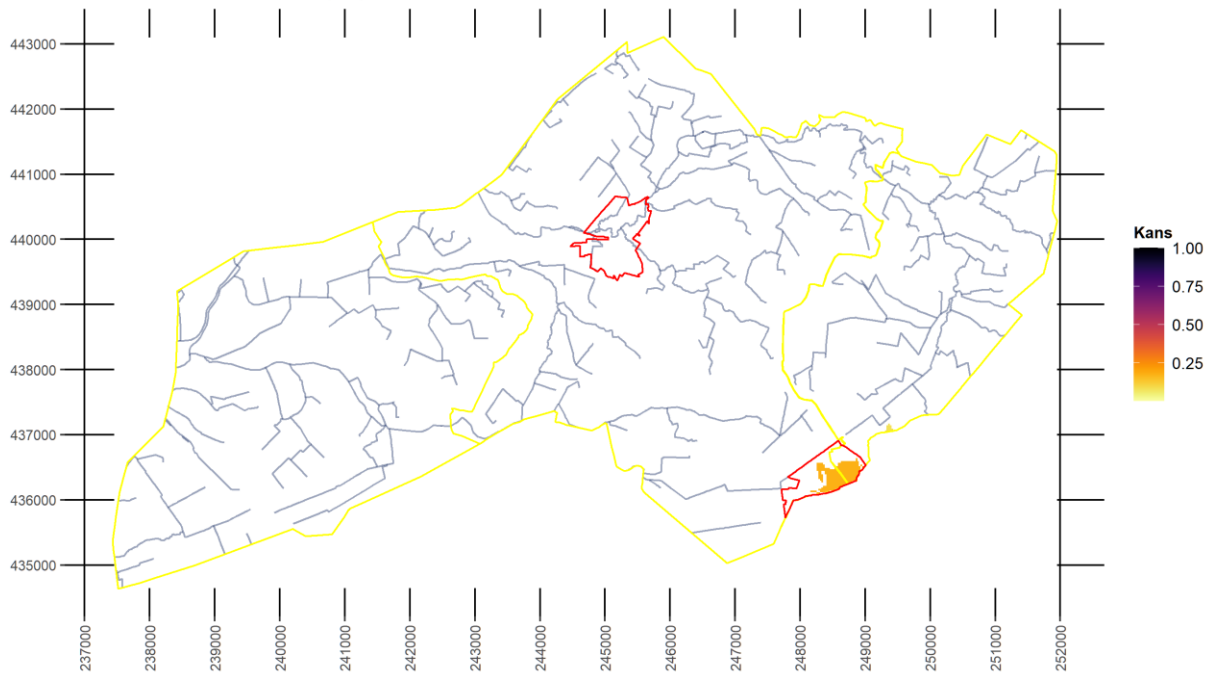
Realisatiekans N06.03 - Hoogveen
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



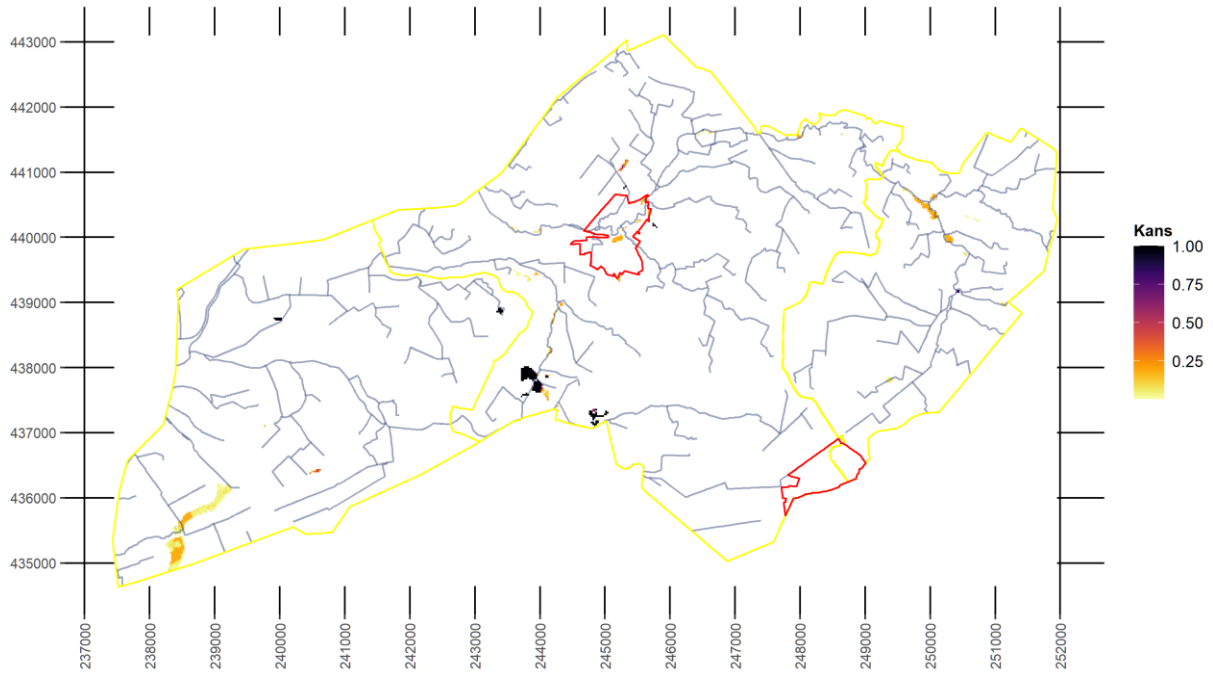
Realisatiekans N06.04 - Vochtige heide
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



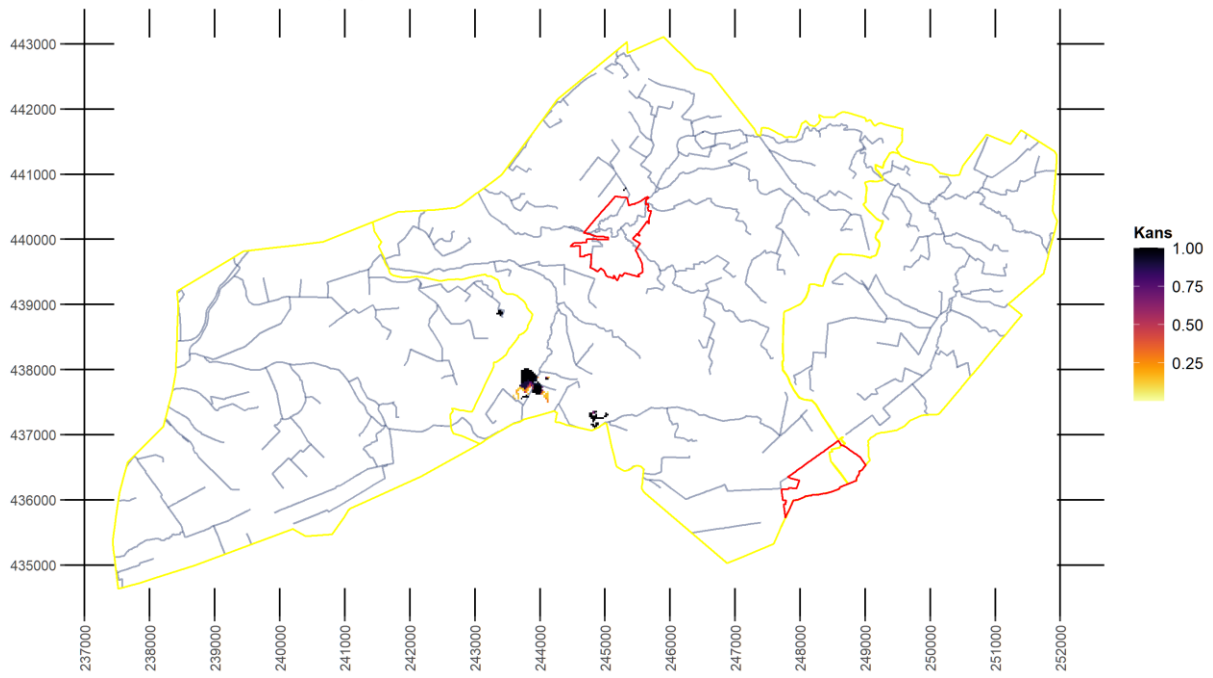
Realisatiekans N06.06 - Zuur ven of hoogveenven
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



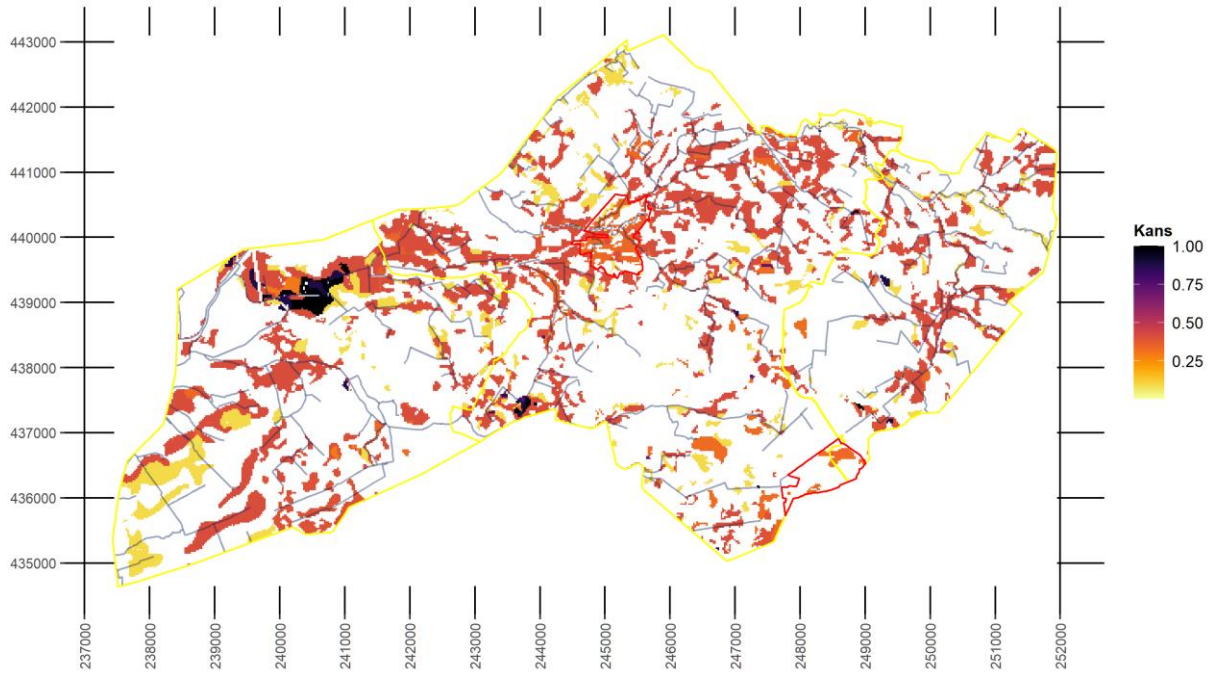
Realisatiekans N07.01 - Droge heide
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



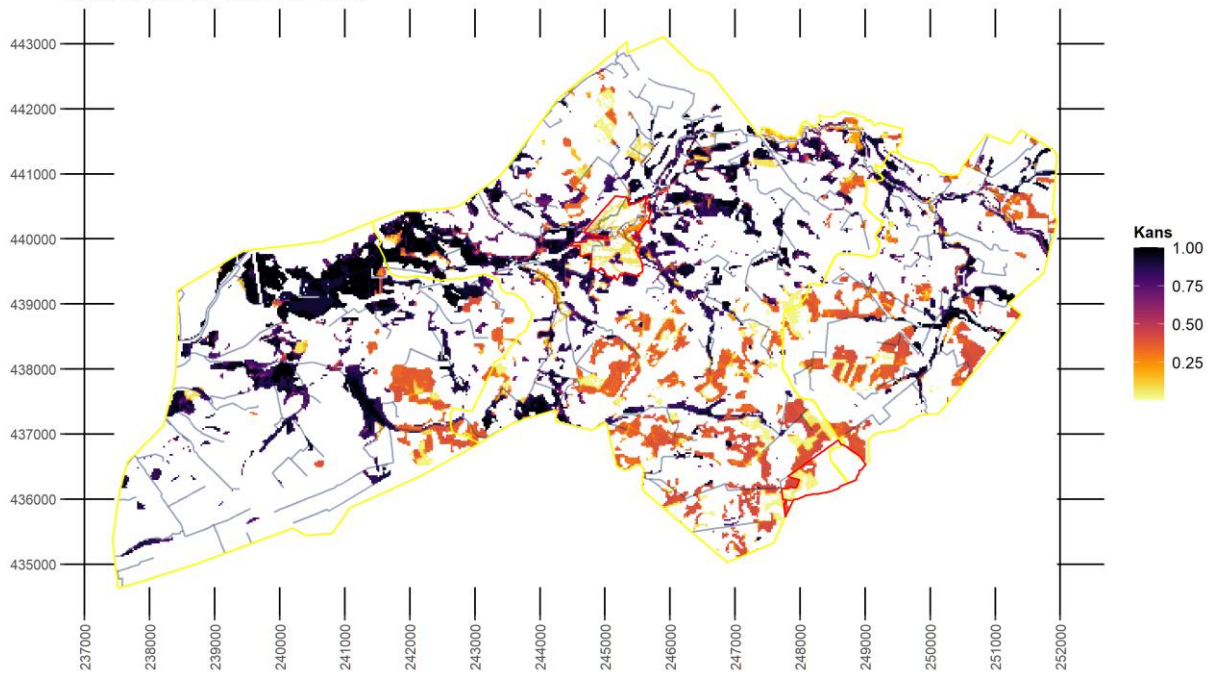
Realisatiekans N07.02 - Zandverstuiving
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



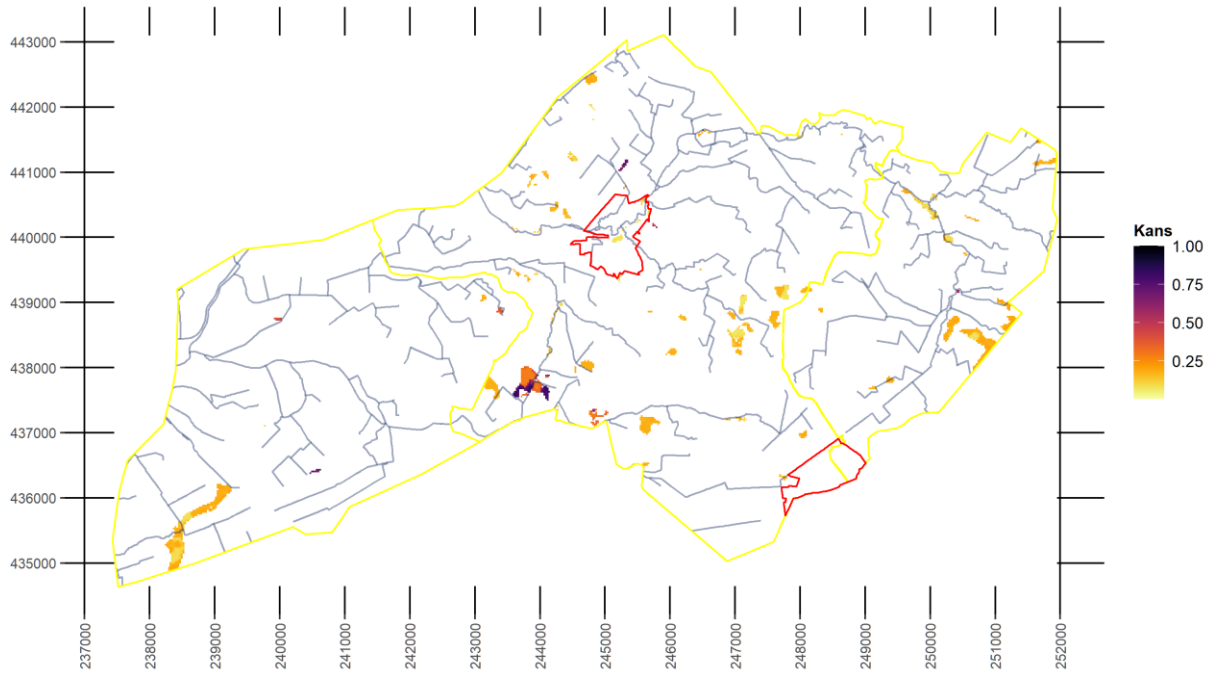
Realisatiekans N10.01 - Nat schraalland
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



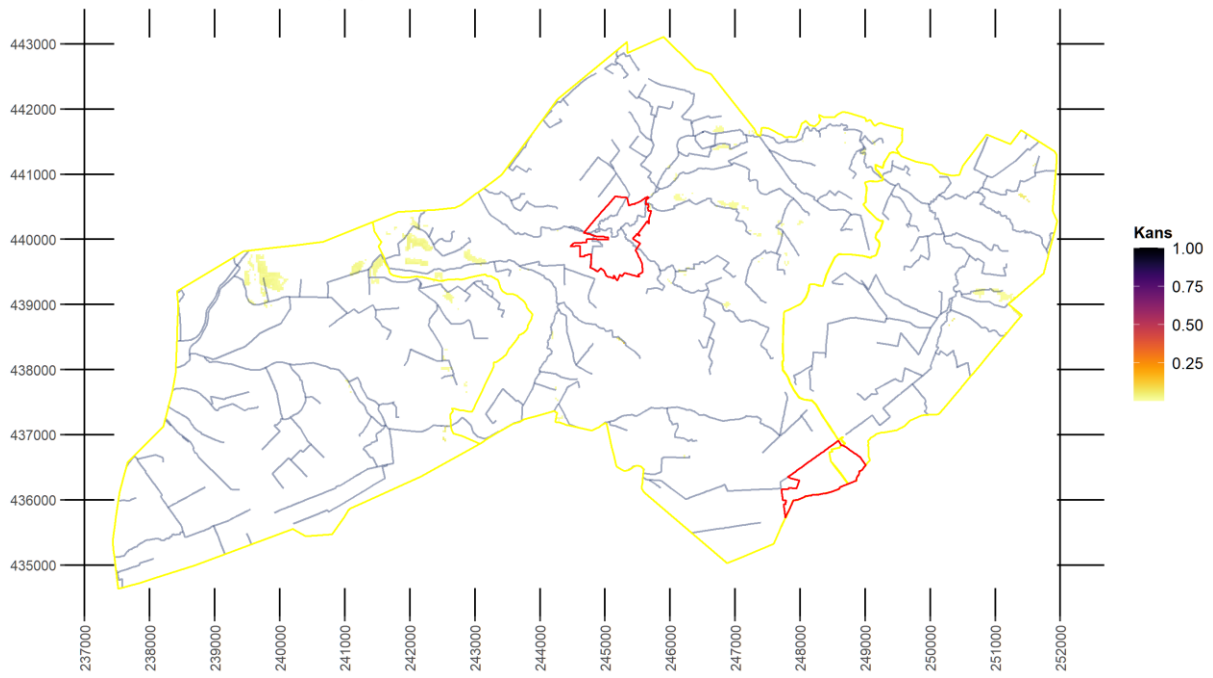
Realisatiekans N10.02 - Vochtig hooiland
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



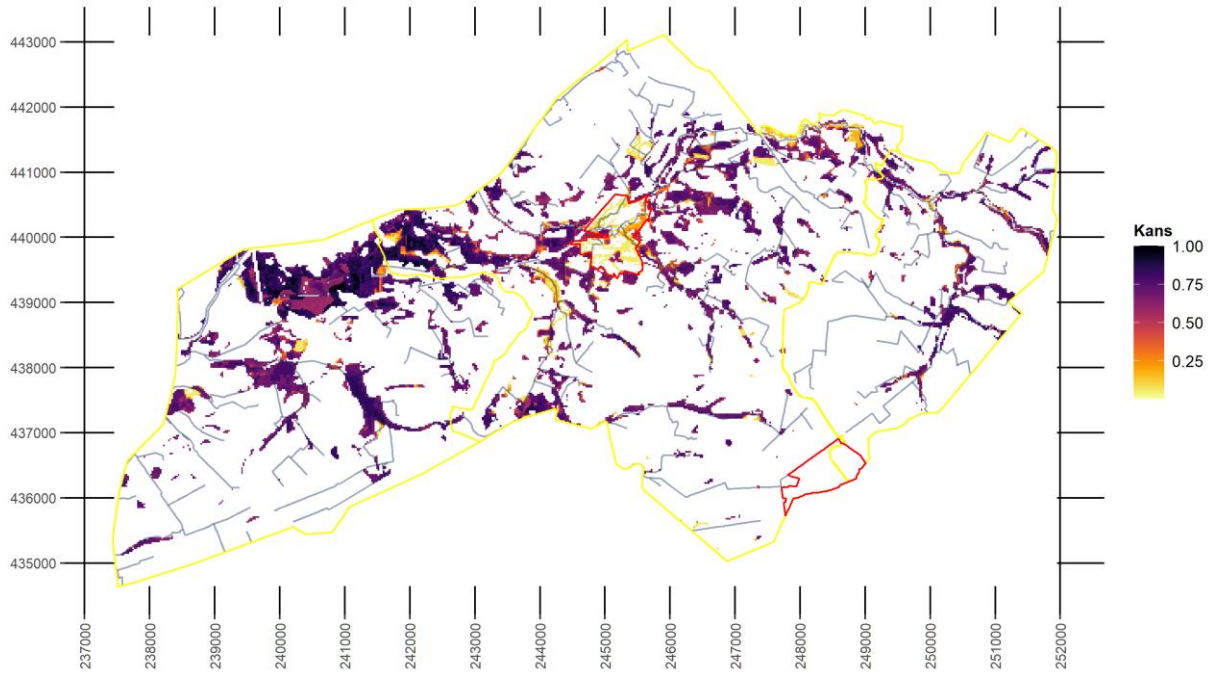
Realisatiekans N11.01 - Droog schraalgrasland
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



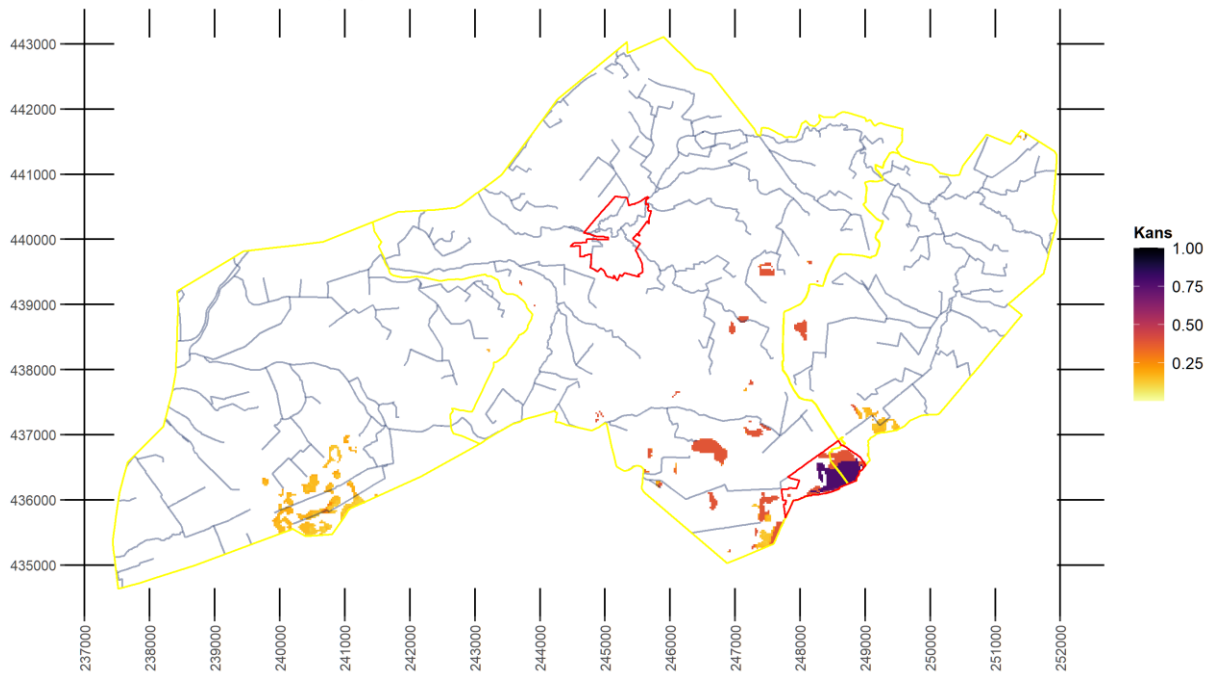
Realisatiekans N12.03 - Glanshaverhooiland
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



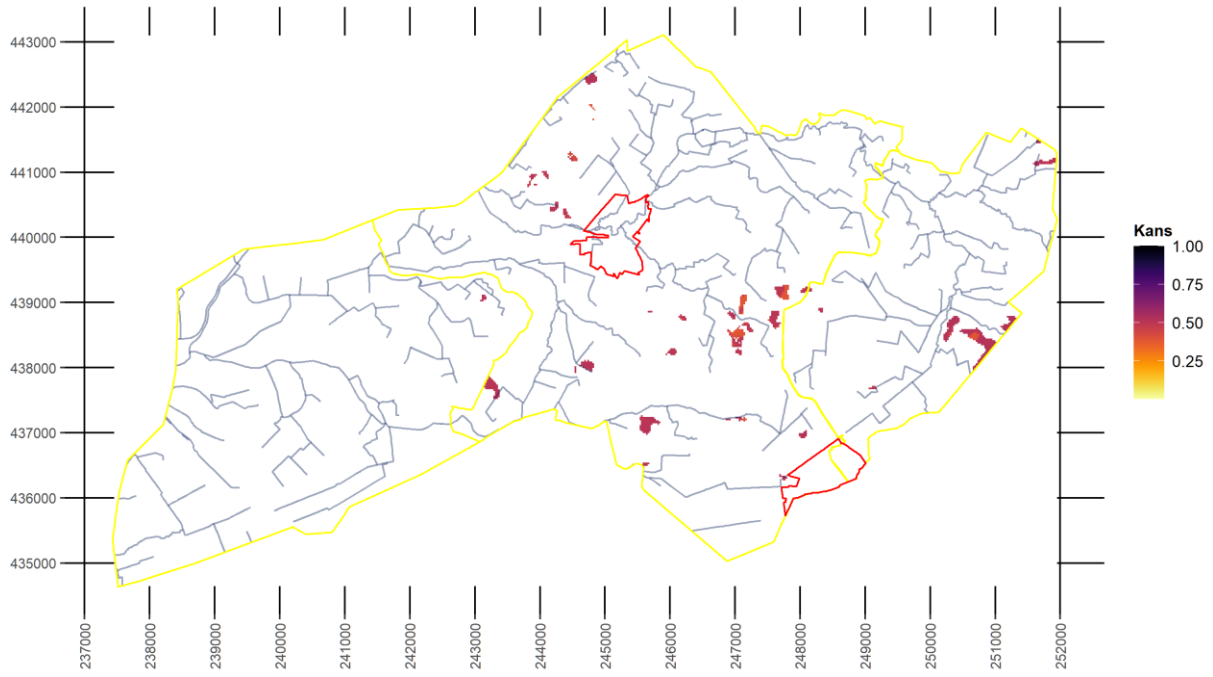
Realisatiekans N14.01 - Rivier- en beekbegeleidend bos
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



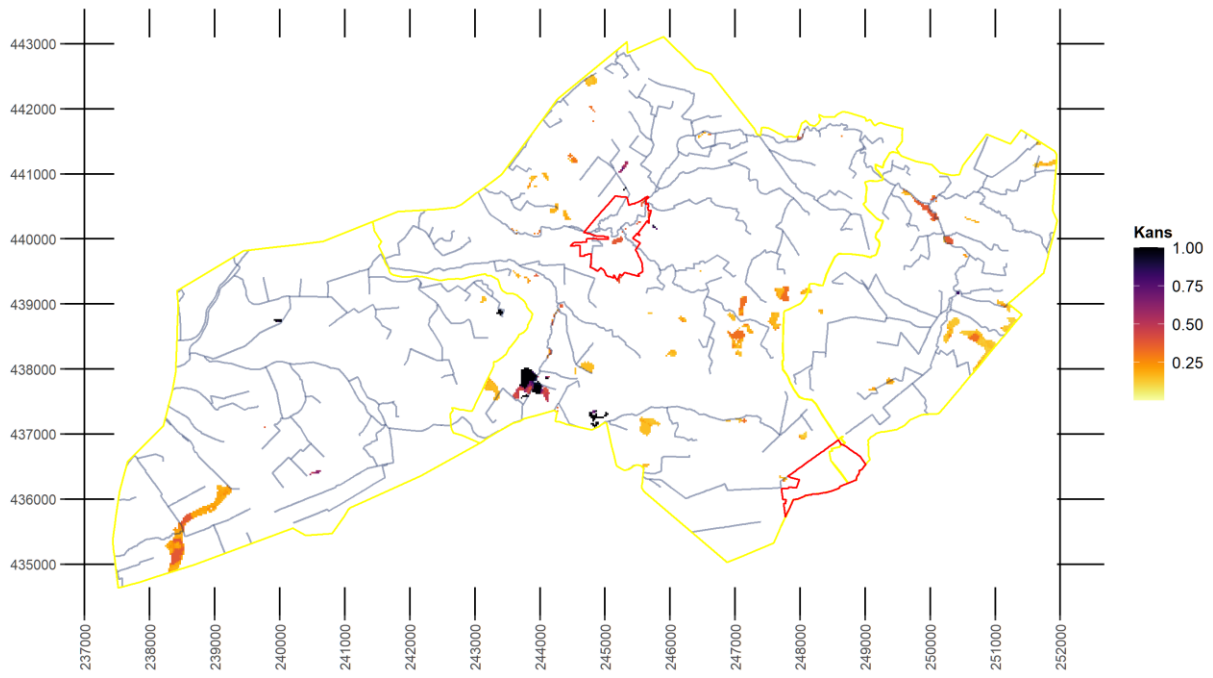
Realisatiekans N14.02 - Hoog- en laagveenbos
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



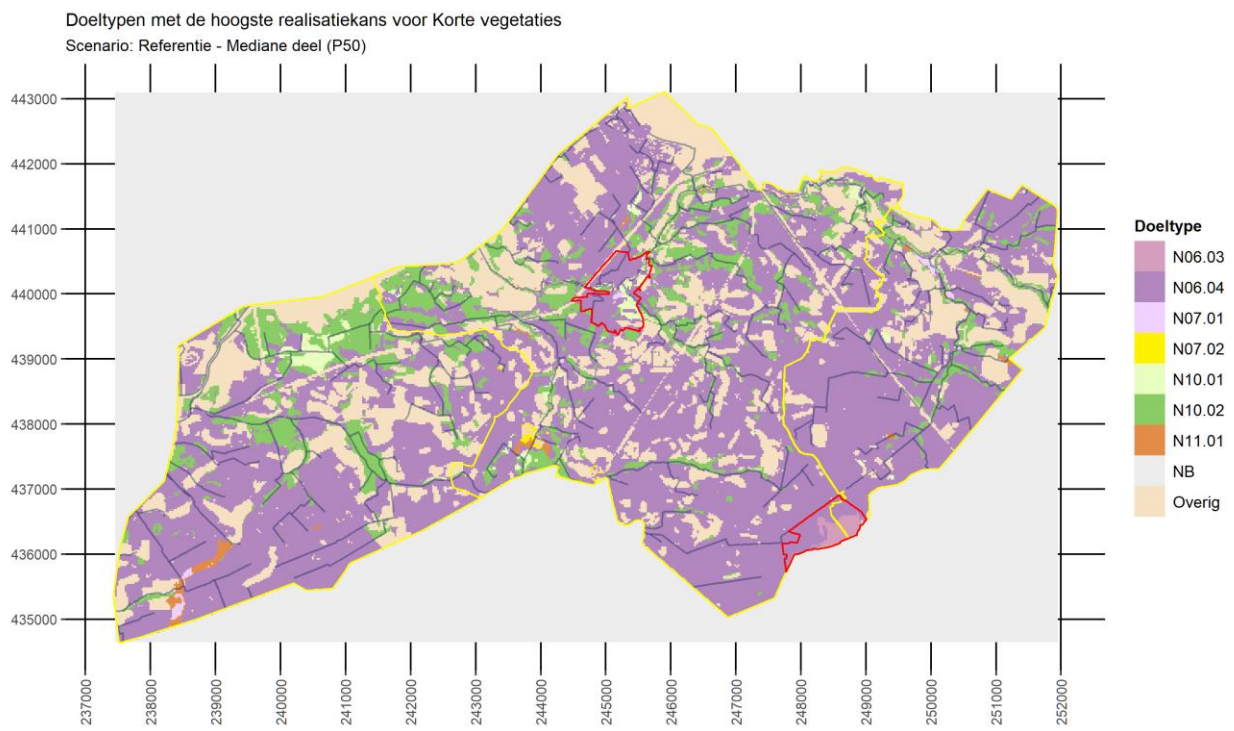
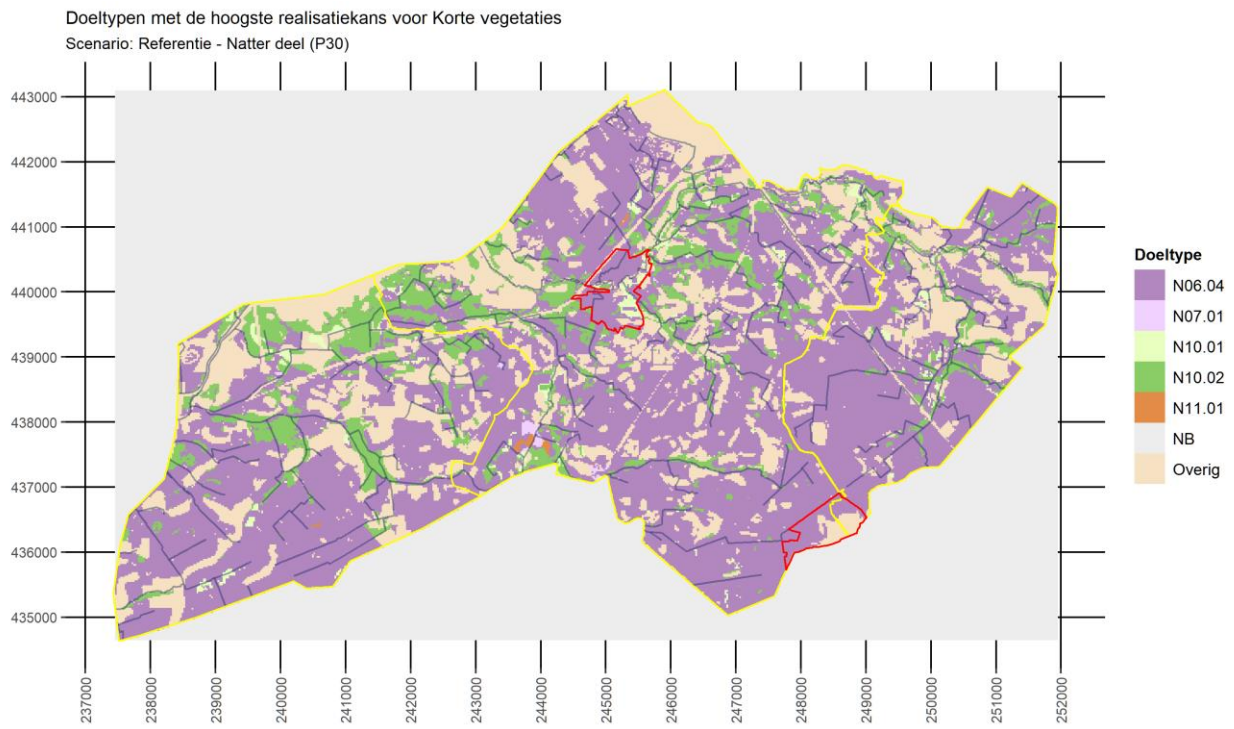
Realisatiekans N14.03 - Haagbeuken- en essenbos
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



Realisatiekans N15.02 - Dennen-, eiken- en beukenbos
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



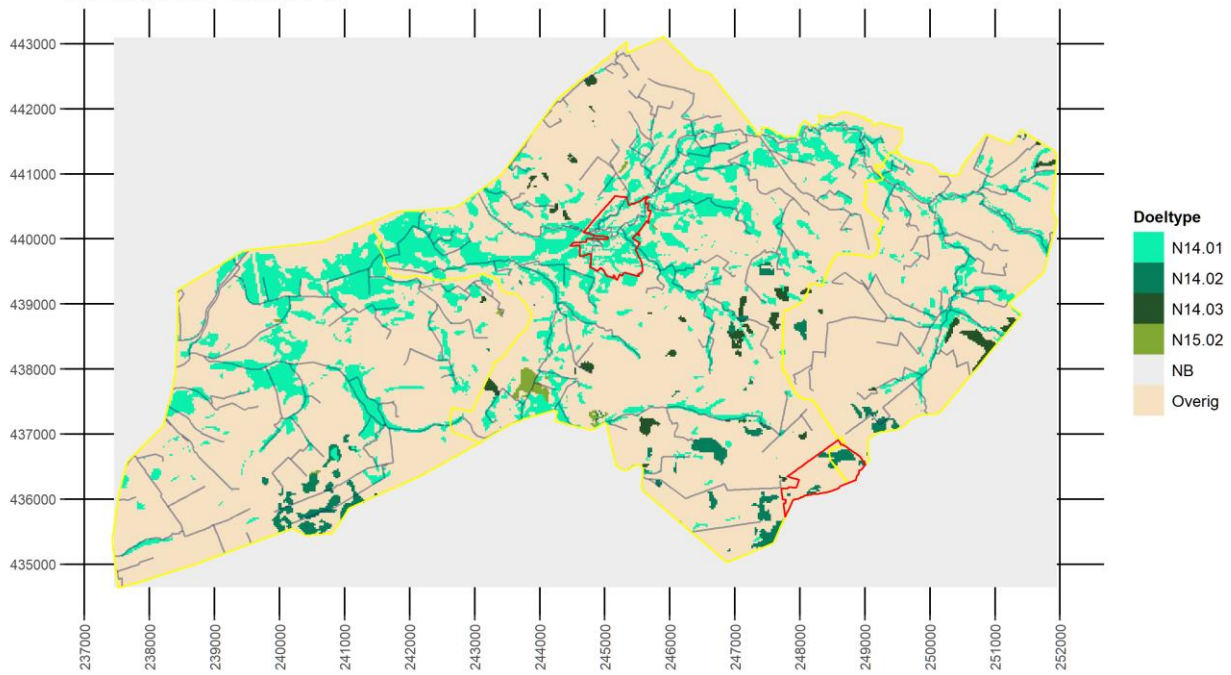
Maximale realisatiekansen in de vochtgradiënt



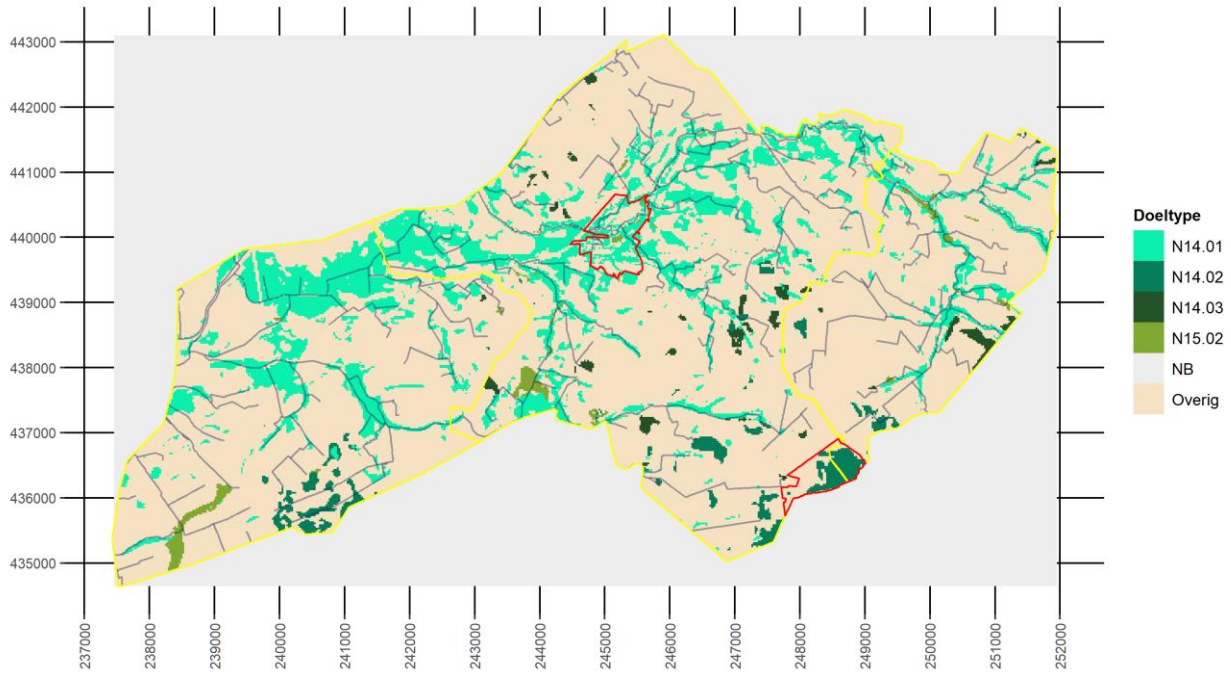
Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor Korte vegetaties
 Scenario: Referentie - Droger deel (P70)



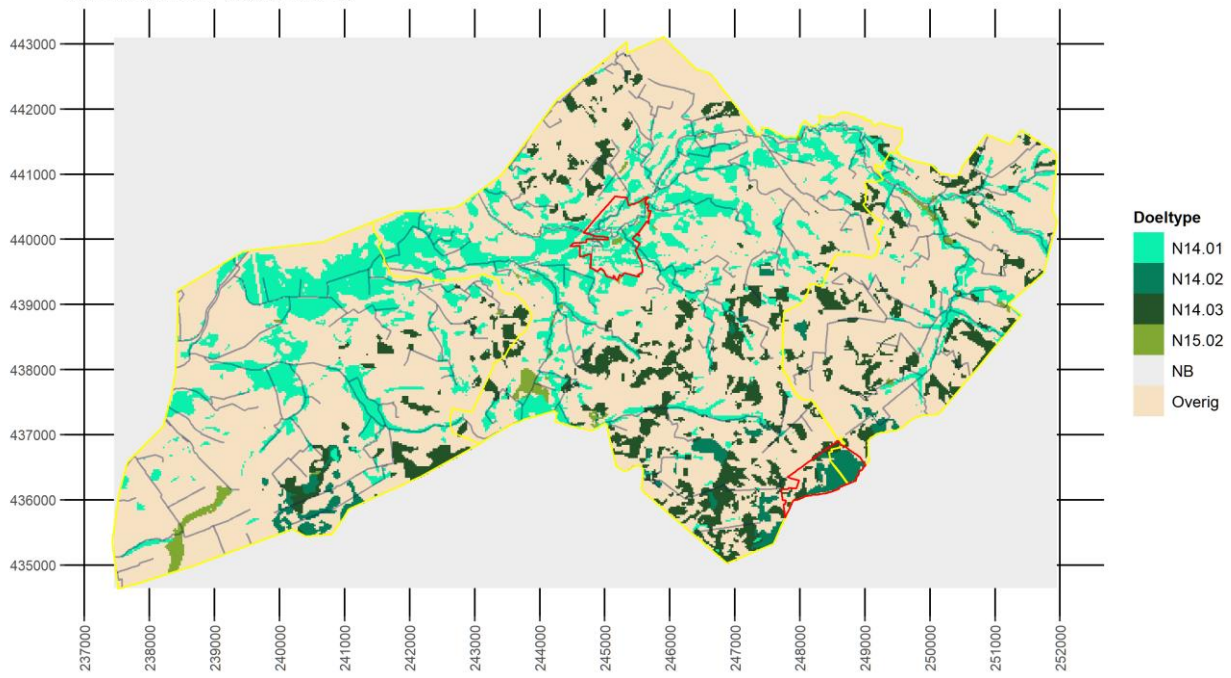
Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor Bos en Struweel
 Scenario: Referentie - Natter deel (P30)



Doeltypen met de hoogste realisatiekans voor Bos en Struweel
Scenario: Referentie - Mediane deel (P50)



Doeltypen met de hoogste realisatiekans voor Bos en Struweel
Scenario: Referentie - Droger deel (P70)



Bijlage 4 Ecologische toestand waternatuur

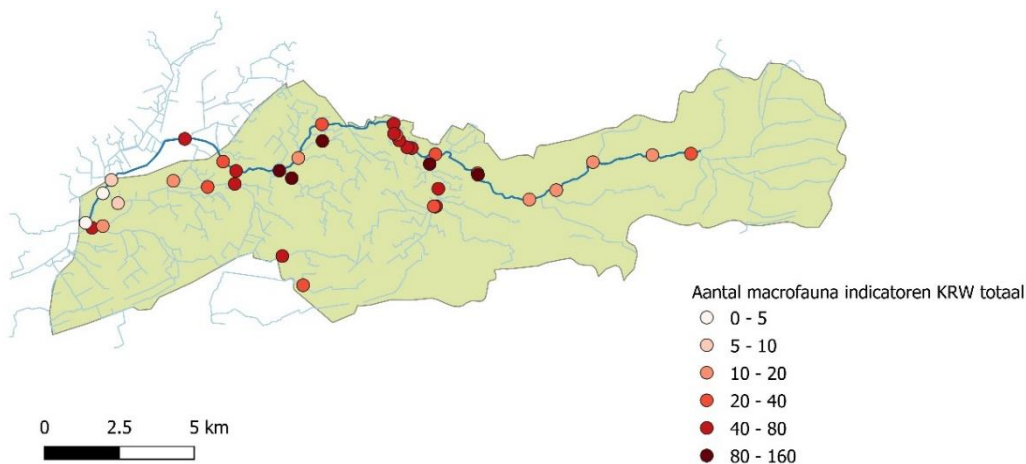
Huidige samenstelling en indicatiewaarde waternatuur

Biologische gegevens van de Schlinge-Boven-Slinge zijn afkomstig van waterschap Rijn en IJssel en het Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen beschikbaar via de databases ELWAS-WEB (<https://www.elwasweb.nrw.de/>) en FischInfo Nordrhein-Westfalen (<https://fischinfo.naturschutzinformationen.nrw.de/fischinfo/de/start>). Data van macrofauna, waterplanten en vissen zijn gebruikt vanaf het jaar 2000.

Macrofauna

Er waren gegevens beschikbaar van 38 locaties binnen het stroomgebied. In totaal zijn daar 237 indicatieve taxa (positief dominante taxa en kenmerkende taxa voor de watertypen R4b, R5 en R19; Van der Molen et al., 2018) aangetroffen vanaf het jaar 2000 (Tabel B4.1).

Opvallend is het grote aantal macrofauna-indicatoren dat in het stroomgebied voorkomt, waaronder veel op landelijke en regionale schaal zeldzame taxa. De fauna van het stroomgebied is daarmee als waardevol te beschouwen. Indicatoren komen zowel in de Slinge als de zijbeken voor, met 'hotspots' in Bekkendelle en omgeving (Boven-Slinge in Bekkendelle en benedenstroomse delen Limbeek en Siepersbeek), het benedenstroomse deel van de Osink-Bemersbeek en de Boven-Slinge bij de Vossenveldseweg. Het meest benedenstroomse gedeelte van het onderzoeksgebied is juist relatief arm aan indicatoren (Figuur B4.1).



Figuur B4.1 Totaalaantal positief dominante en kenmerkende macrofaunataxa aangetroffen in de periode 2000-2021 op de biologische meetpunten in het stroomgebied van de Slinge.

Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW			Zeldzaamheid		Aangetroffen in beek sinds 2000													
		R1 9	R4 b	R 5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)
<i>Parathyas pachystoma</i>	Arachnida	K			VZ	Z					1									
<i>Piona pusilla</i>	Arachnida	P			ZA	ZA	1													
<i>Sperchon clupeifer</i>	Arachnida	K	K	K	VA	A	1		1	1	1								1	
<i>Sperchon denticulatus</i>	Arachnida			K	gg	gg	1			1										
<i>Sperchon squamosus</i>	Arachnida	K	K	K	VZ	VA	1			1	1	1								
<i>Sperchon turgidus</i>	Arachnida	K	K	K	VZ	Z	1													
<i>Sperchonopsis verrucosa</i>	Arachnida	K	K	K	Z	A	1			1	1			1						
<i>Torrenticola amplexa</i>	Arachnida	K	K	K	VA	A	1		1		1									
<i>Wettina podagrica</i>	Arachnida	K	K	K	VA	A	1			1	1			1						
<i>Gammarus fossarum</i>	Amphipoda	P	P	P	VA	VA	1													
<i>Gammarus pulex</i>	Amphipoda	P	P	P	ZA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
<i>Gammarus roeseli</i>	Amphipoda	P	P	P	A	ZA	1		1	1	1	1	1			1			1	
<i>Agabus didymus</i>	Coleoptera		K	K	A	A	1	1	1					1	1				1	
<i>Agabus paludosus</i>	Coleoptera	K	K		VZ	VZ		1		1	1									
<i>Anacaena globulus</i>	Coleoptera			K	ZA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1
<i>Cercyon bifenestratus</i>	Coleoptera	K			Z		1			1					1					
<i>Chaetarthria seminulum</i>	Coleoptera	K			VZ	Z						1								
<i>Cyphon</i>	Coleoptera	P			A	VA		1												
<i>Elmis aenea</i>	Coleoptera	K	K	K	VA	ZA	1		1	1	1		1							
<i>Elodes</i>	Coleoptera	P	P		A	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1						
<i>Haliplus laminatus</i>	Coleoptera	K	K	K	A	ZA	1					1	1				1		1	
<i>Haliplus sibiricus</i>	Coleoptera	K	K		VA	A	1		1											
<i>Helophorus flavipes</i>	Coleoptera	K			ZZ	Z			1											
<i>Hydraena assimilis</i>	Coleoptera	K	K		Z	Z	1													
<i>Hydraena riparia</i>	Coleoptera	K	K		VZ	Z	1													
<i>Hydraena testacea</i>	Coleoptera	K			VA	A	1	1				1						1		
<i>Hydroporus discretus</i>	Coleoptera	K	K		VZ	VZ				1				1						
<i>Hydroporus obscurus</i>	Coleoptera	K			VZ				1											
<i>Hydroporus scalesianus</i>	Coleoptera	K			Z	Z	1													
<i>Ilybius chalconatus</i>	Coleoptera	K	K		VZ	VZ					1									
<i>Limnebius nitidus</i>	Coleoptera	K		K	Z	VZ				1										
<i>Limnebius truncatellus</i>	Coleoptera	K	K	K	Z	VZ			1					1						

Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW					Zeldzaamheid														Aangetroffen in beek sinds 2000									
		R1 9	R4 b	R 5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)										
<i>Anabolia nervosa</i>	Trichoptera	P	P	K	ZA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1									
<i>Athripsodes cinereus</i>	Trichoptera	P	P	K	A	ZA	1		1			1	1	1							1									
<i>Beraea pullata</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	VZ				1																				
<i>Beraeodes minutus</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	A	1			1	1																			
<i>Chaetopteryx villosa</i>	Trichoptera	K	K	K	VA	VA	1																							
<i>Cyrnus trimaculatus</i>	Trichoptera			K	A	ZA	1		1			1									1									
<i>Enoicyla pusilla</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	VZ	1								1	1				1										
<i>Glyphotaelius pellucidus</i>	Trichoptera	K	K	P	VA	ZA	1	1		1	1	1		1	1															
<i>Goera pilosa</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	VA	1				1																			
<i>Halesus digitatus</i>	Trichoptera	K	K	K	Z	VA	1			1																				
<i>Halesus radiatus</i>	Trichoptera	K	K	K	VA	ZA	1	1		1	1	1	1	1	1															
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	Trichoptera	K	K	K	A	ZA	1		1			1		1	1						1									
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	Trichoptera	K	K	K	VA	A	1																							
<i>Hydropsyche siltalai</i>	Trichoptera		K	K	VZ	VZ	1					1																		
<i>Hydroptila</i>	Trichoptera	K	K		VA	A	1		1																					
<i>Ironoquia dubia</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	ZA	1	1		1	1	1	1	1	1				1											
<i>Limnephilus binotatus</i>	Trichoptera	K			ZZ			1																						
<i>Limnephilus bipunctatus</i>	Trichoptera			P	ZZ	VZ				1	1																			
<i>Limnephilus centralis</i>	Trichoptera	K	K	K	Z	Z		1	1																					
<i>Limnephilus decipiens</i>	Trichoptera	K			A	VA				1																				
<i>Limnephilus extricatus</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	A	1	1	1	1	1	1	1		1															
<i>Limnephilus flavicornis</i>	Trichoptera	P			A	ZA	1	1	1			1	1	1																
<i>Limnephilus lunatus</i>	Trichoptera	P	P		ZA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
<i>Limnephilus rhombicus</i>	Trichoptera	P			VA	ZA	1	1	1	1		1			1															
<i>Limnephilus stigma</i>	Trichoptera	K			VZ	VZ																								
<i>Limnephilus subcentralis</i>	Trichoptera	K			Z	Z																								
<i>Lithax obscurus</i>	Trichoptera	K	K		Z	A	1			1	1				1				1											
<i>Lype phaeopa</i>	Trichoptera	K	K	K	A	A	1				1																			
<i>Lype reducta</i>	Trichoptera	K	K		VA	A	1		1		1	1			1															
<i>Micropterna lateralis</i>	Trichoptera	K	K		VZ	VA		1		1		1			1	1														
<i>Micropterna sequax</i>	Trichoptera	K	K	K	VZ	VA				1					1				1											
<i>Molanna angustata</i>	Trichoptera	K	K	K	A	ZA	1		1												1									

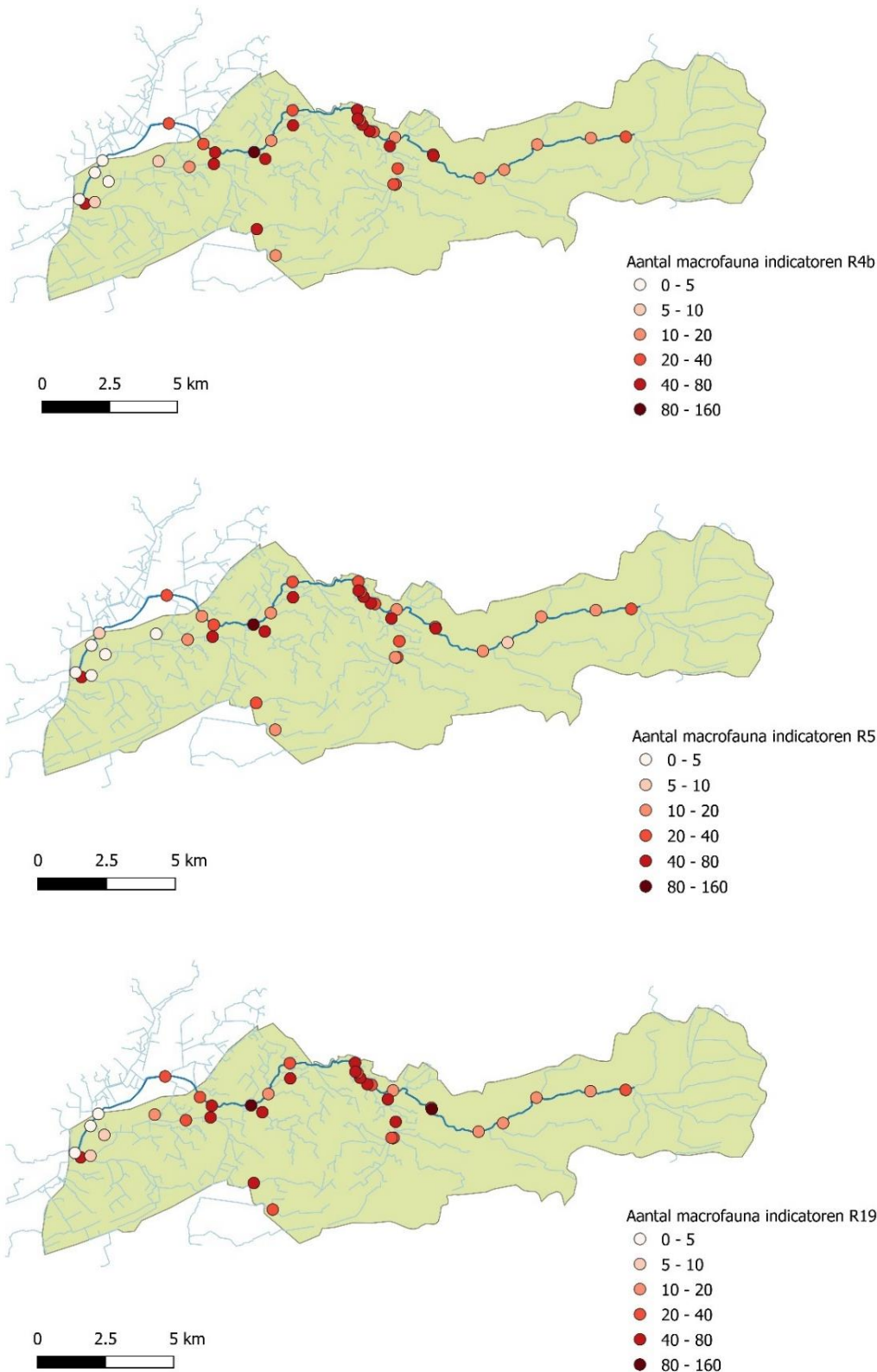
Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW			Zeldzaamheid		Aangetroffen in beek sinds 2000													
		R1 9	R4 b	R 5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)
<i>Hydrobaenus pilipes</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	ZZ	VZ	1													
<i>Limnophyes</i>	Diptera: Chironomidae	P			ZA	ZA	1		1											
<i>Macropelopia adaucta</i>	Diptera: Chironomidae	P	P		A	ZA	1			1	1			1						
<i>Macropelopia nebulosa</i>	Diptera: Chironomidae	P			A	A	1	1		1	1	1		1						
<i>Macropelopia notata</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		VZ	VA			1		1	1								
<i>Metriocnemus hirticollis</i> agg.	Diptera: Chironomidae	P			A	A	1													
<i>Micropsectra</i>	Diptera: Chironomidae			P	gg	gg	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1	1
<i>Micropsectra apposita</i>	Diptera: Chironomidae	P	P	P	VZ	VA	1	1				1								
<i>Micropsectra apposita/notescens</i>	Diptera: Chironomidae			P	A	ZA	1		1											
<i>Micropsectra atrofasciata</i> [1]	Diptera: Chironomidae			P	VA	VA	1					1								
<i>Micropsectra atrofasciata</i> gr.	Diptera: Chironomidae			P	gg	gg	1	1		1	1	1								
<i>Micropsectra junci</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	P	VZ															
<i>Micropsectra notescens</i>	Diptera: Chironomidae	K	P	K	VZ	VZ														
<i>Micropsectra recurvata</i>	Diptera: Chironomidae		P	P	ZZ	VA	1													
<i>Micropsectra roseiventris</i>	Diptera: Chironomidae	K		P	VZ	VA	1						1							
<i>Microtendipes pedellus</i>	Diptera: Chironomidae			K	VA	ZA	1	1	1	1	1	1	1							
<i>Nanocladius rectinervis</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VZ	VA	1													
<i>Natarsia</i>	Diptera: Chironomidae	K			VA	VA						1								

Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW					Zeldzaamheid														Aangetroffen in beek sinds 2000									
		R1 9	R4 b	R 5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)										
<i>Odontomesa fulva</i>	Diptera: Chironomidae	P	P	K	VA	A	1		1	1				1	1															
<i>Orthocladius (Euorthocladius)</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	Z	VZ	1		1		1																			
<i>Orthocladius frigidus</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		Z	VA	1																							
<i>Orthocladius oblidens</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	A	1		1																					
<i>Paracladius conversus</i>	Diptera: Chironomidae	K			A	ZA	1																							
<i>Paracladopelma camptolabis</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	VA			1	1																				
<i>Paracladopelma laminatum</i>	Diptera: Chironomidae			K	VA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1					1											
<i>Paracladopelma nigritulum</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	A	1		1	1	1			1																
<i>Parametriochnemus stylatus</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		VA	VA	1																							
<i>Paratendipes albimanus</i>	Diptera: Chironomidae	P	P		ZA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1									
<i>Paratrichocladius rufiventris</i>	Diptera: Chironomidae			K	A	A	1				1																			
<i>Phaenopsectra</i>	Diptera: Chironomidae	P			ZA	ZA	1	1		1	1	1	1	1				1			1									
<i>Phaenopsectra flavipes</i>	Diptera: Chironomidae	P			ZA	ZA	1		1		1	1		1																
<i>Polypedilum albicorne</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		VZ	A	1	1	1		1	1		1																
<i>Polypedilum bicrenatum</i>	Diptera: Chironomidae	P		K	ZA	ZA	1				1																			
<i>Polypedilum convictum</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	A	1	1		1	1	1	1	1																
<i>Polypedilum laetum</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	Z	Z	1			1									1											
<i>Polypedilum pedestre</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	A	1			1	1	1		1					1											

Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW					Zeldzaamheid														Aangetroffen in beek sinds 2000									
		R1 9	R4 b	R 5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)										
<i>Polypedilum scalaenum</i>	Diptera: Chironomidae	P	P	P	A	ZA	1	1		1	1	1	1	1	1			1												
<i>Polypedilum uncinatum</i>	Diptera: Chironomidae	P			A	A	1	1		1																				
<i>Potthastia longimanus</i>	Diptera: Chironomidae	K		K	VA	A	1			1																				
<i>Prodiamesa olivacea</i>	Diptera: Chironomidae	P	P		ZA	ZA	1	1		1	1	1		1	1		1		1	1										
<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>	Diptera: Chironomidae	K	K	K	VA	VA	1																							
<i>Rheocricotopus effusus</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		Z	VZ	1																							
<i>Rheocricotopus fuscipes</i>	Diptera: Chironomidae	P	P	K	VA	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1																
<i>Rheotanytarsus</i>	Diptera: Chironomidae	P	P	K	A	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1																
<i>Stempellina bausei</i>	Diptera: Chironomidae				K	VA	VA	1			1																			
<i>Stictochironomus maculipennis</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		VZ	A	1	1		1	1			1																
<i>Stictochironomus pictulus</i>	Diptera: Chironomidae	K			VA	A	1				1																			
<i>Synorthocladius semivirens</i>	Diptera: Chironomidae				K	VZ	VA	1																						
<i>Tanytarsus ejuncidus</i>	Diptera: Chironomidae	P			A	A	1																							
<i>Tanytarsus eminulus</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		VA	VA	1					1		1																
<i>Tanytarsus heusdensis</i>	Diptera: Chironomidae	P	P		VA	A	1		1		1			1																
<i>Tanytarsus palettaris</i>	Diptera: Chironomidae	K	K		Z	VZ					1																			
<i>Tanytarsus pallidicornis</i>	Diptera: Chironomidae	P			A	ZA	1		1		1	1						1		1										
<i>Thienemanniella clavicornis</i> agg.	Diptera: Chironomidae	K	K		VZ	VZ	1				1																			

Taxon	Hoofdgroep	Indicatief KRW			Zeldzaamheid		Aangetroffen in beek sinds 2000														
		R19	R4b	R5	NL	WRIJ	BOS (20)	DAM (1)	HAW (1)	LIM (1)	OBB (3)	SIP (1)	SPB (1)	STB (2)	WSW (1)	KEB (2)	STU (1)	SWL (1)	VHW (1)	ZWG (2)	
<i>Pilaria</i>	Diptera: Limoniidae	P	P		A	ZA	1	1						1		1					
<i>Pseudolimnophila</i>	Diptera: Limoniidae	P	P		VZ	VA								1							
<i>Simulium angustipes</i>	Diptera: Simuliidae	K	K	K	VA	VZ	1	1													
<i>Simulium aureum</i>	Diptera: Simuliidae	K	K	K	Z	VZ							1								
<i>Simulium cryophilum</i>	Diptera: Simuliidae	K	K		Z	VA	1	1	1	1					1						
<i>Simulium erythrocephalum</i>	Diptera: Simuliidae	P	P	K	VA	VA	1														
<i>Simulium morsitans</i>	Diptera: Simuliidae	K	K	K	VZ	VZ	1														
<i>Simulium noelleri</i>	Diptera: Simuliidae	P	P		VA	A	1														
<i>Simulium ornatum</i>	Diptera: Simuliidae	P	P	P	VZ	VZ	1														
<i>Simulium ornatum</i> gr.	Diptera: Simuliidae	P	P		VA	VA	1														
<i>Simulium venum</i>	Diptera: Simuliidae	K	K	K	VA	ZA	1	1	1	1	1	1			1					1	
<i>Musculium lacustre</i>	Bivalvia	P			ZA	ZA										1	1				1
<i>Pisidium obtusale</i>	Bivalvia	P			A	VA							1								
<i>Pisidium personatum</i>	Bivalvia	K	K		VZ	VZ					1										
<i>Pisidium pseudosphaerium</i>	Bivalvia	K			VA	Z							1								
<i>Pisidium supinum</i>	Bivalvia			P	A	A	1				1										
<i>Ancylus fluviatilis</i>	Gastropoda	K	K	K	A	ZA	1		1	1				1							
<i>Aplexa hypnorum</i>	Gastropoda	K			VA	VA	1	1				1			1					1	
<i>Omphiscola glabra</i>	Gastropoda	K			VZ	VA	1	1	1	1		1									
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Gastropoda			P	ZA	ZA	1		1	1	1					1				1	

Binnen het stroomgebied komen indicatoren voor de verschillende watertypen door elkaar voor, onafhankelijk van de typologische indeling (Figuur B4.2). Zo worden bovenloop- en doorstroommoerassoorten ook in de midden-benedenloop aangetroffen en vice versa. Dit wijst op grote (lokale) variatie in milieuomstandigheden in de beken en in de beekdalzone.



Figuur B4.2 Aantal positief-dominante en kenmerkende macrofaunataxa aangetroffen in de periode 2000-2021 op de biologische meetpunten in het stroomgebied van de Slinge uitgesplitst naar KRW-watertype.

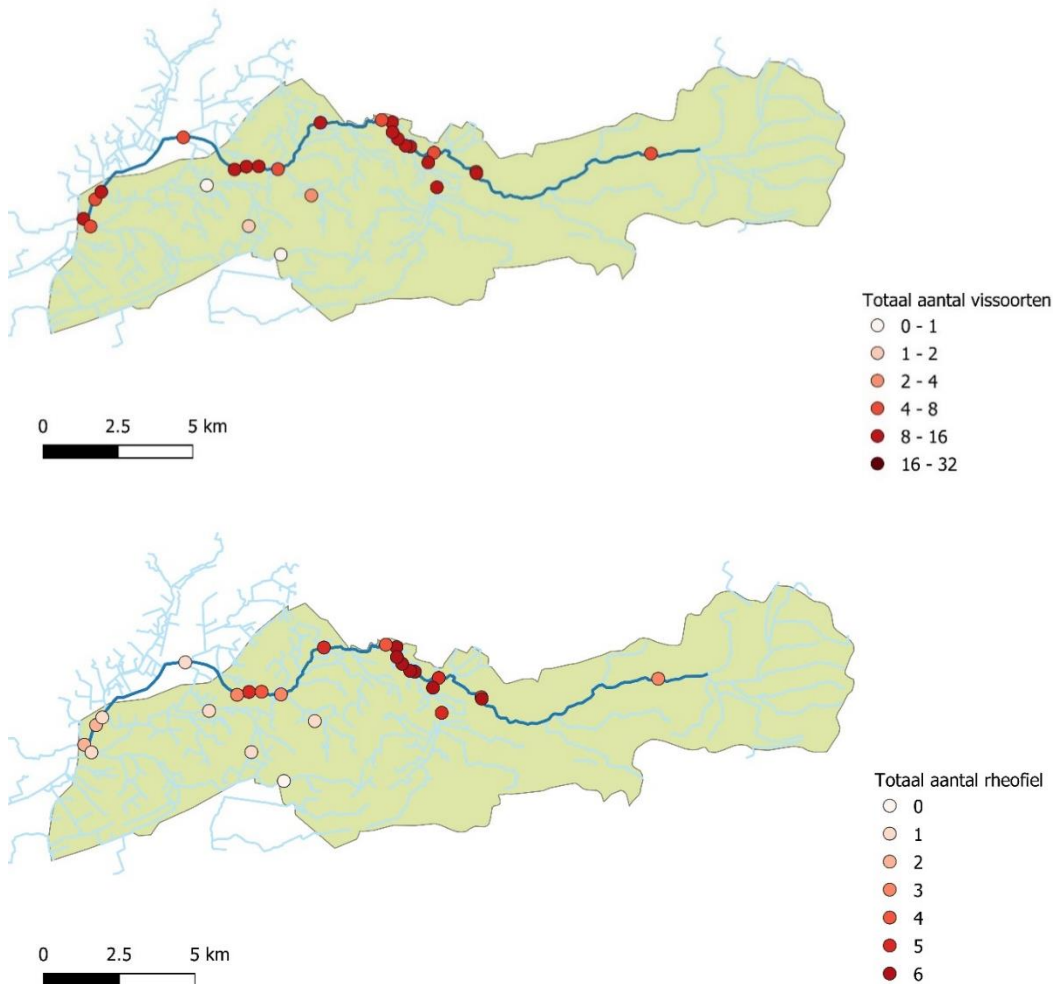
Vis

Sinds 2000 zijn er in het stroomgebied 27 soorten aangetroffen op 26 locaties, waarvan 25 soorten in de Slinge (Tabel B4.2).

Tabel B4.5 Vissen in de beken in het stroomgebied van de Boven-Slinge (periode vanaf 2000, BOS: Boven-Slinge, DAM: Dambeek, HAW: Haartse Waterleiding, KEB: Keizersbeek, LIM: Limbeek, OBB: Osink-Bemersbeek, STB: Stortelderbeek; tussen haakjes aantal beviste trajecten) en hun milieuindicaties (gilden KRW beken en kleine rivieren; R rheofiel, M: migrerend, P: plantminnend, E eurytoop, - geen indicatie beschikbaar).

Taxon	Nederlandse naam	KRW-indicatie (gilde)				Aangetroffen in beek vanaf 2000						
		R	M	P	E	BOS (18)	DAM (1)	HAW (1)	KEB (1)	LIM (1)	OBB (2)	STB (2)
<i>Abramis brama</i>	Brasem			1		1				1		
<i>Anguilla anguilla</i>	Paling			1		1		1	1			
<i>Barbatula barbatula</i>	Bermpje	1				1		1	1	1	1	1
<i>Blicca bjoerkna</i>	Kolblei				1				1			
<i>Carassius auratus auratus</i>	Goudvis					1						
<i>Carassius gibelio</i>	Giebel				1	1						
<i>Cobitis taenia</i>	Kleine modderkruiper				1	1		1	1			
<i>Cyprinus carpio</i>	Karper				1	1			1			
<i>Esox lucius</i>	Snoek			1	1	1		1	1			
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Driedoornige stekelbaars				1	1		1		1	1	1
<i>Gobio gobio</i>	Riviergrondel	1				1						1
<i>Gymnocephalus cernua</i>	Pos				1	1						
<i>Lampetra planeri</i>	Beekprik	1				1						1
<i>Lepomis gibbosus</i>	Zonnebaars											1
<i>Leucaspis delineatus</i>	Vetje				1	1						
<i>Leuciscus cephalus</i>	Kopvoorn	1	1			1						1
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Serpeling	1	1			1						1
<i>Perca fluviatilis</i>	Baars				1	1		1	1			1
<i>Pseudorasbora parva</i>	Blauwband					1						1
<i>Pungitius pungitius</i>	Tiendooornige stekelbaars				1	1		1		1		1
<i>Rhodeus amarus</i>	Bittervoorn				1	1						
<i>Rutilus rutilus</i>	Blankvoorn				1	1			1			1
<i>Salmo trutta</i>	Forel	1	1			1						1
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Ruisvoorn				1	1			1			
<i>Tinca tinca</i>	Zeelt				1	1			1			

In totaal zijn zes soorten stromingsminnend (gilde rheofiel KRW-maatlat vis beken en rivieren, Van der Molen et al. 2018) en daarmee indicatief voor stromende wateren in een goede ecologische toestand (Figuur B4.3). Het gaat om de serpeling, kopvoorn, riviergrondel, forel, beekprik en het bermpje. Het voorkomen van de forel in het stroomgebied is het resultaat van (herhaaldelijke) uitzettingen. Alle zes rheofiele soorten komen voor in de Slinge (met een duidelijke concentratie in het traject bovenstrooms van Winterswijk tot de Duitse grens) en in de Osink-Bemerbeek. In de overige beken zijn geen rheofiele soorten (Dambeek) of slechts het bermpje (Haartse Waterleiding, Stortelderbeek, Limbeek, Keizersbeek) aangetroffen. De Boven-Slinge is voor de sterk op landelijke schaal onder druk staande beekprik van groot belang, omdat deze beek een grote populatie herbergt (Tummers & Berndsens, 2022). De belangrijkste reden voor de achteruitgang van deze soort zijn de effecten van hydrologische verstoringen, met name droogval en stagnatie.



Figuur B4.3: Totaal aantal vissoorten (boven) en het aantal rheofiele vissoorten (onder) per locatie vanaf 2000 in het stroomgebied van de Slinge.

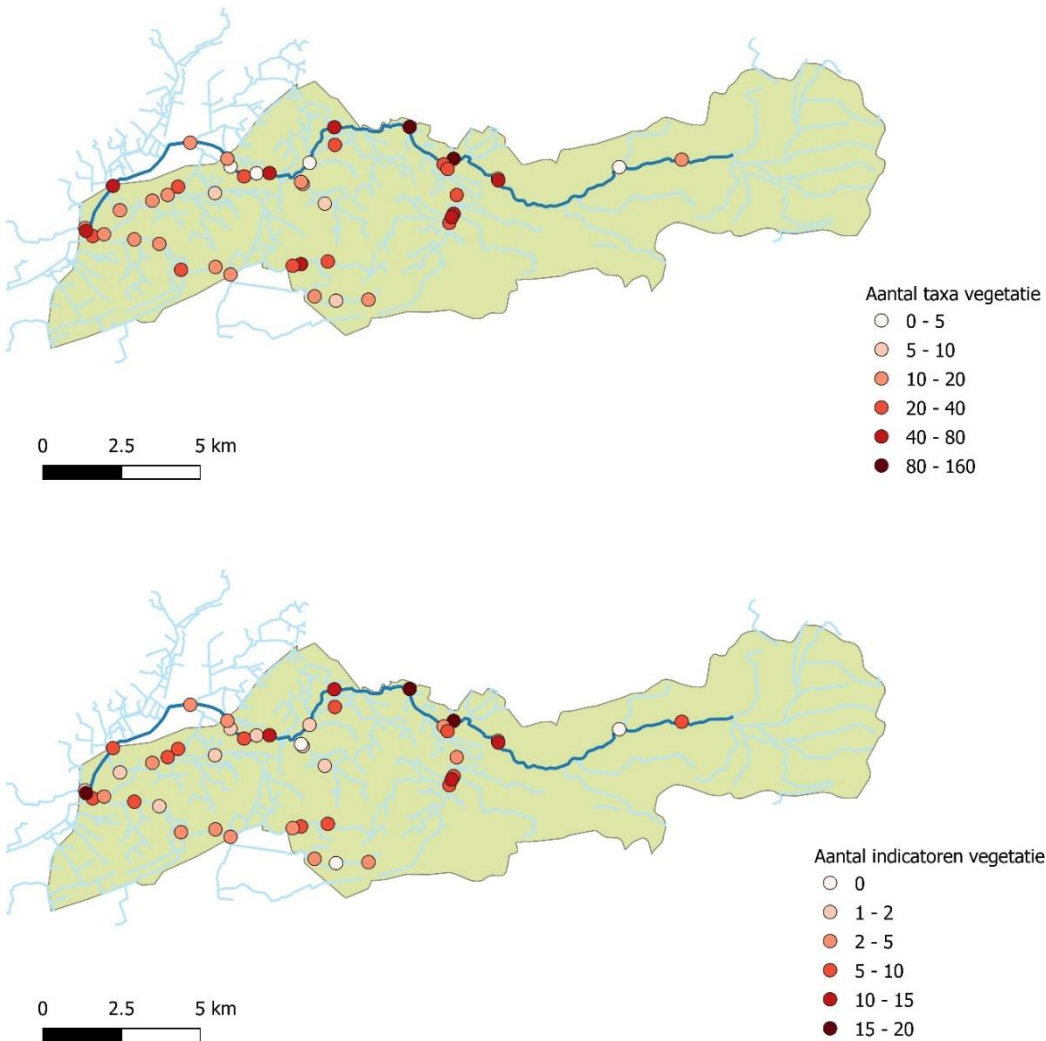
Vegetatie

Sinds 2000 zijn er in het stroomgebied 218 taxa aangetroffen in de beken op 42 locaties. Hiervan kunnen 48 taxa worden beschouwd als indicatief voor laaglandbeken in een goede ecologische toestand (Van der Molen et al., 2018; Tabel B4.3; Figuur B4.4). Als indicator worden beschouwd de soorten genoemd in de vegetatiemaatlat soortenrijkdom KRW-watertype R4 & R5 van categorie 1-3 (laaglandbeken) en/of die in de vegetatiemaatlat soortenrijkdom KRW-watertype R19 van categorie 1-2 (doorstroommoerassen). De Slinge bevat de meeste indicatieve plantensoorten (31), maar is ook het best bemonsterd en beslaat de grootste lengte (Figuur 2.46). Deze beek wordt qua aantallen gevolgd door de Osink-Bemersbeek (23) en de Keizersbeek (19).

Tabel B4.3 Vegetatie in de beken in het stroomgebied van de Boven-Slinge (periode vanaf 2000, BOS: Boven-Slinge, DAM: Dambeek, HAW: Haartse Waterleiding, KEB: Keizersbeek, LIM: Limbeek, OBB: Osink-Bemersbeek, SIP: Siepersbeek, STB: Stortelderbeek, STU: Stuwbeek Aalten, SWL: Schepers Waterleiding, WSW: Wooldse Waterleiding, ZWG: Zwanenbroek Graven; tussen haakjes aantal bemonsterde trajecten) en hun milieu-indicatie-categorie per KRW-watertype, waarbij categorie 1 de hoogste kwaliteit aangeeft en 5 de laagste kwaliteit.

Taxonnaam	Nederlandse naam	Indicatief KRW			Aangetroffen in beek vanaf 2000												
		R4	R5	R19	BOS (15)	DAM (3)	HAW (6)	KEB (1)	LIM (3)	OBB (6)	SIP (1)	STB (1)	STU (1)	SWL (1)	WSW (3)	ZWG (4)	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Grote waterweegbree	4	3	3	1	1	1	1		1			1		1	1	
<i>Alnus glutinosa</i>	Zwarte els	2	2	2	1			1		1							
<i>Angelica sylvestris</i>	Gewone engelwortel			2	1	1				1							
<i>Athyrium filix-femina</i>	Wijfjesvaren			2	1	1				1	1	1					
<i>Butomus umbellatus</i>	Zwanenbloem		3	3	1												
<i>Callitriche palustris</i>	Klein sterrenkroos			1						1							
<i>Callitriche platycarpa</i>	Gewoon sterrenkroos	3	3	3	1	1			1	1	1				1		
<i>Caltha palustris</i>	Dotterbloem		1	2							1				1		
<i>Cardamine amara</i>	Bittere veldkers	3	1	2	1												
<i>Carex acuta</i>	Scherpe zegge	3		2	1			1						1			
<i>Carex acutiformis</i>	Moeraszegge			2				1									
<i>Carex remota</i>	IJle zegge			2	1	1		1		1	1	1					
<i>Eleocharis acicularis</i>	Naaldwaterbies			2				1								1	
<i>Elodea canadensis</i>	Brede waterpest	2	2	2	1					1							
<i>Equisetum fluviatile</i>	Holpijp	3	2	2				1									
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Koninginnekruidd			2	1	1	1			1							
<i>Filipendula ulmaria</i>	Moeraspirea		3	2	1		1	1		1	1					1	
<i>Galium palustre [1]</i>	Moeraswalstro			2		1	1			1					1	1	
<i>Galium uliginosum</i>	Ruw walstro			1	1												
<i>Hottonia palustris</i>	Waterviolier	2	1	2				1								1	
<i>Humulus lupulus</i>	Hop			2	1	1											
<i>Juncus acutiflorus</i>	Veldrus			1	1		1			1							
<i>Lotus pedunculatus</i>	Moerasrolklaver			2			1	1		1						1	
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Grote wederik		3	2		1	1			1					1		
<i>Lythrum salicaria</i>	Grote kattenstaart	4		2	1	1	1	1								1	
<i>Mentha aquatica</i>	Watermunt		2	3	1	1	1	1	1	1	1					1	
<i>Menyanthes trifoliata</i>	Waterdrieblad			2				1									
<i>Myosotis scorpioides ssp. Scorpioides</i>	Moerasvergeet-mij-nietje	4	3	3	1	1	1	1		1			1		1	1	
<i>Nitella mucronata</i>	Puntdragend glanswier		1	2				1									
<i>Nuphar lutea</i>	Gele plomp		3	3	1			1								1	
<i>Peucedanum palustre</i>	Melkeppe			2						1							
<i>Poa palustris</i>	Moerasbeemdgras			2	1	1											
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Klein fonteinkruid		2	2				1									
<i>Potamogeton crispus</i>	Gekroesd fonteinkruid	5	2	3	1												
<i>Potamogeton natans</i>	Drijvend fonteinkruid	4	4	2	1		1			1			1			1	

Taxonnaam	Nederlandse naam	Indicatief KRW		Aangetroffen in beek vanaf 2000													
		R4	R5	R19	BOS (15)	DAM (3)	HAW (6)	KEB (1)	LIM (3)	OBB (6)	SIP (1)	STB (1)	STU (1)	SWL (1)	WSW (3)	ZWG (4)	
<i>Potamogeton trichoides</i>	Haarfonteinkruid	2	4	2													1
<i>Primula elatior</i>	Slanke sleutelbloem			2						1						1	
<i>Prunus padus</i>	Gewone vogelkers			2	1												
<i>Ranunculus peltatus</i>	Grote waterranonkel	1	1	2	1												
<i>Rubus idaeus</i>	Framboos			2	1												
<i>Salix aurita</i>	Geoorde wilg			2	1												
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Bosbies	3	3	2	1		1	1		1							1
<i>Scutellaria galericulata</i>	Blauw glidkruid			2				1		1							
<i>Solanum dulcamara</i>	Bitterzoet		4	2	1					1	1						
<i>Sparganium emersum</i>	Kleine egelskop	2	2	3	1			1		1							1
<i>Veronica beccabunga</i>	Beekpunge	3	3	3	1	1				1							1
<i>Veronica catenata</i>	Rode waterereprijs	4	3	3	1						1						

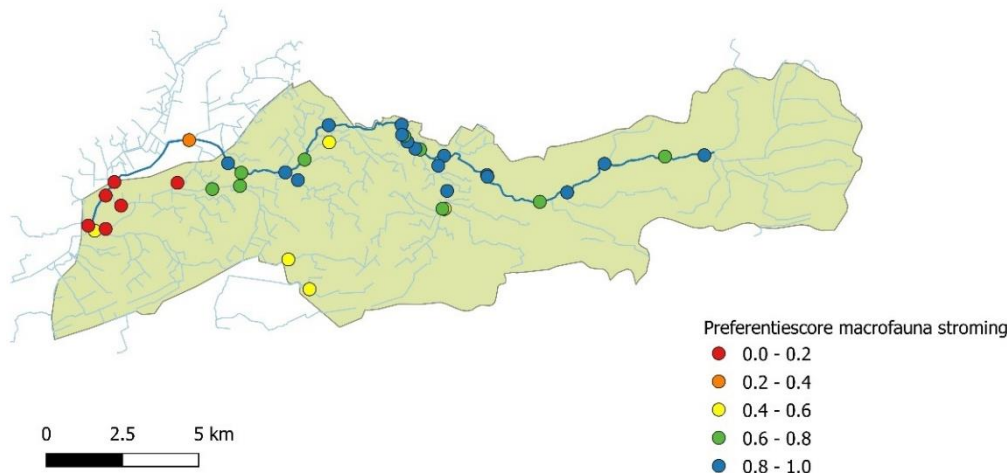


Figuur B4.4: Totaal aantal taxa vegetatie (boven) en het aantal indicatieve soorten (onder; KRW maatlat soortenrijkdom R4-R5 categorie 1-3 soorten en R19 categorie 1-2 soorten) per locatie vanaf 2000 in het stroomgebied van de Slinge.

Analyse knelpunten ecologie op basis van de milieu-indicaties macrofauna

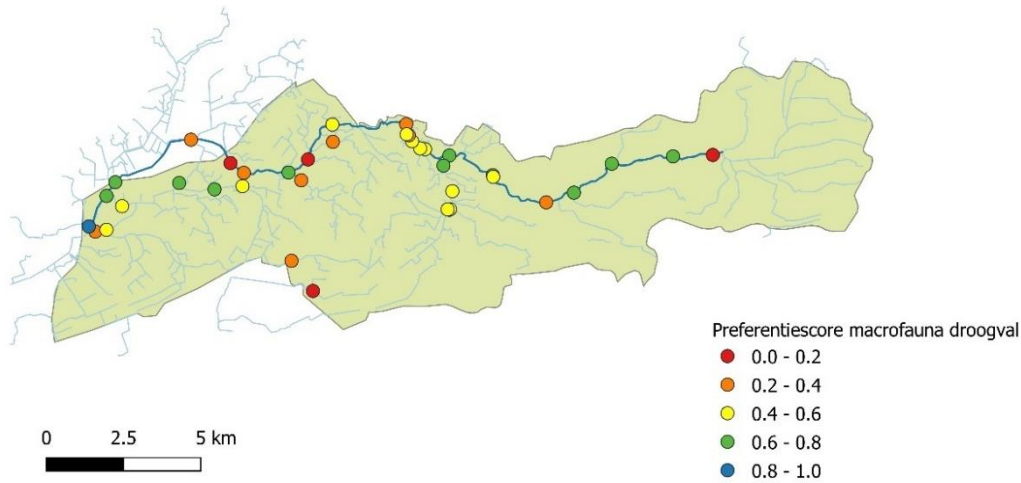
Om inzicht te krijgen in de knelpunten die een rol spelen voor de ecologie in het stroomgebied van de Boven-Slinge zijn voor de op de monsterlocaties aangetroffen taxa hun milieu- en habitatpreferenties (Verberk et al., 2012) en gevoeligheid voor toxische stoffen (SPEAR, Liess & van der Ohe, 2005) bepaald. Er is een selectie gemaakt van preferentieklassen die inzicht kunnen geven in de rol van bepaalde sleutelfactoren binnen het bekecosysteem (binnen de beschikbare parameters). Dit zijn stroming, droogval, temperatuur, organische belasting, saliniteit en toxiciteit. Vervolgens is de gemiddelde preferentiescore van alle geclassificeerde taxa binnen de in de database opgenomen taxa berekend (Van der Lee et al., *in voorbereiding*). Om de gevonden scores te kunnen waarderen op een gradiënt van slecht naar goed, moeten deze geijkt worden op data van slechte en zeer goede locaties. Immers bestaat een levensgemeenschap nooit volledig uit taxa met één bepaalde preferentie. Om deze ijking te kunnen uitvoeren, zijn ter vergelijking de waarden berekend voor de 5% op de KRW maatlat slechtst scorende locaties ($EKR \leq 0.2$) en de 5% best scorende locaties ($EKR \geq 0.8$). De ijkwaarden zijn gebruikt om de gevonden waarden te schalen van 0 (slechtste score) tot 1 (beste score). De scores zijn per parameter op kaart weergegeven.

De scores voor stroming zijn over het algemeen goed tot zeer goed, met uitzondering van de trajecten en zijbeken in het benedenstroomse gedeelte van het stroomgebied (Figuur B4.5). Dit geeft aan dat stromingsminnende soorten een belangrijk onderdeel uitmaken van de levensgemeenschap, wat wil zeggen dat er jaarrond relatief hoge stroomsnelheden voorkomen in een belangrijk deel van het stroomgebied. Benedenstrooms indiceert de fauna stagnatie, het wegvallen van de stroming.



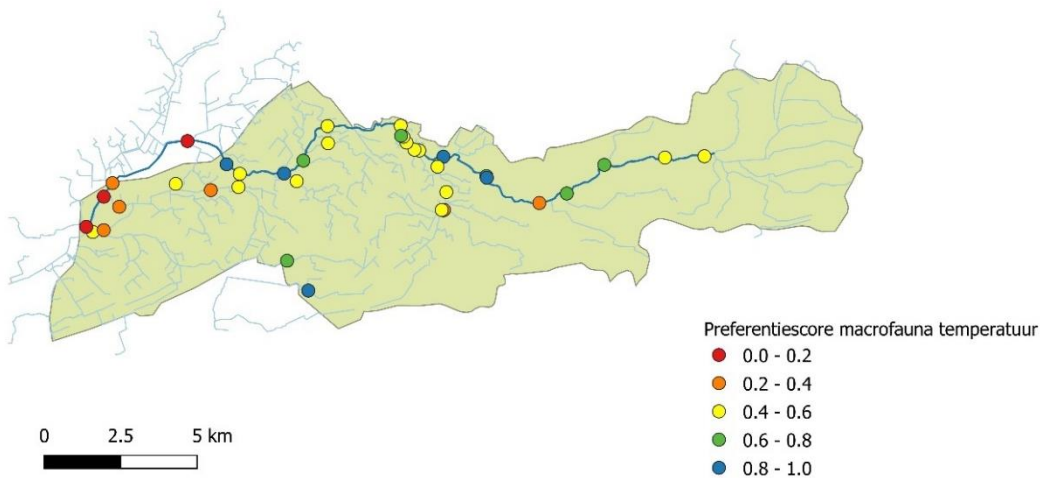
Figuur B4.5 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter stroming, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

In tegenstelling tot het beeld voor stroming is dat voor droogval minder positief, met veel scores in matig tot slecht (Figuur B4.6). Opvallend is ook dat delen van de Slinge relatief slecht scoren. Dit wil zeggen dat er een groot aandeel macrofauna aanwezig is dat resistent is tegen of zelfs profiteert van lage afvoeren. Dit kan een gevolg zijn van complete droogval, maar ook van gedeeltelijke droogval van de waterloop. (Gedeeltelijke droogval kan zowel terugtrekking van het water in kleine geultjes in brede beddingen, als fragmentatie van de loop door afwisseling droge en water bevattende stukken, zijn). In ieder geval wijst een slechte droogvalscore in permanente beken op hydrologische verstoring.



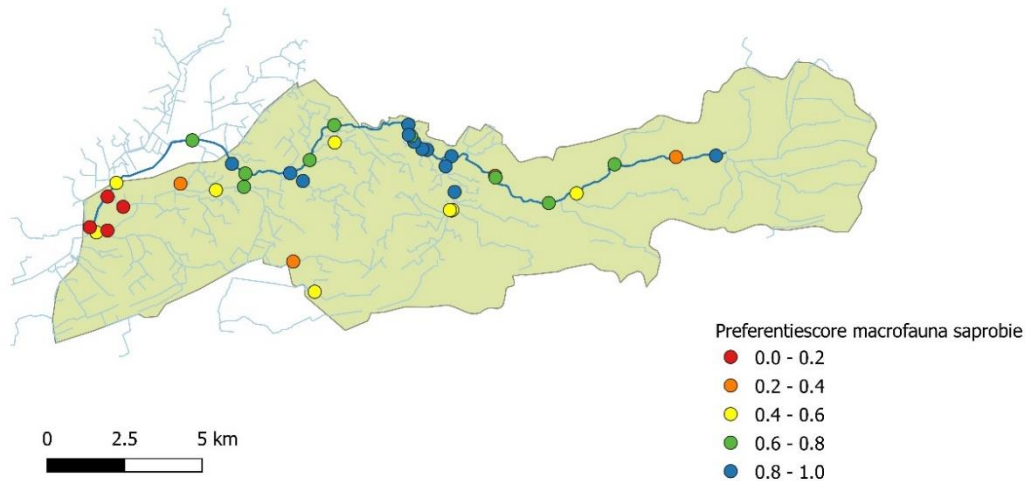
Figuur B4.6 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter droogval, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

De parameter temperatuur is gebaseerd op een preferentie voor een relatief lage gedempte watertemperatuur, bijvoorbeeld als gevolg van sterke grondwatervoeding en zware beschaduwing. Hierbij valt op dat de zijbeken relatief slechter (matig) scoren dan de hoofdloop, die veelal goed tot zeer goed scoort (Figuur B4.7). Dit is opvallend, omdat oorspronkelijk juist de zijbeken door sterke voeding met grondwater relatief goed zouden moeten scoren. Een afnemende score in het benedenstroomse gedeelte is te verklaren door een meer open landschap en minder sterke grondwaterinvloed.



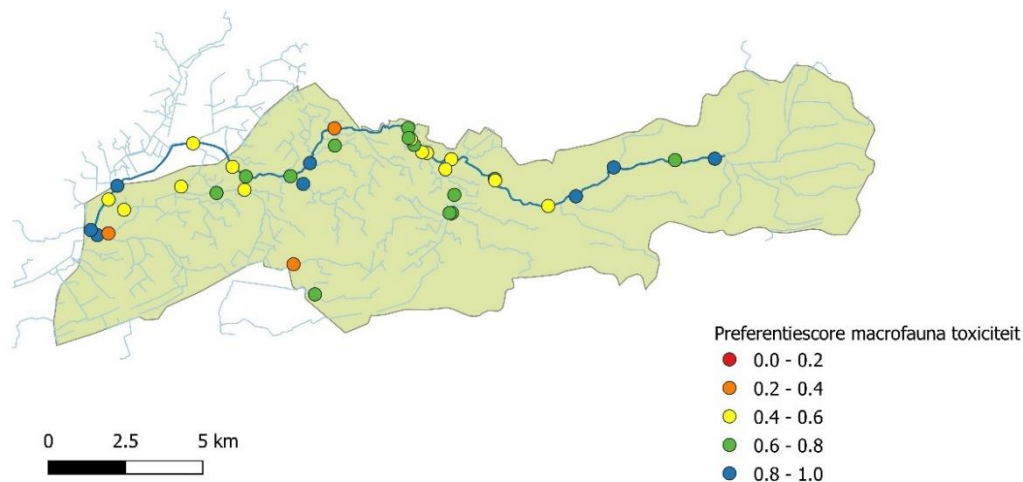
Figuur B4.7 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter temperatuur, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

Saprobie geeft de mate van organische belasting van de beek weer. In de Slinge in Duitsland lijken twee duidelijke lokale effecten van puntbronnen op te treden, terwijl de scores verder goed tot zeer goed zijn (Figuur B4.8). Benedenstrooms is de belasting veel hoger, met opvallend slechte scores in de Slinge en zijbeken.



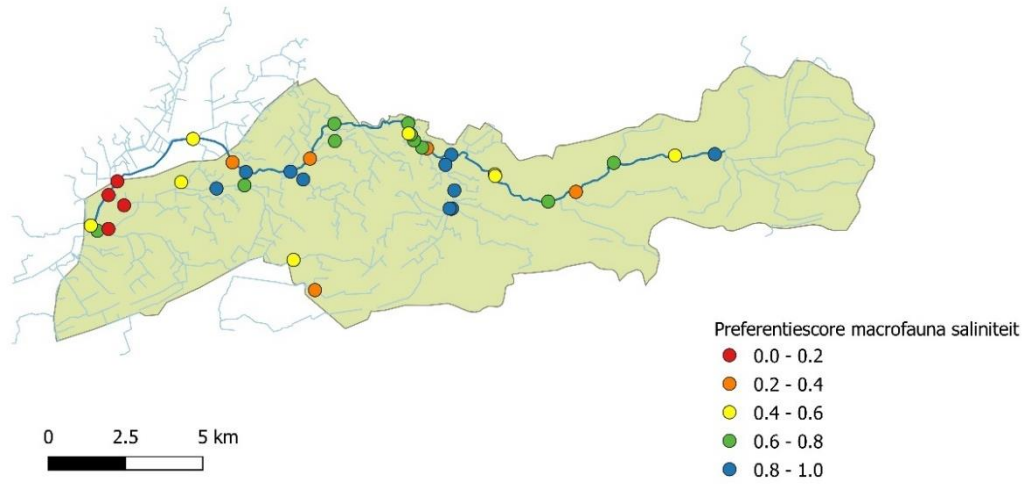
Figuur B4.8 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter saprobie, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

Toxiciteit lijkt te zijn verhoogd in de Slinge in het traject vanaf Oeding (Duitsland) tot Winterswijk en ook lokaal verder benedenstrooms (Figuur B4.9).



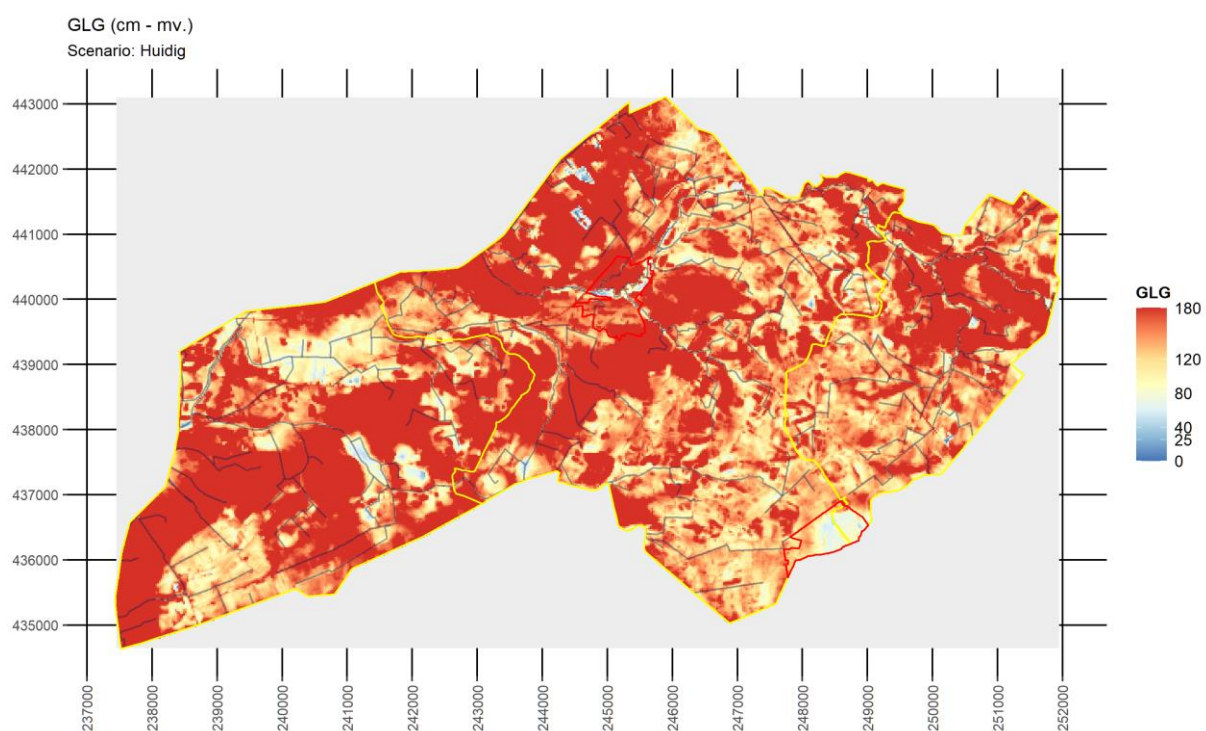
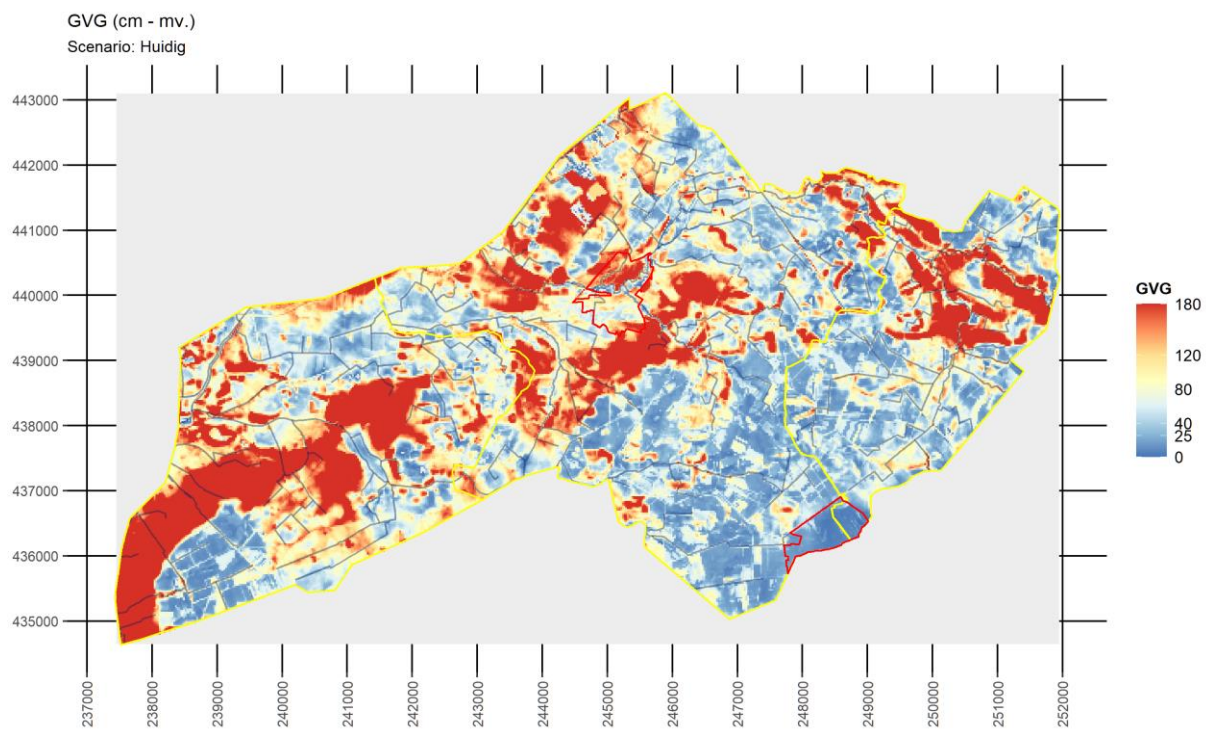
Figuur B4.9 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter toxiciteit, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

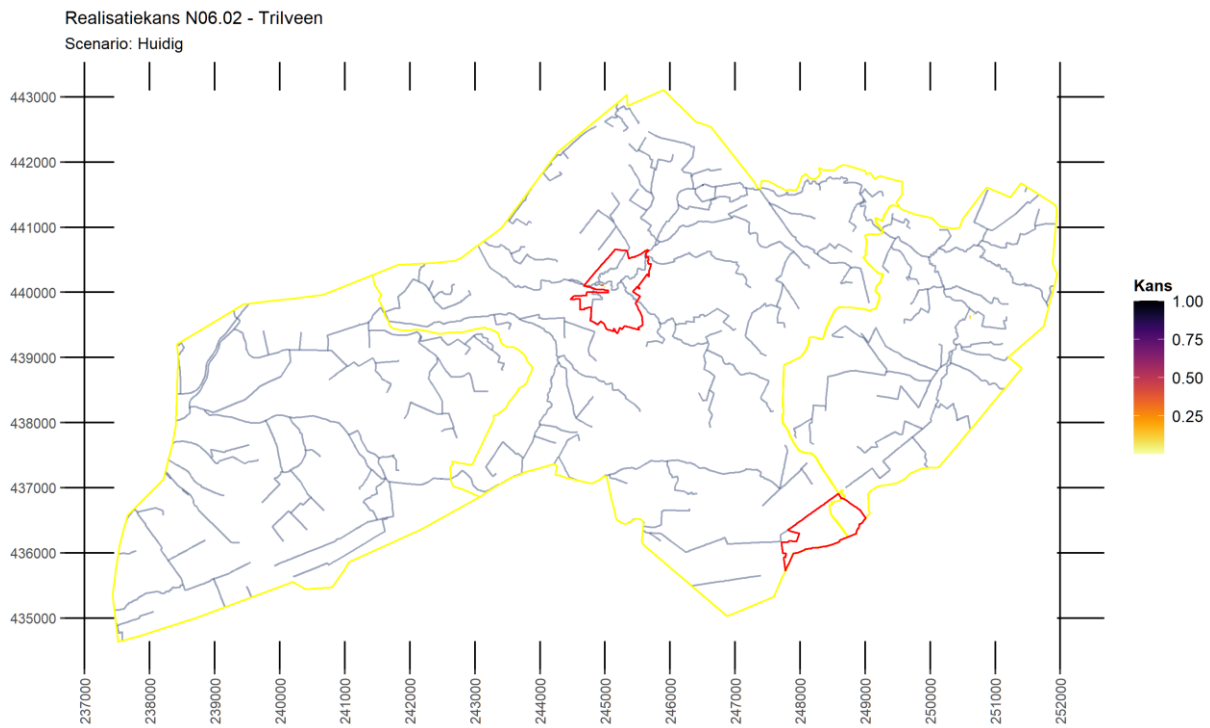
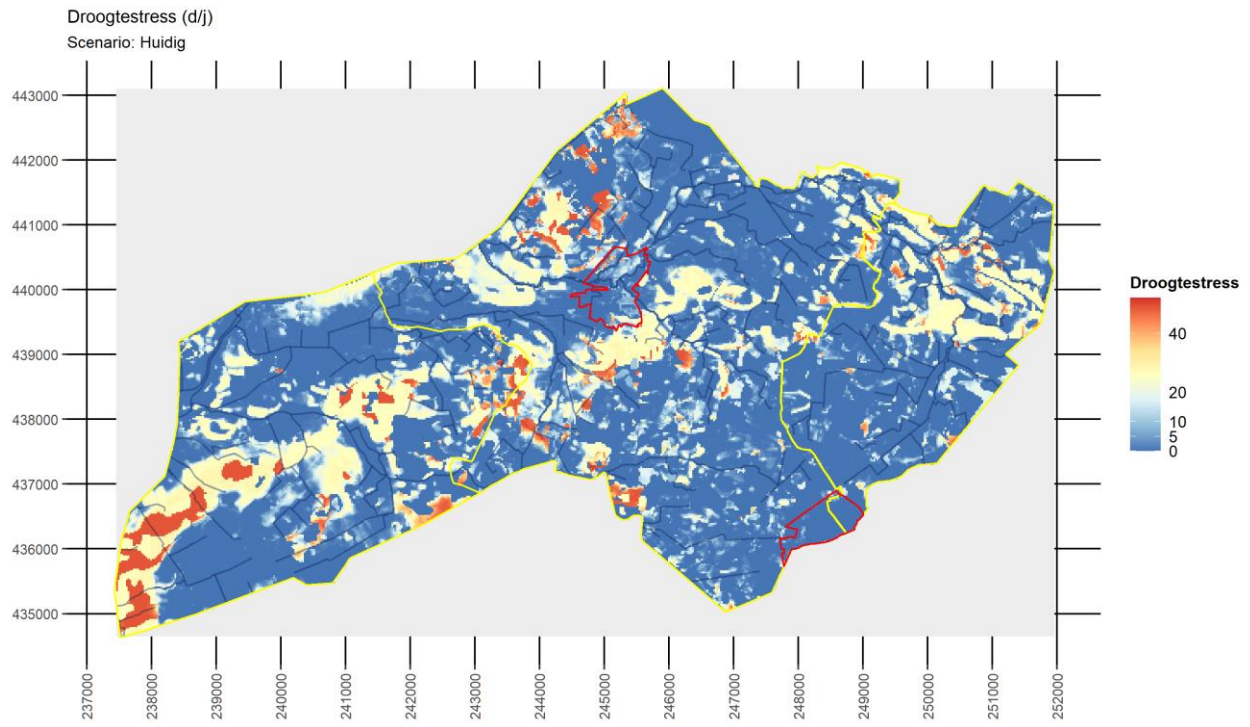
Saliniteit, een maat van verstoring door hoge concentraties macro-ionen (o.a. chloride, sulfaat), laat een wisselend beeld zien met lokale relatief slechte scores, wat kan wijzen op puntbronnen Benedenstrooms bij Bredevoort worden zeer slechte scores gehaald (Figuur B4.10).



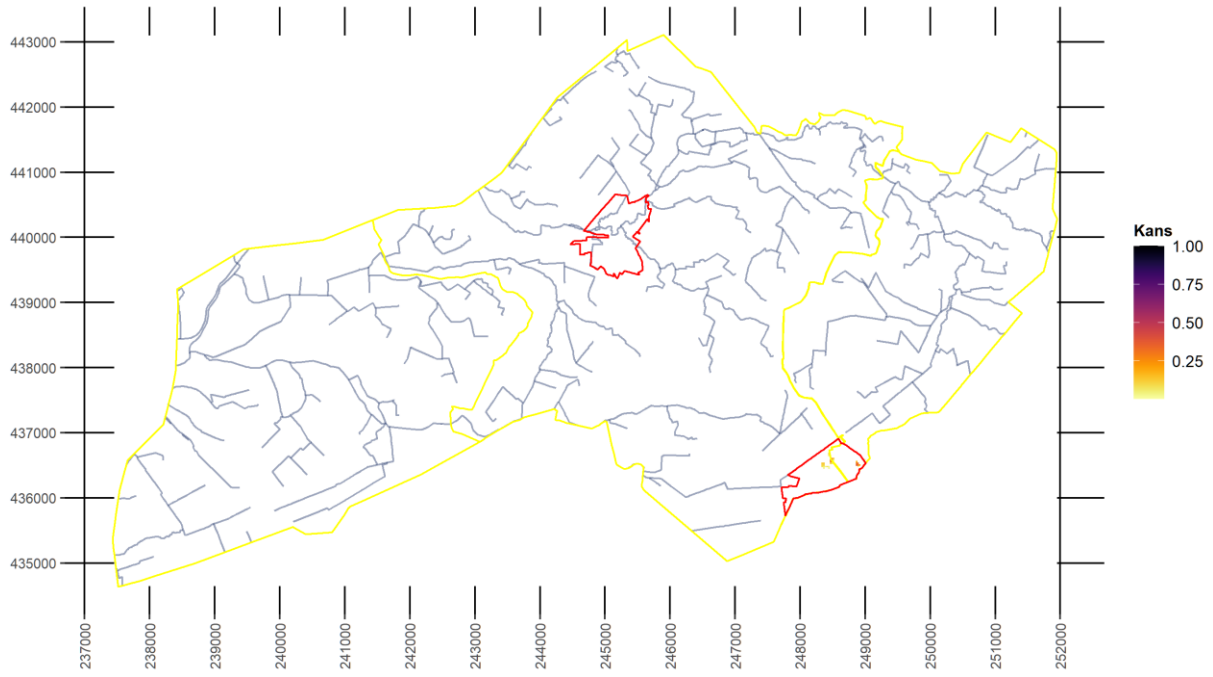
Figuur B4.10 Gemiddelde score knelpuntenanalyse macrofauna voor de parameter saliniteit, waarbij de toestand loopt van slecht (0) tot zeer goed (1).

Bijlage 5 Realisatiekansen Huidige situatie

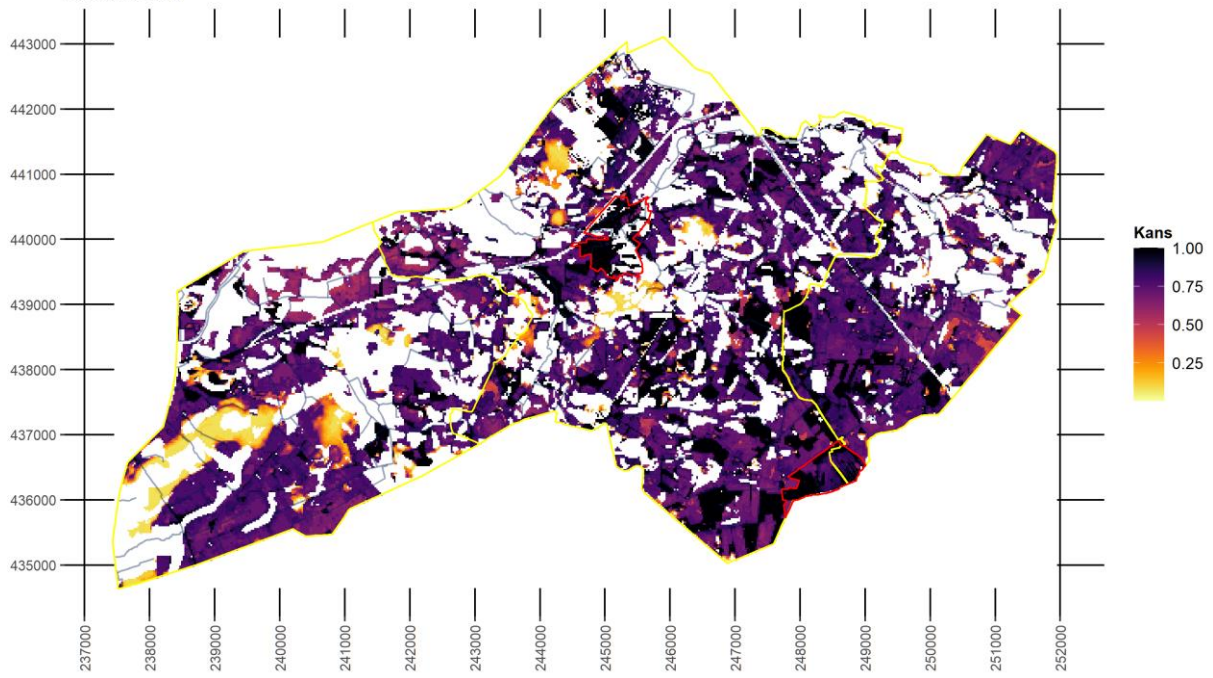




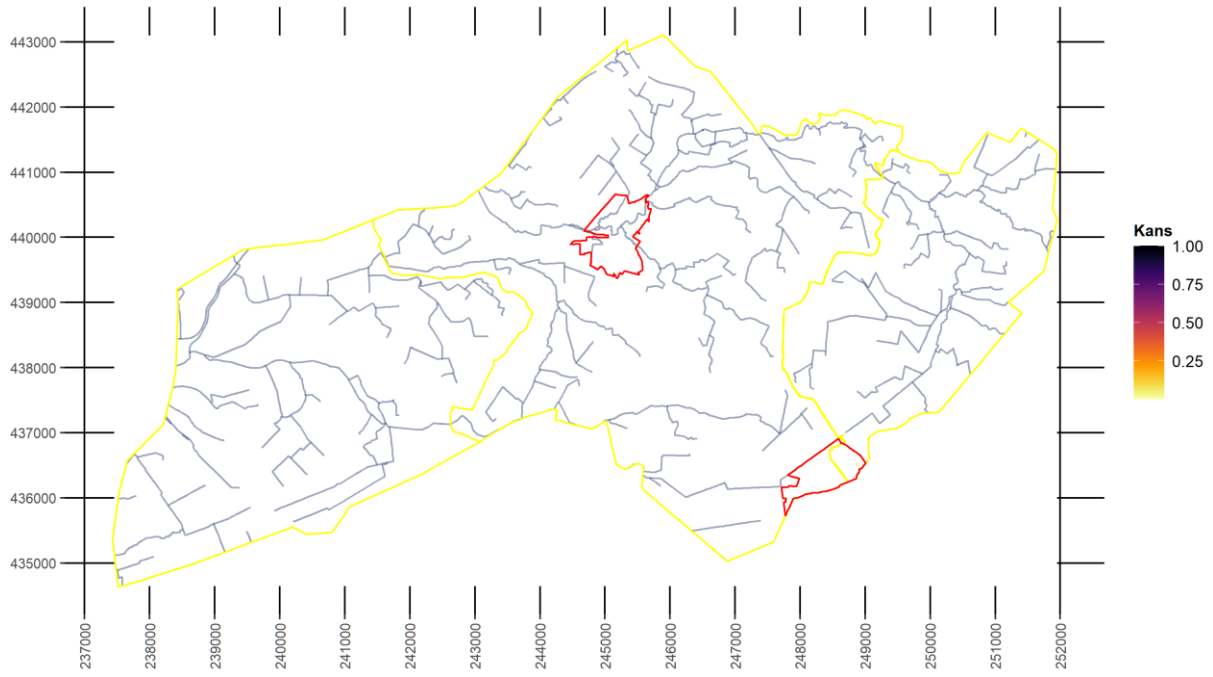
Realisatiekans N06.03 - Hoogveen
Scenario: Huidig



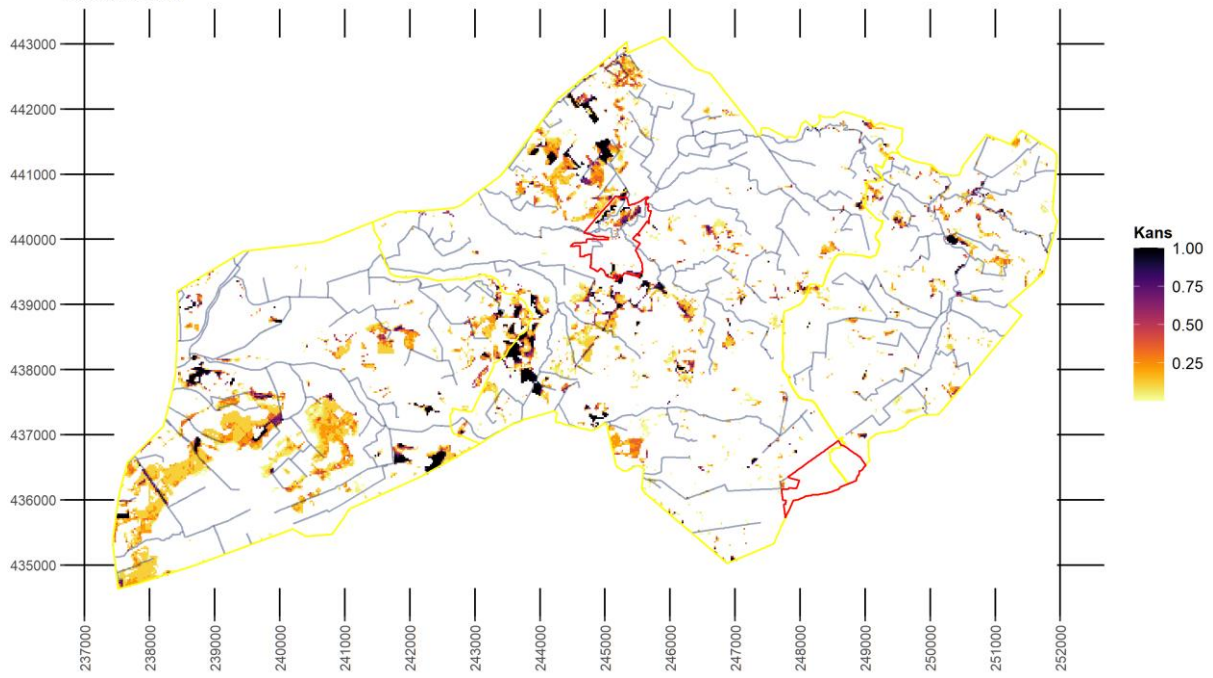
Realisatiekans N06.04 - Vochtige heide
Scenario: Huidig



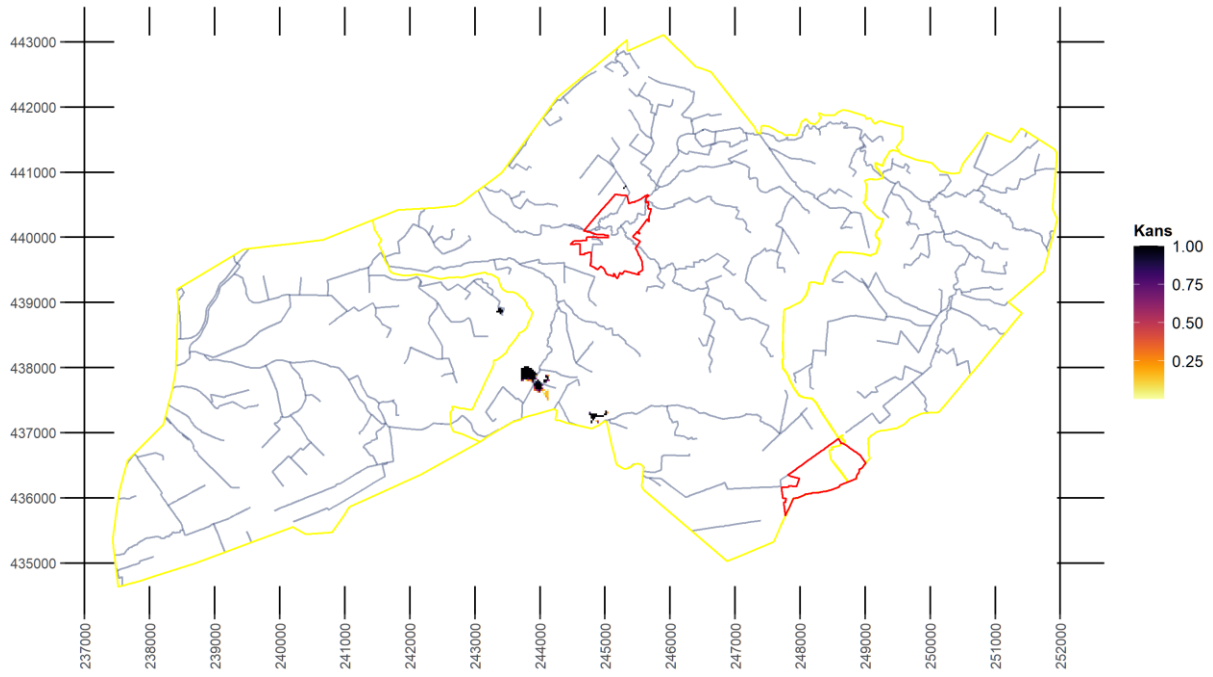
Realisatiekans N06.06 - Zuur ven of hoogveenven
Scenario: Huidig



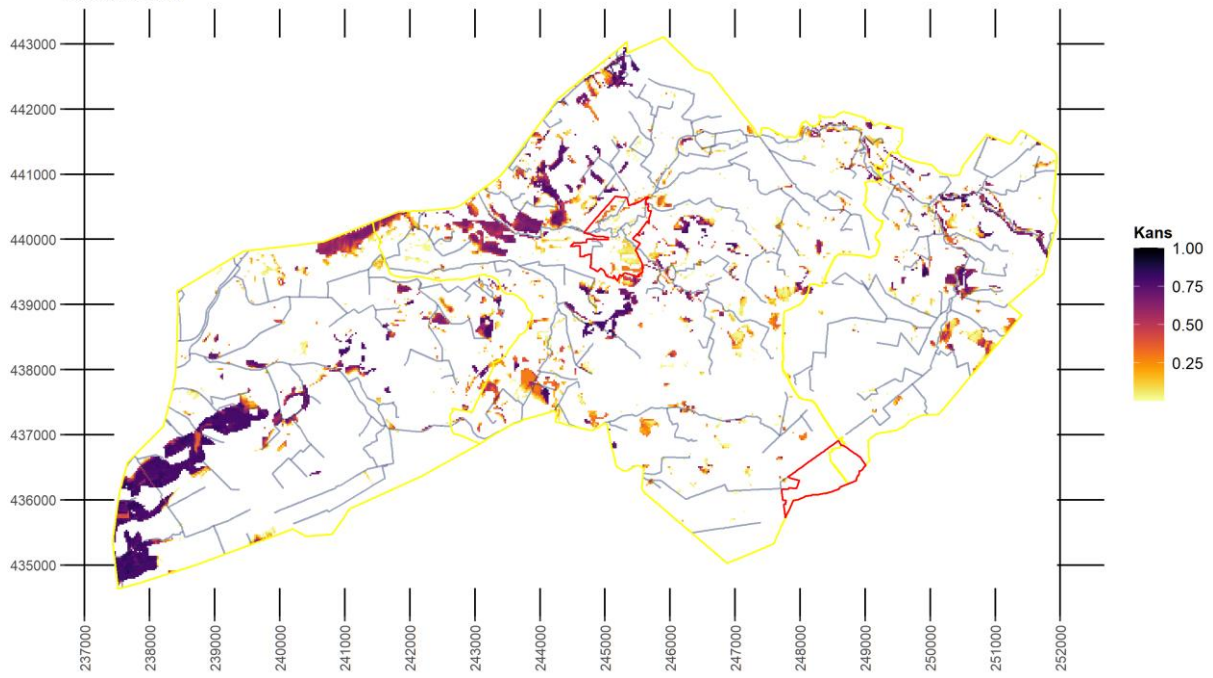
Realisatiekans N07.01 - Droge heide
Scenario: Huidig



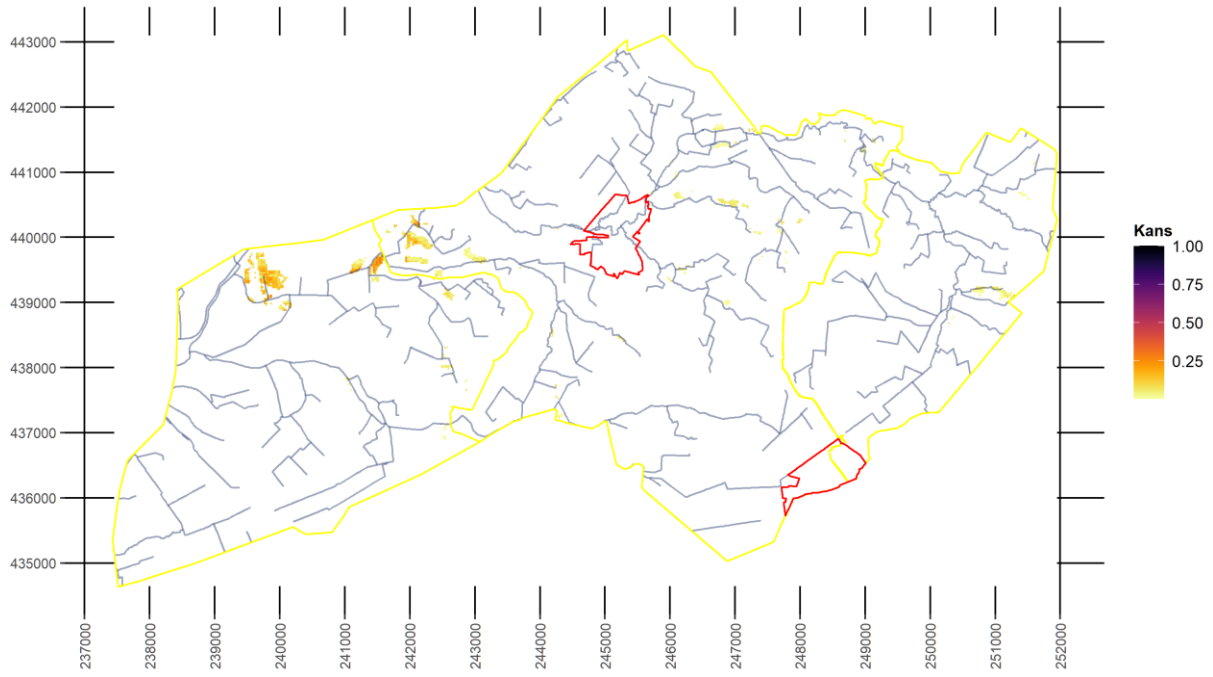
Realisatiekans N07.02 - Zandverstuiving
Scenario: Huidig



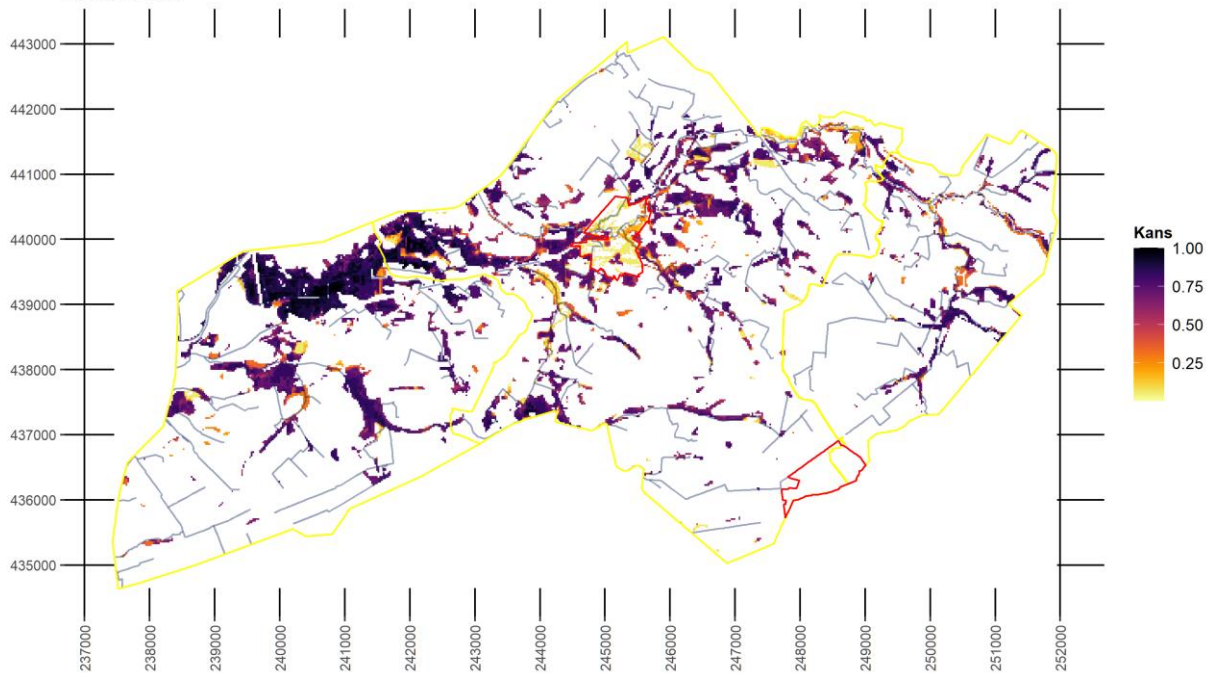
Realisatiekans N11.01 - Droog schraalgrasland
Scenario: Huidig



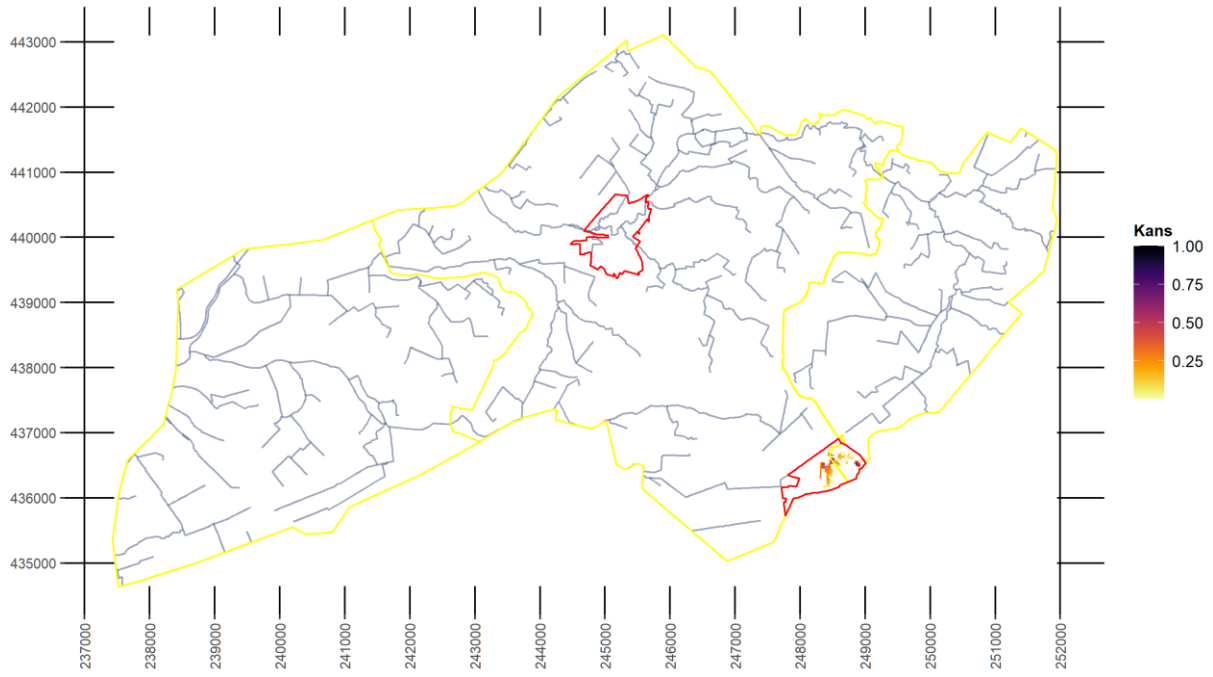
Realisatiekans N12.03 - Glanshaverhooiland
Scenario: Huidig



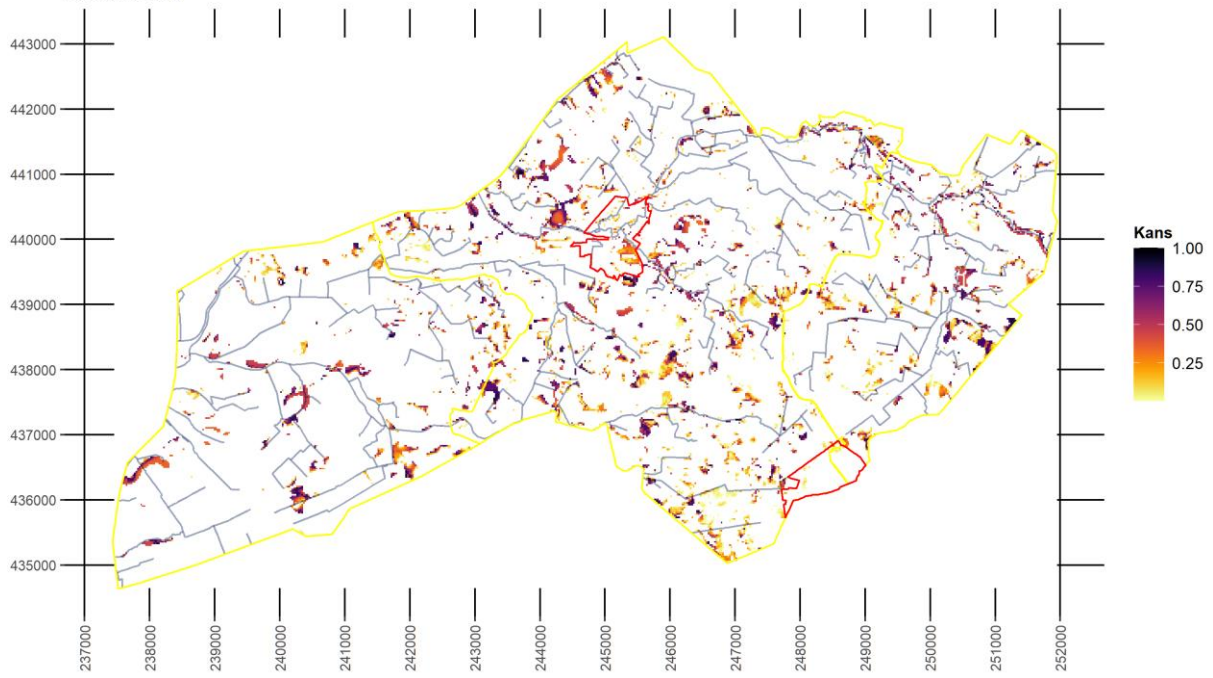
Realisatiekans N14.01 - Rivier- en beekbegeleidend bos
Scenario: Huidig



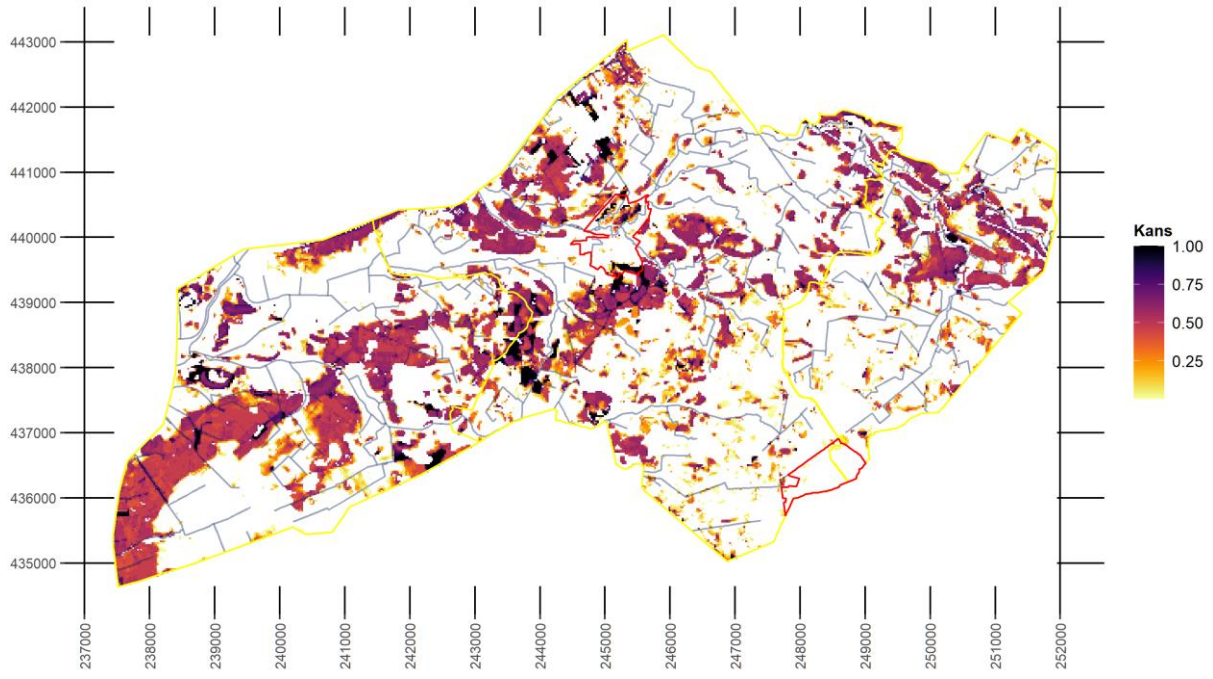
Realisatiekans N14.02 - Hoog- en laagveenbos
Scenario: Huidig



Realisatiekans N14.03 - Haagbeuken- en essenbos
Scenario: Huidig



Realisatiekans N15.02 - Dennen-, eiken- en beukenbos
Scenario: Huidig



Bijlage 6 Verandering realisatiekansen huidig t.o.v. referentie

Tabel B6 1 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij de actuele hydrologie, in vergelijking met het nattere deel (P30) in de referentiesituatie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in de referentiesituatie. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)		Oppervlaktes verschil (ha)					
		Huidig	Referentie_P30	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.4	149.4	-149.0	5.9	143.2	0.0	0.3	0.0
N06.03	Hoogveen	1.9	113.9	-112.0	0.0	113.6	0.0	0.3	0.0
N06.04	Vochtige heide	4135.2	4436.1	-301.0	497.9	459.2	3473.8	3.2	1.9
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	777.3	14.4	763.0	0.6	0.9	12.9	0.0	0.0
N07.02	Zandverstuiving	11.0	11.8	-1.0	0.0	2.2	0.0	2.1	7.4
N10.01	Nat schraalland	149.3	1700.2	-1551.0	1273.6	420.8	0.0	5.6	0.2
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	1742.9	-814.0	745.0	562.2	116.6	319.1	0.0
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	83.8	649.0	2.4	25.1	13.1	43.1	0.1
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	7.9	99.0	0.0	2.0	3.1	2.9	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1084.5	1075.9	9.0	17.2	116.4	207.9	734.3	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	113.9	-105.0	50.2	63.6	0.0	0.1	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	64.3	547.0	0.0	25.2	0.1	31.5	7.4
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	83.8	2216.0	0.8	28.8	14.6	36.9	2.6

Tabel B6 2 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij de actuele hydrologie, in vergelijking met het mediane deel (P50) in de referentiesituatie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in de referentiesituatie. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)		Oppervlaktes verschil (ha)					
		Huidig	Referentie_P50	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.4	6.8	-6.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	1.9	21.6	-20.0	21.4	0.2	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	4135.2	4454.1	-319.0	497.9	455.2	3474.4	26.6	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	22.6	-22.0	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	777.3	52.4	725.0	0.6	36.3	13.0	1.2	1.3
N07.02	Zandverstuiving	11.0	15.3	-4.0	2.2	4.9	8.2	0.0	0.0
N10.01	Nat schraalland	149.3	1728.6	-1579.0	34.2	1677.0	0.1	16.7	0.6
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	1772.7	-844.0	588.7	704.1	107.0	301.8	71.1
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	124.8	608.0	2.6	70.3	13.7	38.1	0.2
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	108.0	-1.0	0.0	6.9	29.5	71.6	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1084.5	1105.8	-21.0	17.3	146.3	220.4	721.7	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	135.6	-126.0	19.4	115.6	0.0	0.6	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	64.3	547.0	5.8	26.1	0.0	32.4	0.0
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	124.8	2175.0	0.8	73.1	14.8	33.4	2.8

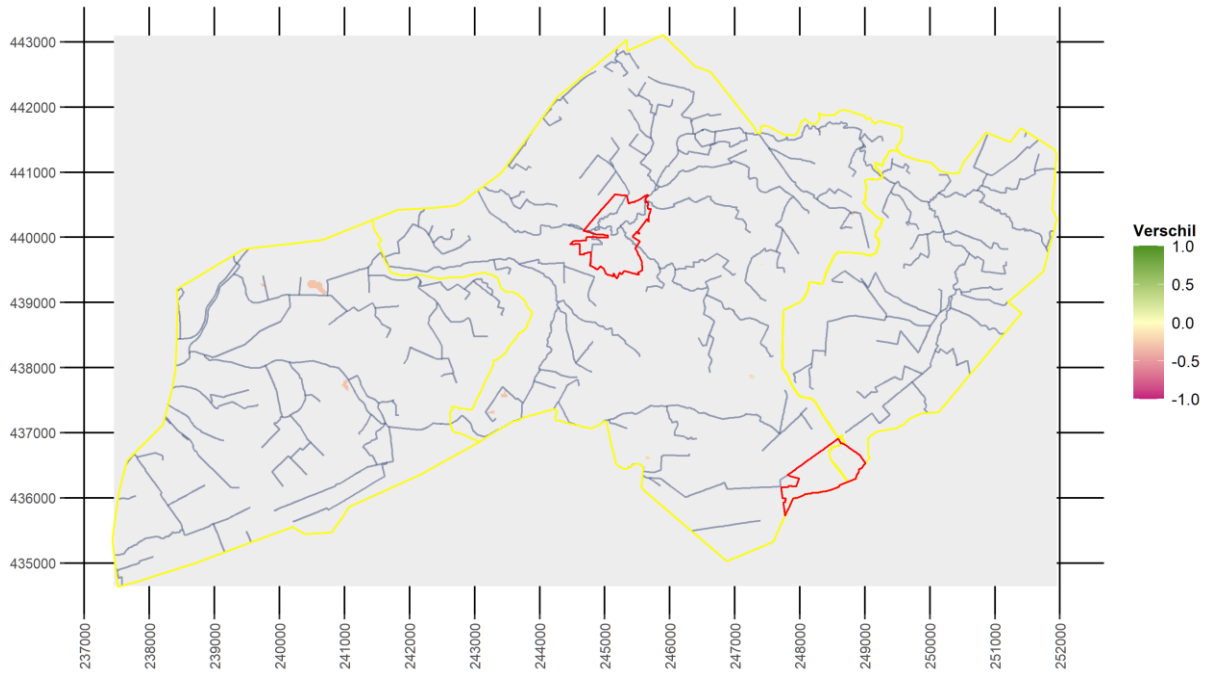
Tabel B6 3 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij de actuele hydrologie, in vergelijking met het drogere deel (P70) in de referentiesituatie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in de referentiesituatie. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktes verschil (ha)				
		Huidig	Referentie_P70	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.4	6.8	-6.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	1.9	21.6	-20.0	21.2	0.4	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	4135.2	4454.1	-319.0	497.9	456.7	3480.3	19.2	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.4	22.6	-22.0	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	777.3	99.7	678.0	14.0	52.8	13.4	18.2	1.4
N07.02	Zandverstuiving	11.0	15.3	-4.0	1.4	5.8	8.2	0.0	0.0
N10.01	Nat schraalland	149.3	1728.6	-1579.0	46.2	1641.1	0.2	39.5	1.7
N10.02	Vochtig hooiland	928.6	1772.7	-844.0	542.3	693.1	103.7	233.9	199.7
N11.01	Droog schraalgrasland	733.2	124.8	608.0	2.6	78.2	13.8	30.2	0.0
N12.03	Glanshaverhooiland	107.2	110.7	-4.0	0.0	13.4	30.9	66.4	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1084.5	1105.8	-21.0	17.3	164.9	878.5	45.0	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	9.2	135.6	-126.0	7.3	125.2	0.0	2.8	0.3
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	610.9	580.0	31.0	20.2	354.6	0.4	164.1	40.6
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2299.4	640.6	1659.0	18.6	259.1	16.1	232.6	114.2

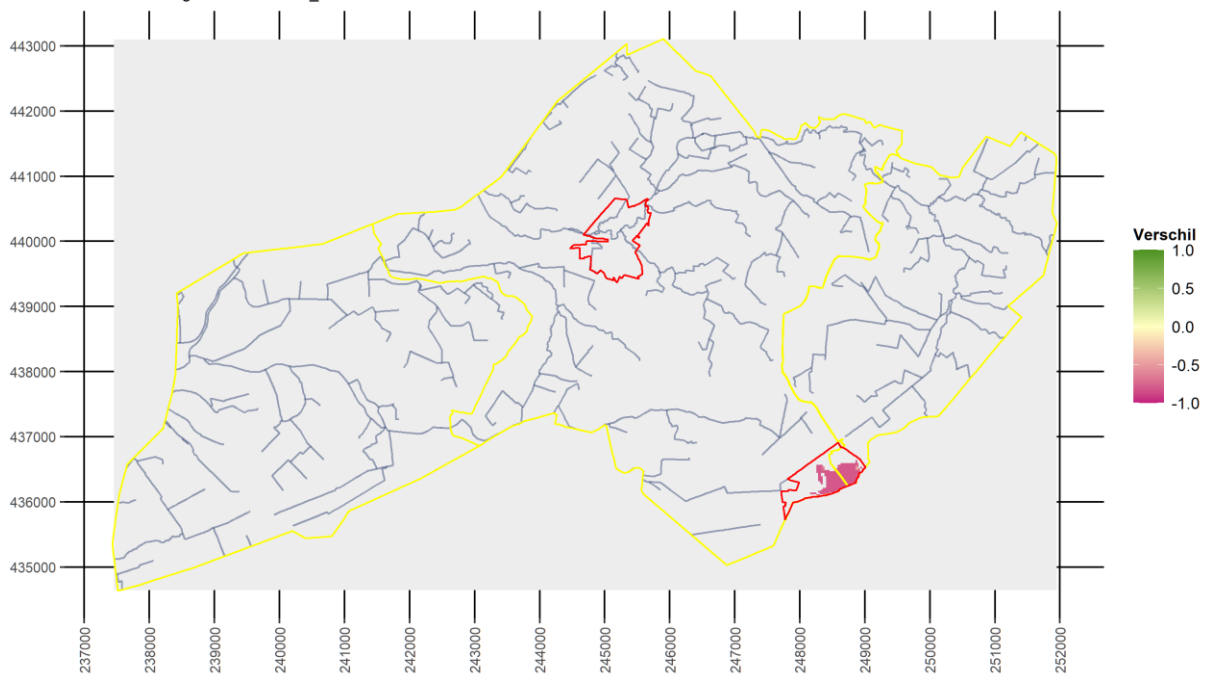
Verandering in het mediane deel (P50)

Hieronder geven wij de verandering in realisatiekansen per beheertype voor de vergelijking van de huidige hydrologie ten opzichte van het mediane deel (P50) van de vochtgradiënt in de referentiesituatie. Voor het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70) zijn deze kaartjes wel gemaakt, maar niet in deze rapportage opgenomen.

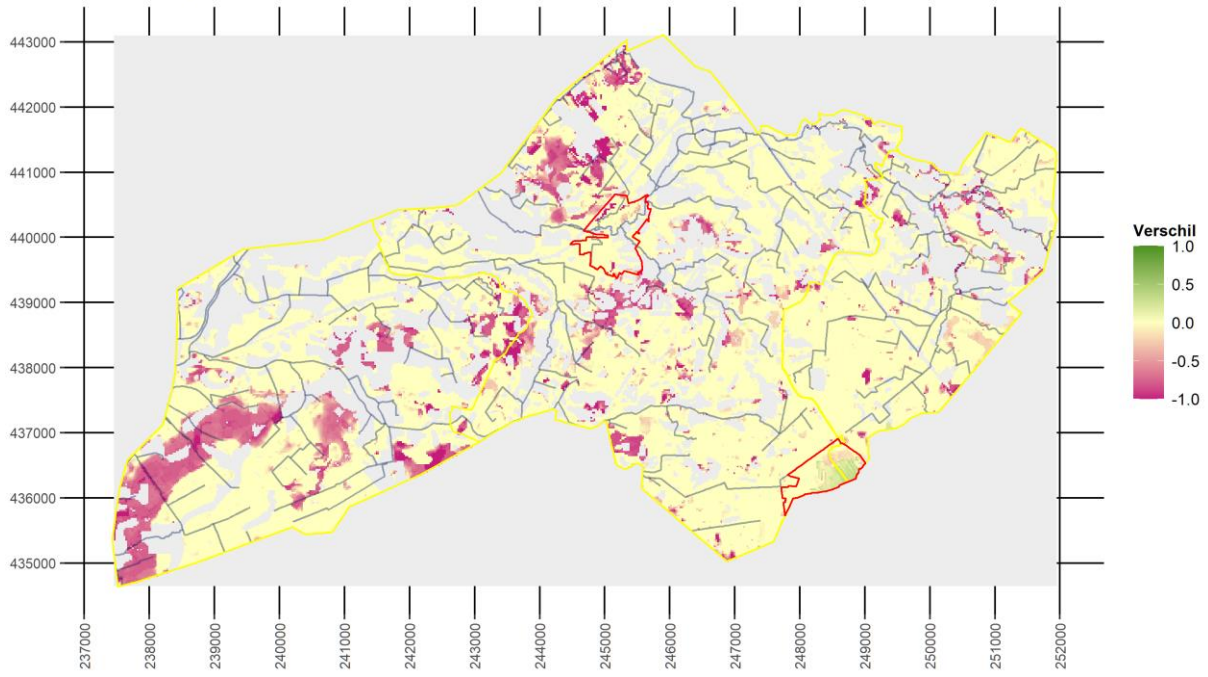
Vershil in realisatiekans voor N06.02 - Trilveen
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



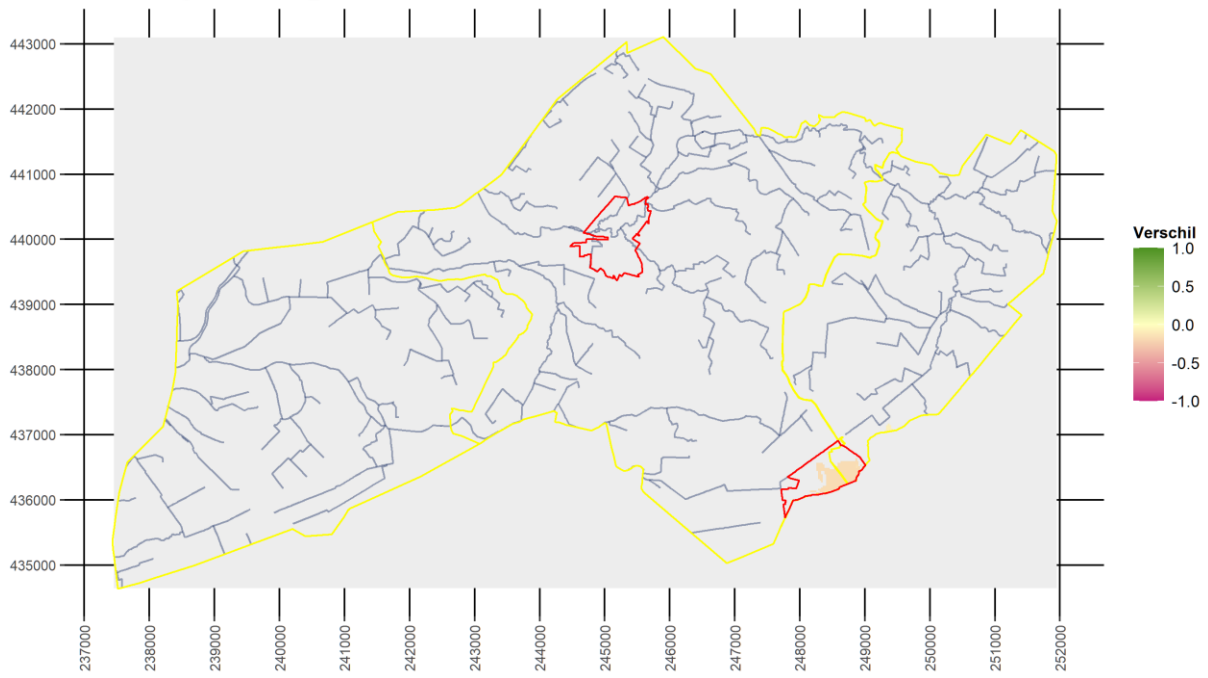
Vershil in realisatiekans voor N06.03 - Hoogveen
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



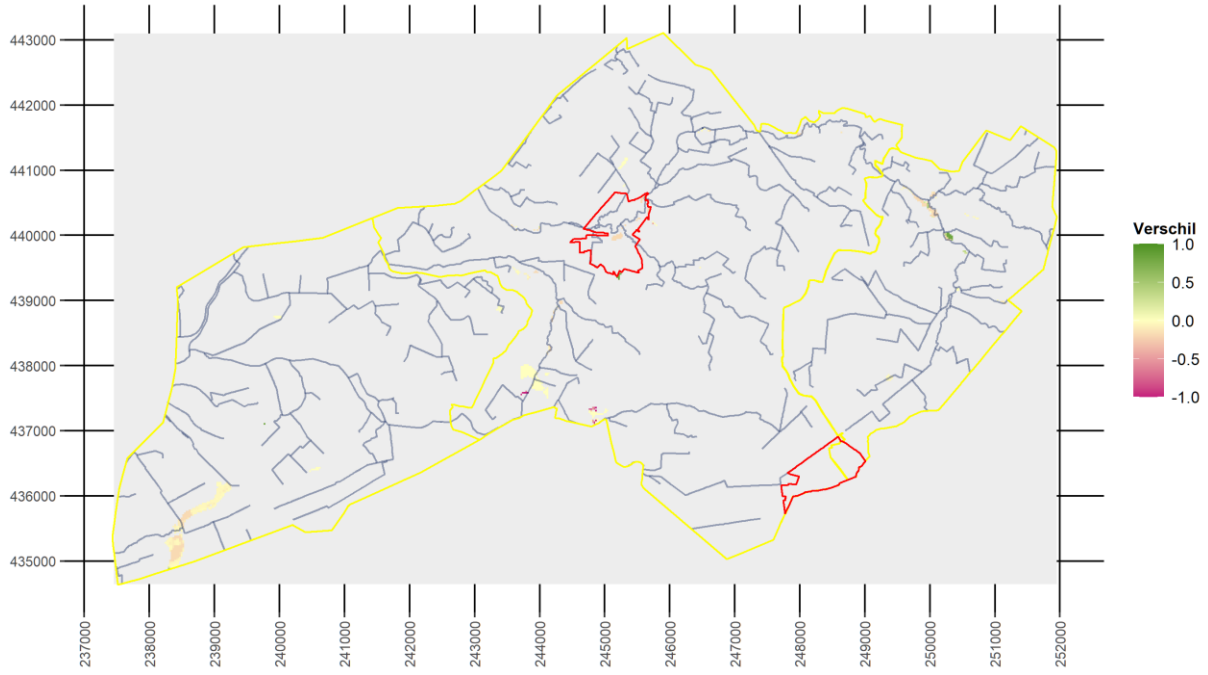
Vershil in realisatiekans voor N06.04 - Vochtige heide
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



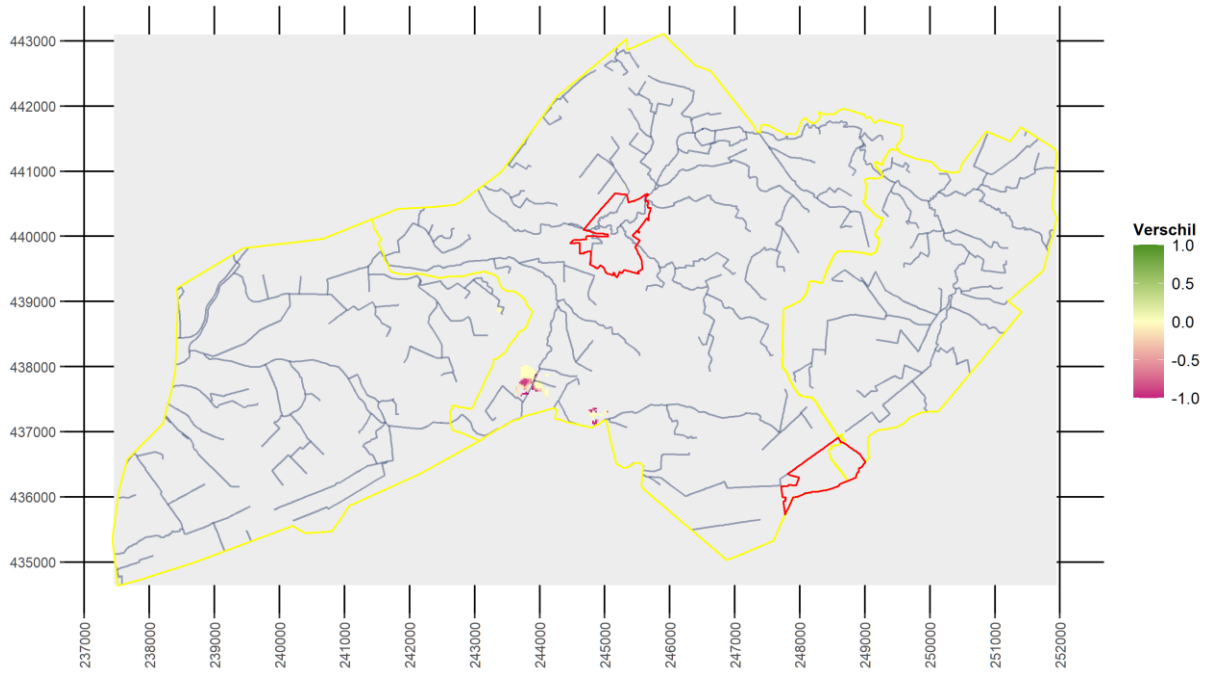
Vershil in realisatiekans voor N06.06 - Zuur ven of hoogveenven
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



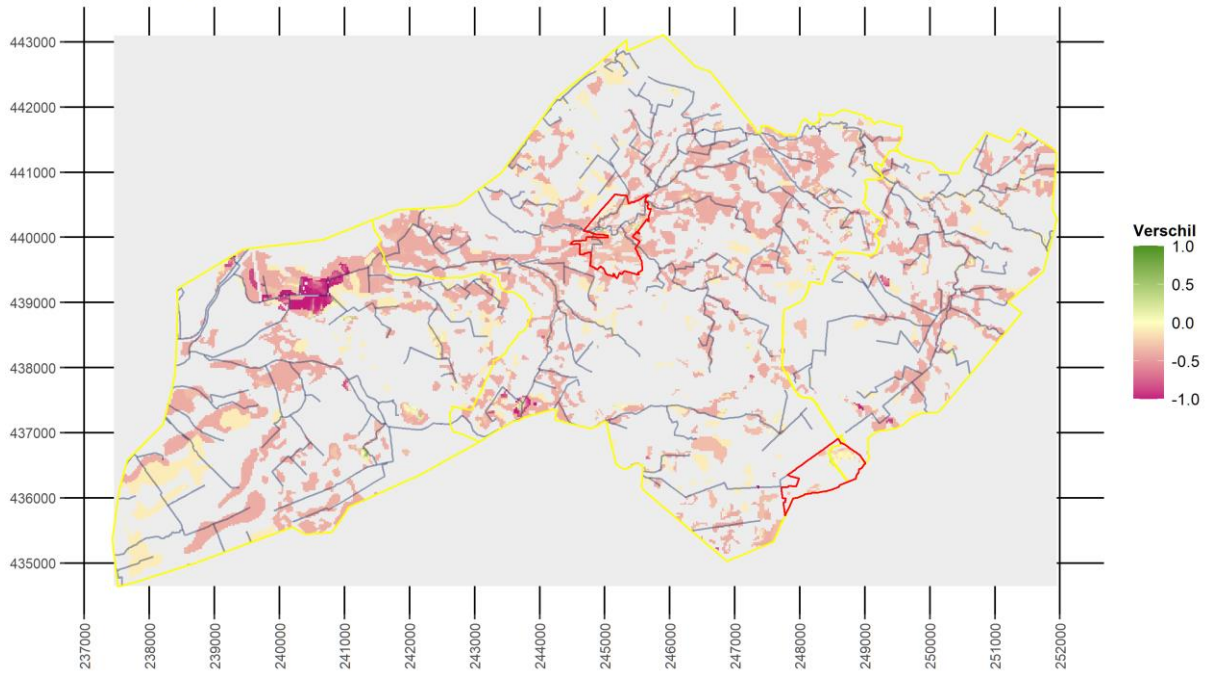
Vershil in realisatiekans voor N07.01 - Droge heide
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



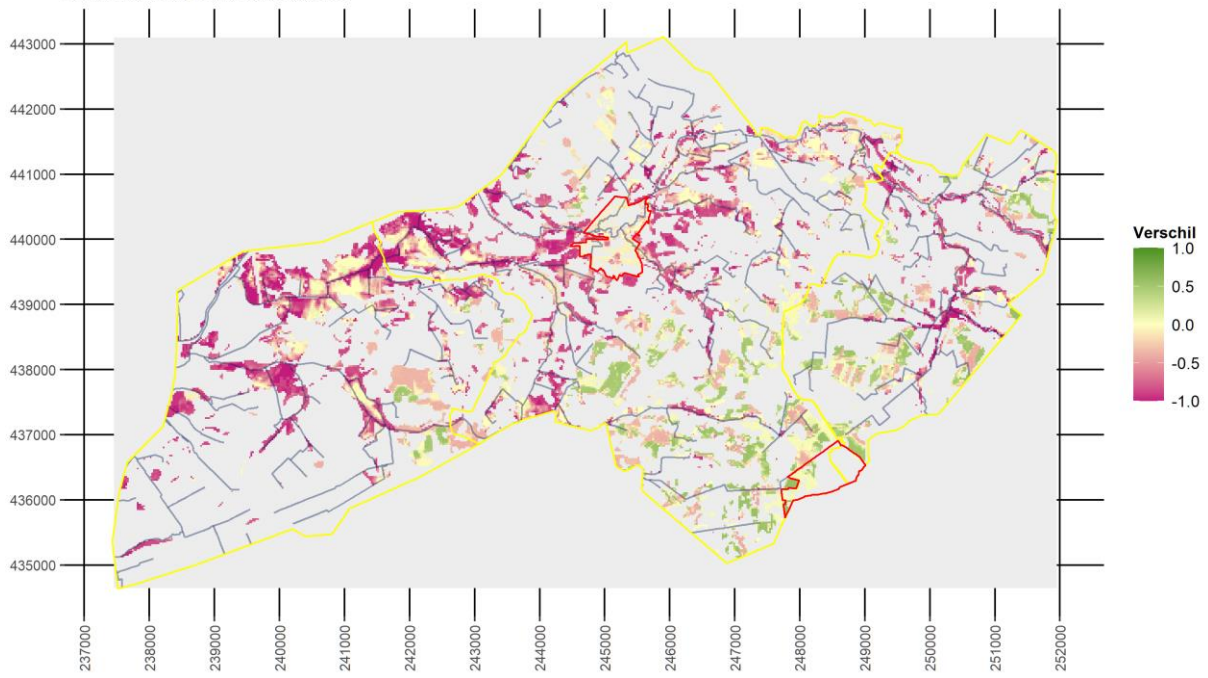
Vershil in realisatiekans voor N07.02 - Zandverstuiving
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



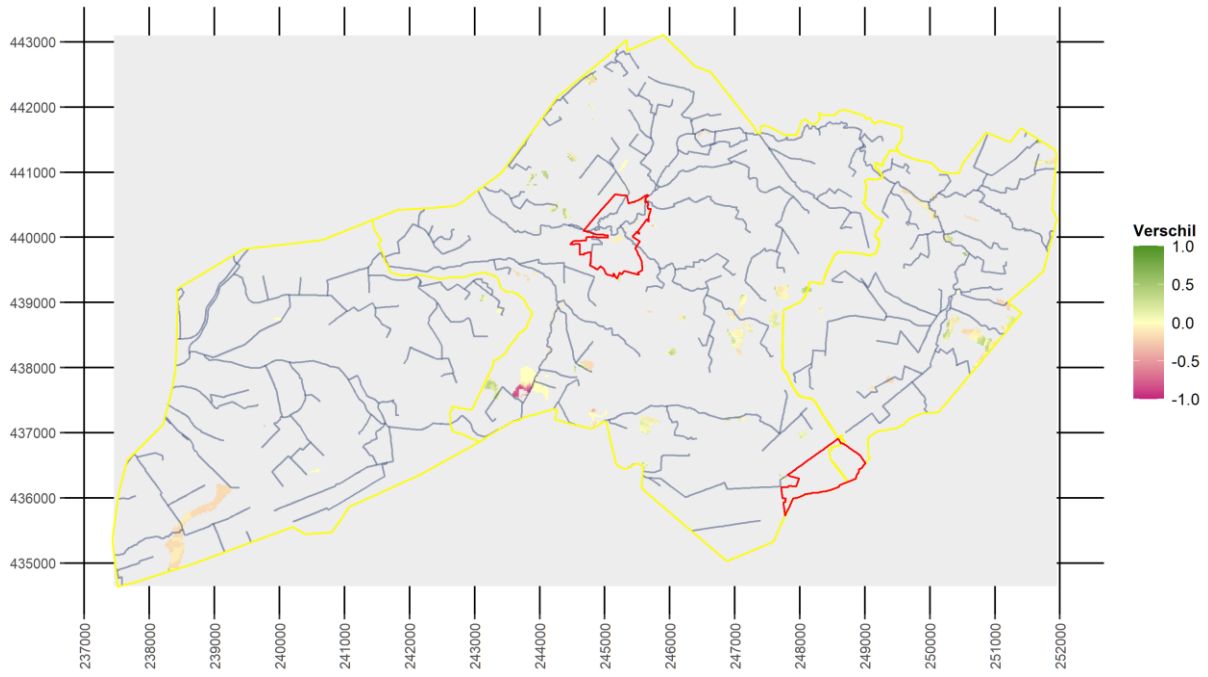
Vershil in realisatiekans voor N10.01 - Nat schraalland
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



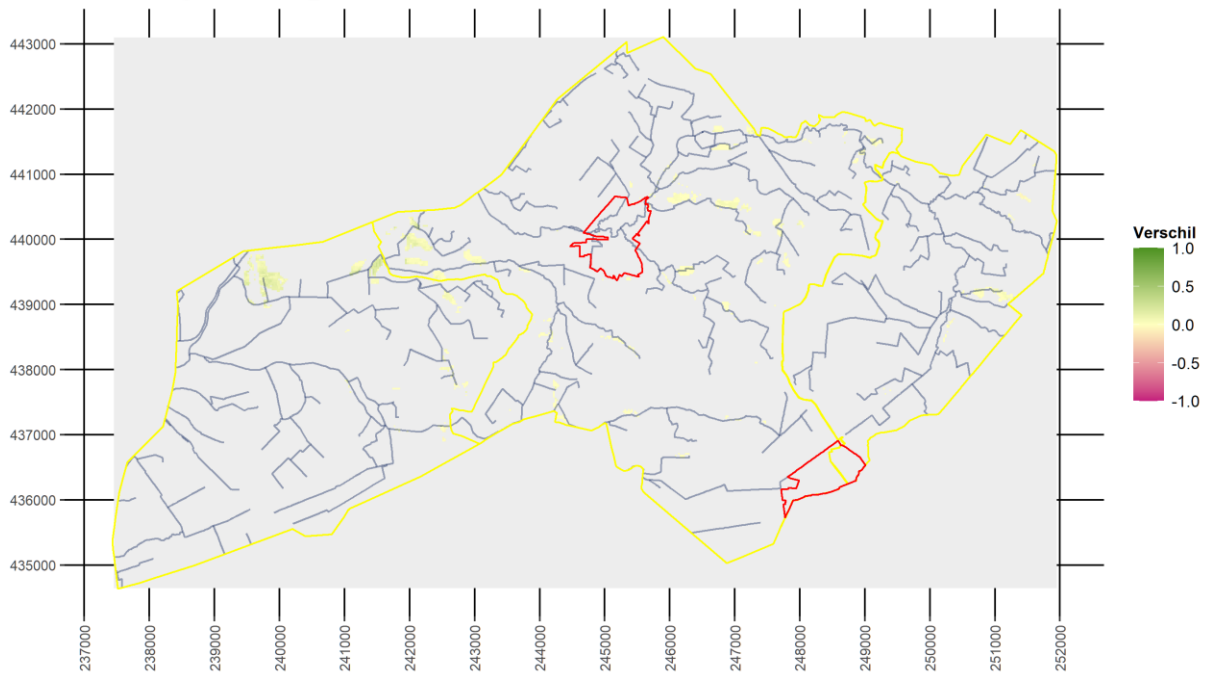
Vershil in realisatiekans voor N10.02 - Vochtig hooiland
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



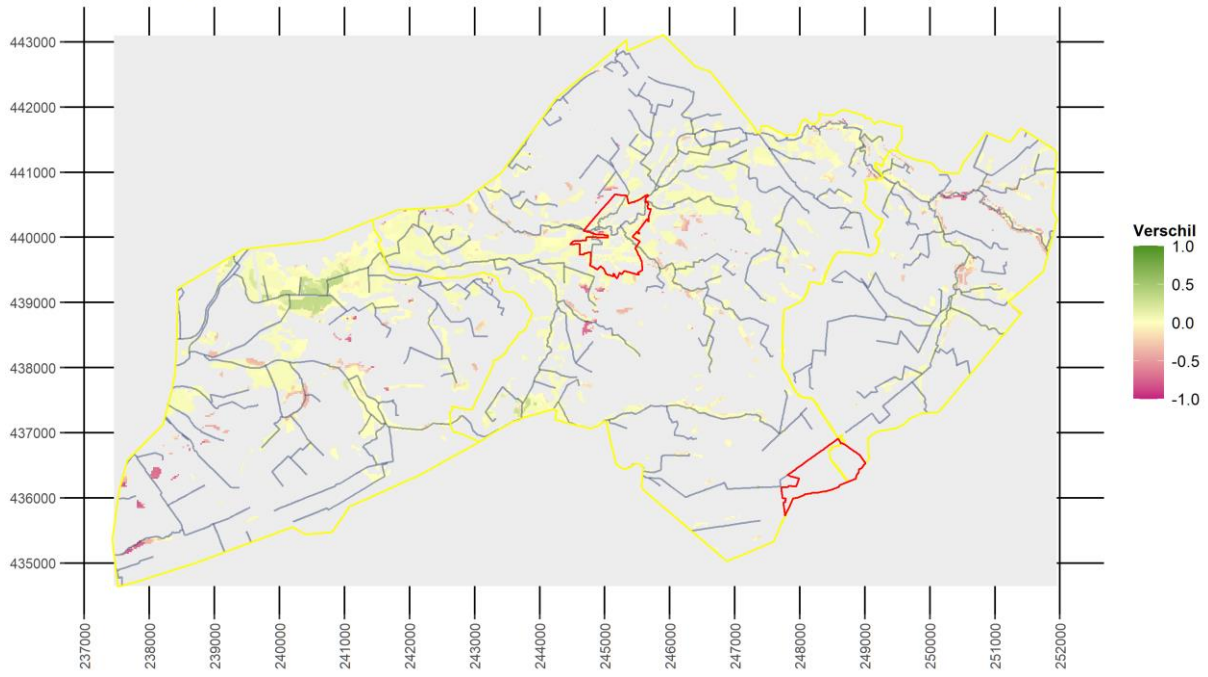
Vershil in realisatiekans voor N11.01 - Droog schraalgrasland
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



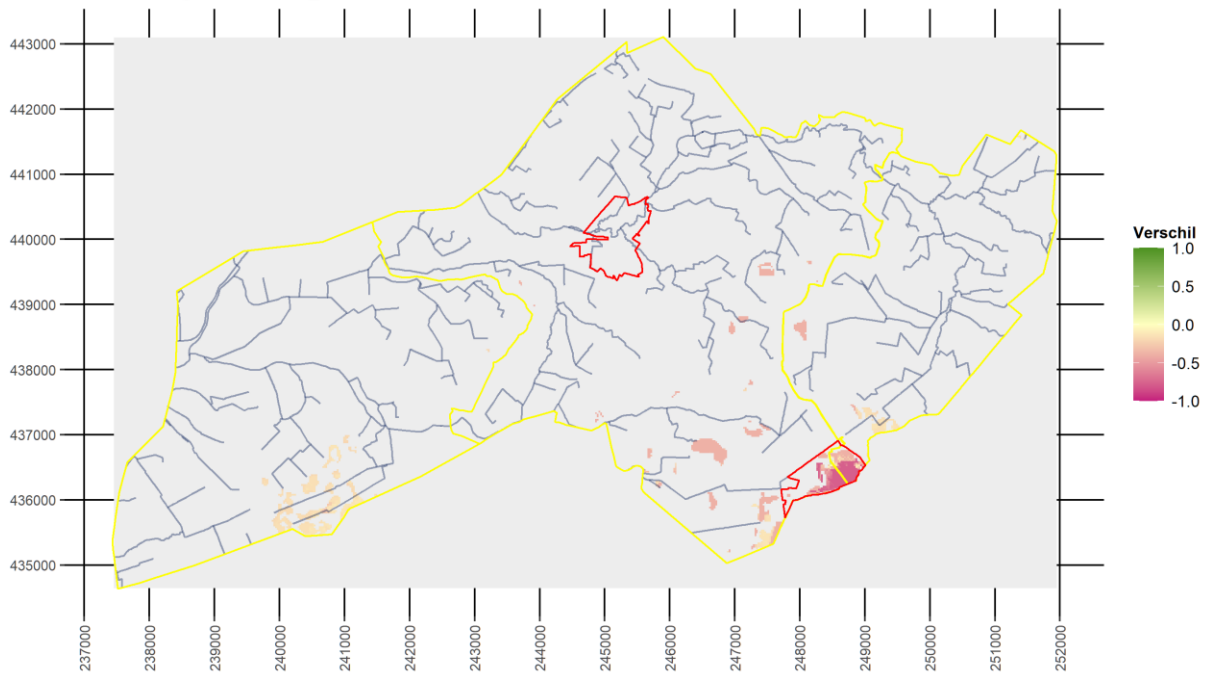
Vershil in realisatiekans voor N12.03 - Glanshaverhooiland
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



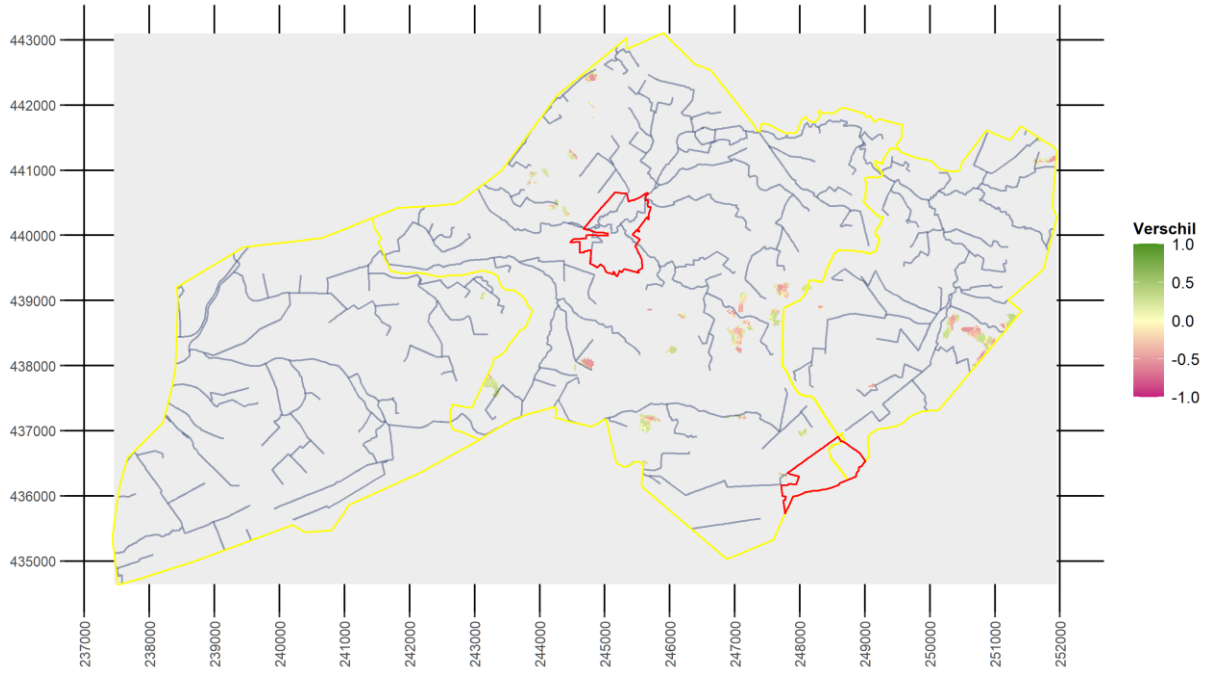
Vershil in realisatiekans voor N14.01 - Rivier- en beekbegeleidend bos
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



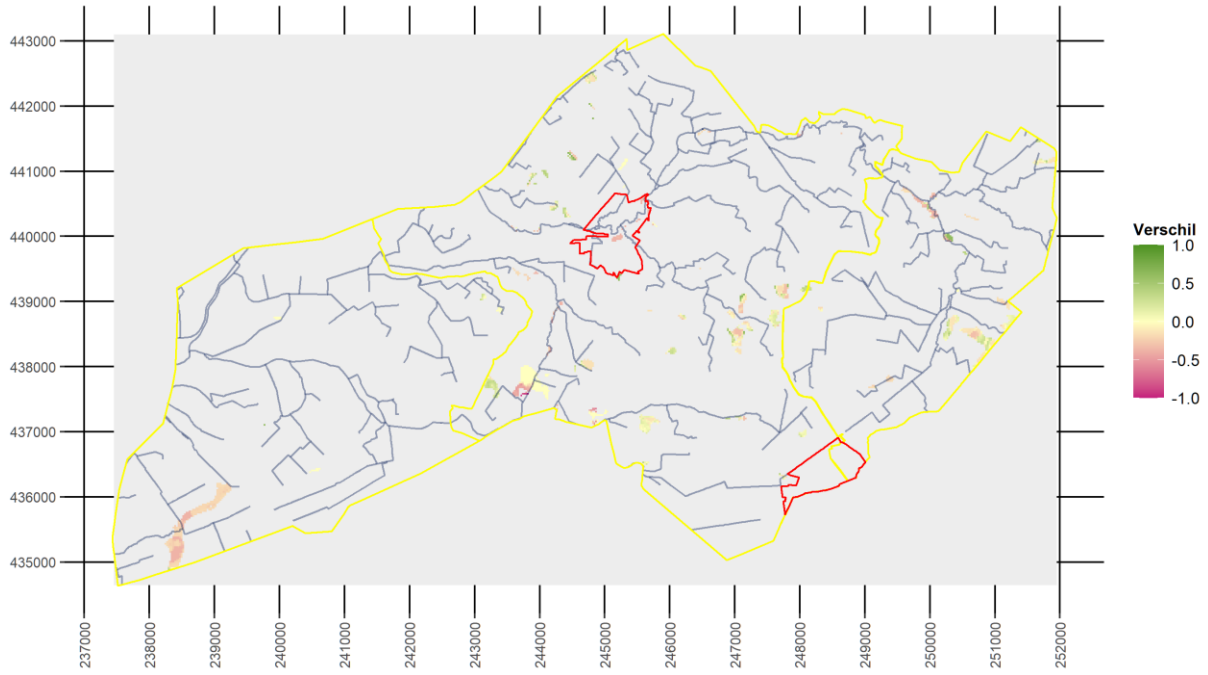
Vershil in realisatiekans voor N14.02 - Hoog- en laagveenbos
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



Vershil in realisatiekans voor N14.03 - Haagbeuken- en essenbos
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



Vershil in realisatiekans voor N15.02 - Dennen-, eiken- en beukenbos
Scenarios: Huidig t.o.v. Referentie_P50



Bijlage 7 Kwalificerende soorten

Tabel B7.1 Kwalificerende soorten voor de in deze LESA beoordeelde SNL beheertypen (bron: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>)

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
aarddistel								1					1
adderwortel							1						1
alpenheksenkruid									1				1
amandelwolfsmelk											1		1
armbloemige waterbies					1								1
beemd haver								1					1
beemdkroon								1					1
beemdooievaarsbek							1						1
beklierde ogentroost								1					1
bergdravik								1					1
berggamander								1					1
berghertshooi											1		1
bergnachtorchis								1					1
besanjelier									1				1
betonie								1					1
bevertjes						1	1	1					3
bijenorchis								1					1
bittere veldkers									1				1
blaasvaren											1		1
blauwe bremraap								1					1
blauwe knoop		1				1							2
bleek bosvogeltje											1		1
bleek schildzaad								1					1
bleeksporig bosviooltje											1		1
bleke zegge						1	1				1		3
blonde zegge						1							1
bochtige klaver								1					1
bonte paardenstaart						1							1
borstelgras				1									1
borstelkrans								1			1		2
bosanemoon												1	1
bosbies							1						1
bosbingelkruid											1		1
bosboterbloem											1		1
bosdravik											1		1
bosereprijs											1		1
bosgeelster									1		1		2
boslathyrus											1		1
bosmuur									1		1		2
bosogentroost								1					1
bospaardenstaart									1				1
bosroos											1		1
boswederik									1				1

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
boszegge											1		1
bottelroos											1		1
brede ereprijs								1					1
brede orchis						1	1						2
breed fakkelgras								1					1
breed wollegras						1							1
bruin veenmos	1												1
bruine snavelbies		1											1
bruinrode wespenorchis											1		1
buntgras				1									1
Canadees hertshooi		1											1
christoffelkruid											1		1
cipreswolfsmelk								1					1
dalkruid												1	1
daslook									1		1		2
dennenorchis												1	1
dennenwolfsklauw				1								1	2
dichte bermzegge								1			1		2
donderkruid											1		1
donkersporig bosviooltje											1		1
doorgroeide boerenkers								1					1
draadgentiaan		1				1							2
draadrus						1	1						2
draadzegge	1					1							2
driedistel								1					1
driekantige bies									1				1
drienervige zegge		1		1									2
drijvende egelskop			1										1
dubbelloof												1	1
duifkruid								1					1
Duits viltkruid								1					1
Duitse brem				1								1	2
Duitse gentiaan								1					1
dwergbloem		1				1							2
dwergrus						1							1
dwergviltkruid				1				1					2
dwergvlas		1											1
echte gamander								1					1
echte guldenroede												1	1
echte tijm								1					1
eenarig wollegras	1	1								1			3
eenbes									1		1		2
eenbloemig parelgras											1		1
ezelspootje				1	1								2
fraai hertshooi				1							1	1	3
franJegentiaan								1					1
galigaan										1			1
gaspeldoorn				1									1
gebogen driehoeksvaren												1	1
geel zonneroosje								1					1
geelgroene wespenorchis											1		1
geelgroene zegge		1											1

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
gele anemoon											1		1
gele kornoelje											1		1
gele monnikskap									1		1		2
gele zegge						1							1
gelobde maanvaren								1					1
gerimpeld gaffeltandmos				1									1
geschubde mannetjesvaren												1	1
gestreepte klaver								1					1
geveerd diknerfmos									1				1
gevlekt hertshooi											1		1
gevlekte orchis	1	1		1		1	1						5
gevleugeld hertshooi							1						1
gewone bermzegge											1		1
gewone dotterbloem							1						1
gewone eikvaren				1									1
gewone salomonszegel												1	1
gewone vleugeltjesbloem		1		1		1		1					4
gewone vogelmelk									1				1
gipskruid								1					1
gladde zegge									1				1
glanzend veenmos										1			1
grasklokje					1								1
groene bermzegge								1			1		2
groene nachtorchis								1					1
groenknolorchis						1							1
grondster		1		1		1							3
grote bremraap				1									1
grote centaurie								1					1
grote keverorchis								1	1		1		3
grote leeuwenklauw								1					1
grote muggenorchis						1		1					2
grote pimpernel							1						1
grote tijm					1			1					2
grote veldbies												1	1
grote wolfsklauw		1		1									2
gulden boterbloem							1				1		2
gulden sleutelbloem								1	1				2
hamerblaadje				1	1								2
hangende zegge									1				1
harige ratelaar								1					1
harlekijn							1						1
hauwklaver								1					1
heelbeen								1					1
heelkruid									1		1		2
heidekartelblad		1				1							2
heidespurrie					1								1
heidezegge				1									1
hengel												1	1
herfstschroeforchis								1					1
herfsttijloos							2				1		3
hokjespeul											1		1
hondsviooltje		1		1	1			1					4

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
honingorchis						1							1
hoogveenveenmos	1		1							1			3
IJslands mos				1	1								2
jeneverbes				1	1								2
kaal breukkruid								1					1
kalkwalstro								1					1
kamvaren										1			1
karwijselie						1	1						2
klavervreter								1					1
klein blaasjeskruid			1										1
klein heksenkruid									1		1		2
klein tasjeskruid					1								1
klein warkruid				1									1
klein wintergroen												1	1
kleine kaardebol											1		1
kleine keverorchis												1	1
kleine pimpernel								1					1
kleine ruit								1					1
kleine steentijm								1					1
kleine tijm				1				1					2
kleine valeriaan						1	1						2
kleine veenbes	1	1	1							1			4
kleine wolfsklauw				1									1
kleine zonnedauw	1	1											2
kleinste egelskop	1		1										2
klimopwaterranonkel						1	1						2
klokjesgentiaan		1		1		1							3
kluwenklokje								1					1
knikkend nagelkruid									1				1
knollathyrus		1		1							1		3
knolribzaad											1		1
knolsteenbreek						1		1					2
knotszegge						1							1
koningsvaren										1		1	2
koprus						1							1
kraagroos								1			1		2
kranskarwij						1							1
kranssalomonszegel												1	1
kruidvlier									1		1		2
kruipbrem		1		1				1					3
kruipende moerasweegbree						1							1
kruiptijm								1					1
kruipwilg		1		1									2
kruisbes											1		1
kruisbladwalstro									1		1		2
kuifvleugeltjesbloem								1					1
kussentjesmos				1									1
kussentjesveenmos		1											1
lange zonnedauw	1												1
lansvaren											1		1
laurierwilg										1			1
lavendelhei	1		1							1			3

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
lelietje-van-dalen												1	1
lievevrouwebedstro											1		1
liggende ereprijs								1					1
liggende vleugeltjesbloem	1			1		1							3
linnaeusklokje												1	1
maarts viooltje									1				1
mannetjesorchis											1		1
melkviooltje	1					1	1						3
mispel												1	1
moeraskartelblad						1	1						2
moeraskruiskruid									1				1
moeraslathyrus										1			1
moerassmele	1												1
moerastreepzaad						1	1		1				3
moeraswespenorchis						1							1
moeraswolfsklauw	1												1
moeraswolfsmelk									1	1			2
moesdistel						1	1						2
muskuskruid									1		1		2
noords walstro							1						1
noordse zegge						1	1						2
oeverkruid	1			1									2
onderaardse klaver								1					1
oorsilene								1					1
overblijvende hardbloem								1					1
paarbladig goudveil									1				1
paardenhaarzegge						1				1			2
parnassia						1							1
plat blaasjeskruid						1							1
platte bies							1						1
poelruit										1			1
polei							1						1
poppenorchis								1					1
purperorchis								1					1
rapunzelklokje								1					1
reuzenpaardenstaart									1				1
riempjes	1			1									2
rietorchis						1	1						2
rijsbes										1			1
rivierduinzegge								1					1
rivierkruiskruid									1				1
rode bremraap								1					1
rode dophei				1									1
rode heikorst				1									1
rode ogentroost							1						1
ronde zegge						1							1
ronde zonnedauw	1												1
rood peperboompje											1		1
rood veenmos	1									1			2
roze heikorst				1									1
rozenkransje				1				1					2
ruig hertshooi											1		1

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
ruig klokje											1		1
ruig schapengras								1					1
ruige anjer								1					1
ruige scheefkelk								1					1
ruige veldbies												1	1
ruwe dravik											1		1
schaafstro									1				1
schaduwkruiskruid												1	1
schedegeelster											1		1
schilderprijs						1							1
schubzegge						1							1
slangenlook									1				1
slangenwortel	1		1										2
slank stapelbekertje					1								1
slank wollegras										1			1
slanke gentiaan								1					1
slanke mantelanjer								1					1
slanke ogentroost				1				1					2
slanke sleutelbloem									1		1		2
slanke zegge									1	1			2
soldaatje								1					1
Spaanse ruiter		1				1							2
spindotterbloem									1				1
spits havikskruid								1					1
steenanjier								1					1
steenbraam												1	1
stekelbrem		1		1									2
stekende wolfsklauw												1	1
stengelloze sleutelbloem											1	1	2
sterzegge	1					1				1			3
stijf hardgras								1					1
stijf veenmos										1			1
stijve naaldvaren											1		1
stijve ogentroost		1		1									2
stijve steenraket											1		1
stijve wolfsmelk								1					1
stijve zegge										1			1
stippelvaren												1	1
stofzaad												1	1
stuiyzandkorrelloof				1	1								2
stuiyzandstapelbekertje					1								1
tandjesgras					1								1
teer guichelheil						1							1
tengere veldmuur								1					1
tongvaren											1		1
torenkruid									1		1		2
tripmadam								1					1
trodravik							1						1
trosgamander								1					1
tweehuzige zegge						1							1
tweestijlige meidoorn											1		1
valkruid	1			1									2

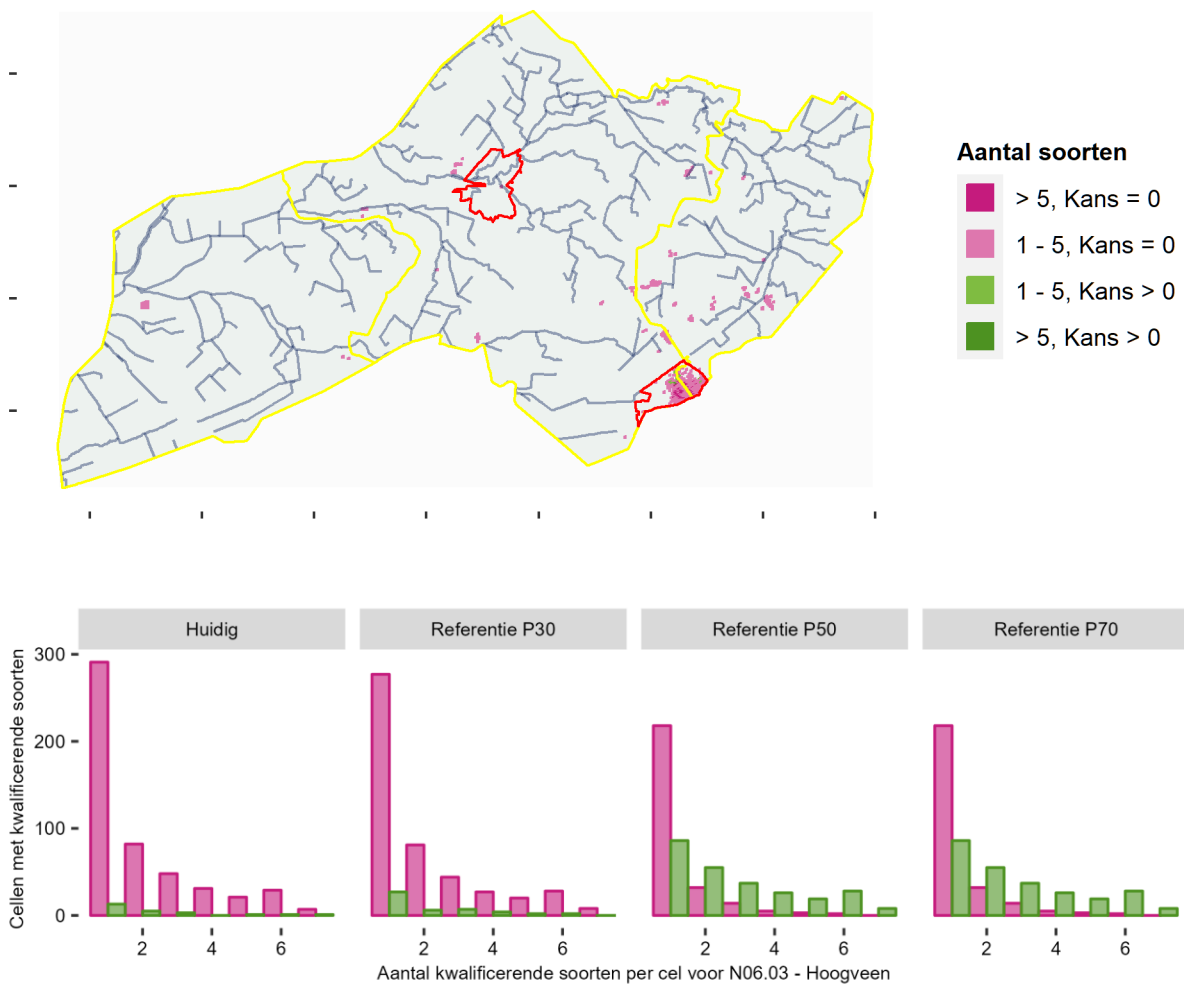
Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
valse salie												1	1
valse zandzegge												1	1
veelstengelige waterbies		1											1
veenbies		1											1
veenbloembies	1		1										2
veengaffeltandmos	1												1
veenmosorchis			1			1							2
veldgentiaan								1					1
veldsalie								1					1
verfbrem				1			1	1					3
verspreidbladig goudveil									1				1
vetblad						1							1
vierrijige ogentroost								1					1
vijfrijig veenmos	1												1
viltroos								1			1		2
vingerzegge											1		1
violet veenmos										1			1
vleeskleurige orchis						1	1						2
vliegenorchis								1			1		2
vlozegge						1							1
vogelnestje											1		1
voorjaarsganzerik								1					1
voorjaarszegge								1					1
vroege haver					1								1
vroege zegge								1					1
walstrobremraap								1					1
wateraardbei		1								1			2
waterdrieblad						1				1			2
waterkruiskruid							1						1
waterviolier										1			1
week veenmos		1											1
wegedoorn											1		1
weidekervel						1	1						2
weideklokje								1					1
weide-vergeet-mij-nietje							1						1
welriekende agrimonie									1		1		2
welriekende nachtorchis		1				1	1						3
wijdbloeiende rus		1				1							2
wild kattedkruid											1		1
wilde averuit								1					1
wilde gagel		1								1			2
wilde kievitsbloem							1		1				2
wilde narcis												1	1
winterlinde											1		1
wit bosvogeltje											1		1
witte engbloem											1		1
witte klaverzuring												1	1
witte rapunzel									1		1		2
witte snavelbies	1	1	1										3
witte veldbies												1	1
wollig korrelloof					1								1
wondklaver								1					1

Soort	N06.03	N06.04	N06.06	N07.01	N07.02	N10.01	N10.02	N11.01	N14.01	N14.02	N14.03	N15.02	Eindtotaal
wrattig veenmos	1		1							1			3
zacht veenmos		1											1
zacht vetkruid								1					1
zandblauwtje				1	1			1					3
zandwolfsmelk								1					1
zevenster												1	1
zilte rus							1						1
zilverhaver				1	1			1					3
zinkboerenkers								1					1
zinkschapengras								1					1
zinkviooltje								1					1
zomerklokje									1				1
zwartblauwe rapunzel						1	1		1		1		4
Zweedse kornoelje		1										1	2
aapjesorchis								1					1
aardbeiganzerik									1		1		2
addertong						1	1						2
beenbreek	1	1											2
blauwe knoop				1									1
bochtige klaver												1	1
draadzegge			1							1			2
dwergviltkruid					1								1
Eindtotaal	19	44	12	44	19	58	39	104	43	27	75	35	519

Voorkomen kwalificerende soorten per beheertype in relatie tot geschikte locaties

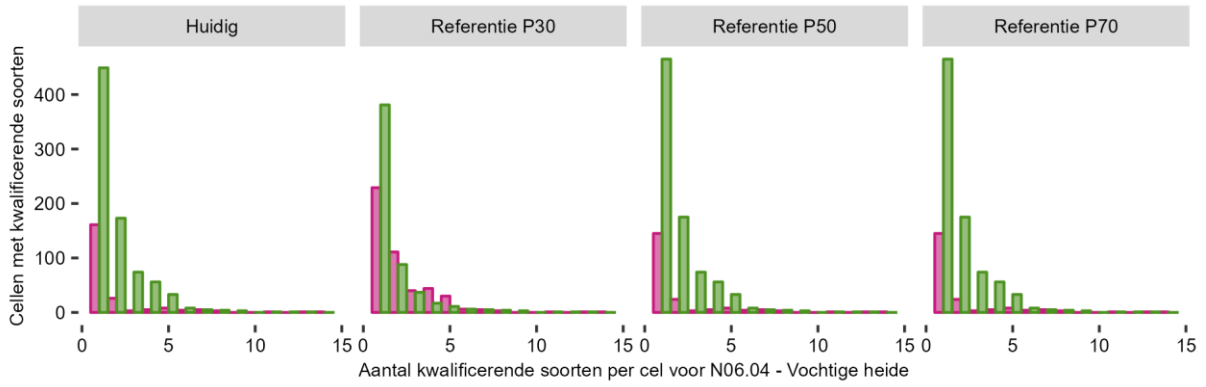
Hieronder geven wij steeds op een kaart weer waar voor elk beheertype kwalificerende soorten gevonden zijn, zowel binnen geschikte cellen (realisatiekans > 0, grijsgroen) als daarbuiten (realisatiekans = 0; grijs). Daaronder staat het aantal cellen waarin één of meer soorten gevonden zijn in histogrammen weergegeven, ook weer opgesplitst naar realisatiekans > 0 of realisatiekans = 0. De waarnemingen horen natuurlijk bij de huidige hydrologie, maar omdat het ook om relictten van oude groeiplaatsen zou kunnen gaan, is eveneens de verdeling opgenomen in vergelijking met geschikte locaties in de referentiesituatie, waarbij naast de mediane waarden (P50) ook het nattere deel (P30) en het drogere deel (P70) van de gradiënt zijn meegenomen.

Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N06.03 - Hoogveen
 Scenario: Huidig

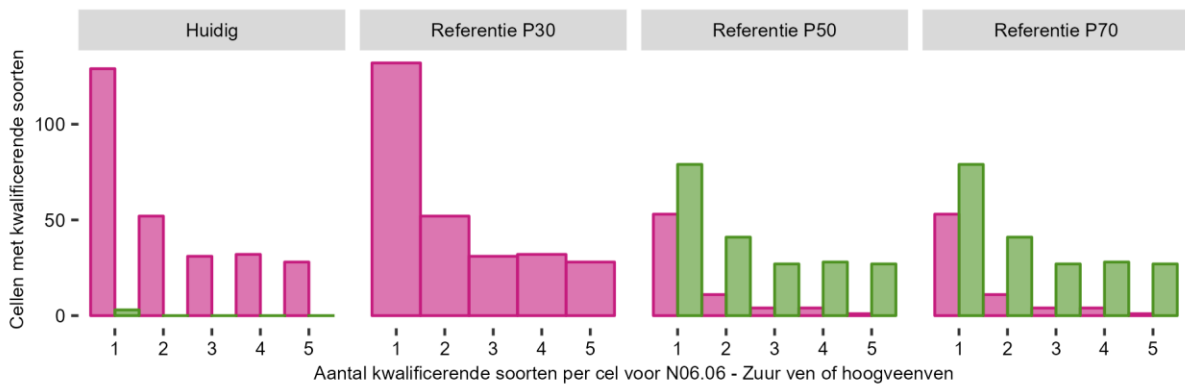
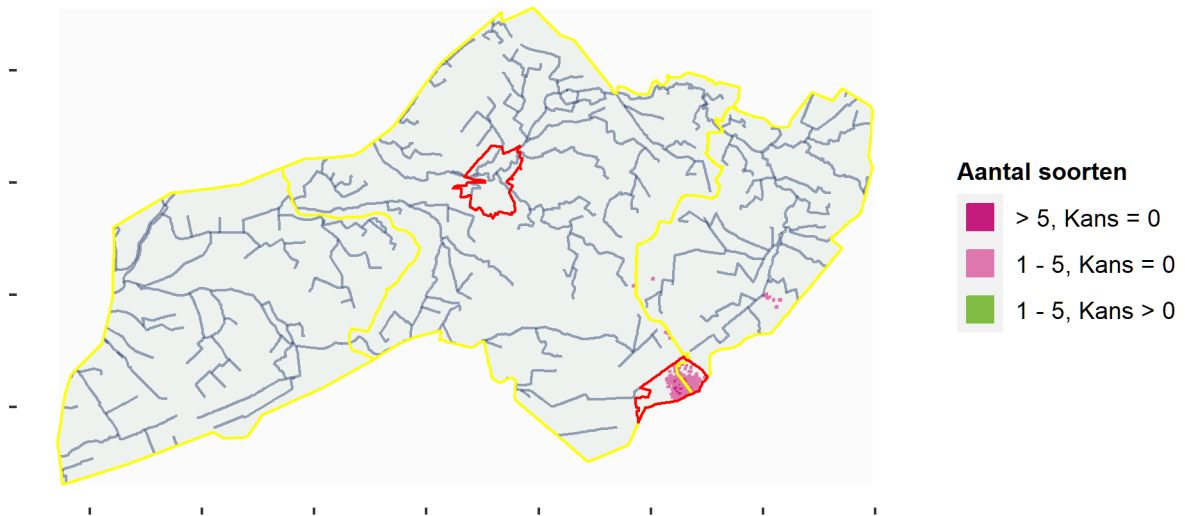


Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N06.04 - Vochtige heide
 Scenario: Huidig





Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N06.06 - Zuur ven of hoogveenven
 Scenario: Huidig



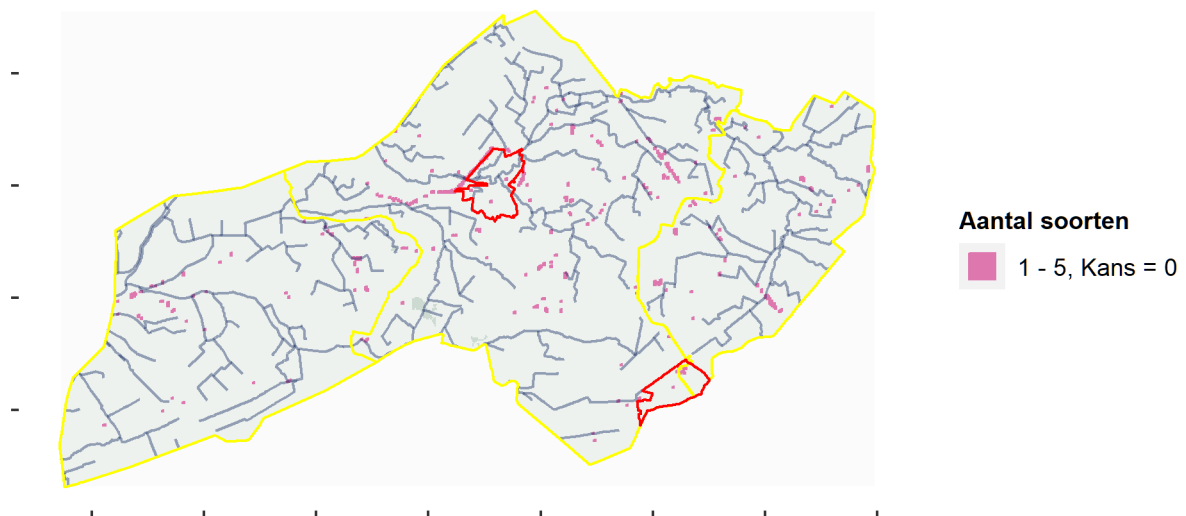
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N07.01 - Droge heide

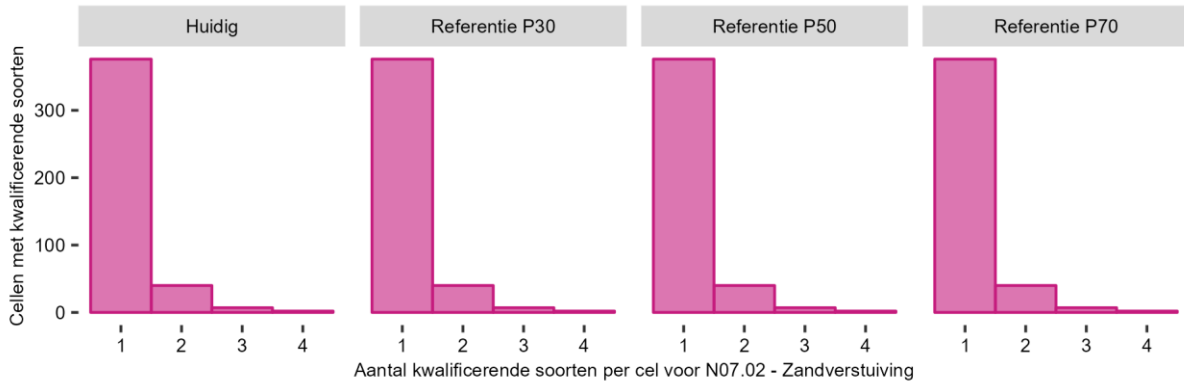
Scenario: Huidig



Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N07.02 - Zandverstuiving

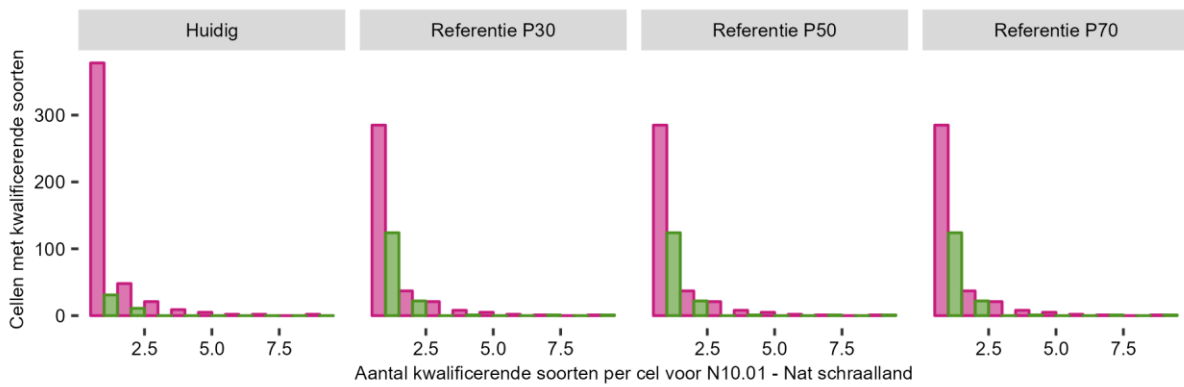
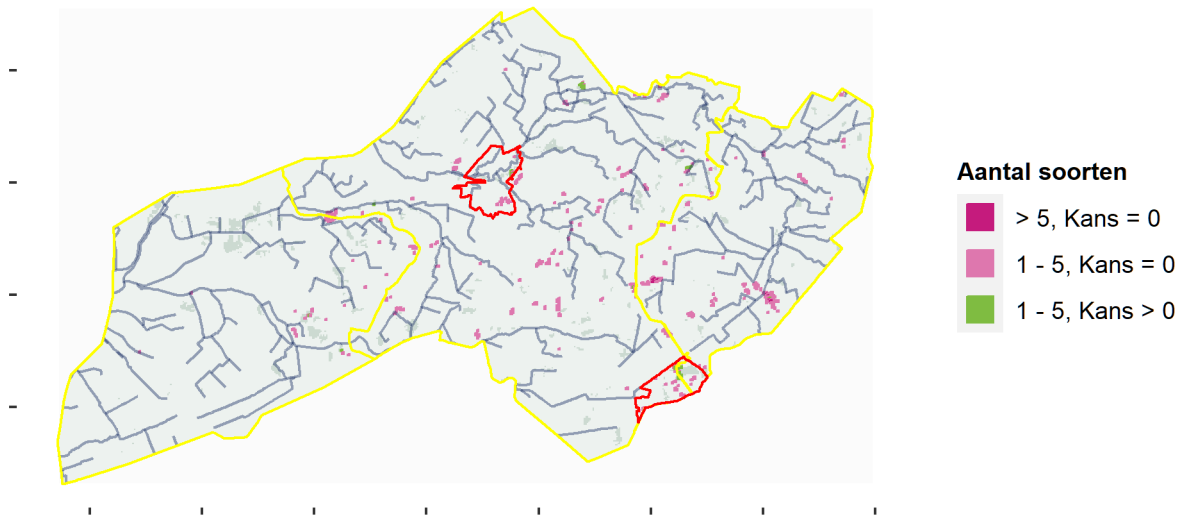
Scenario: Huidig





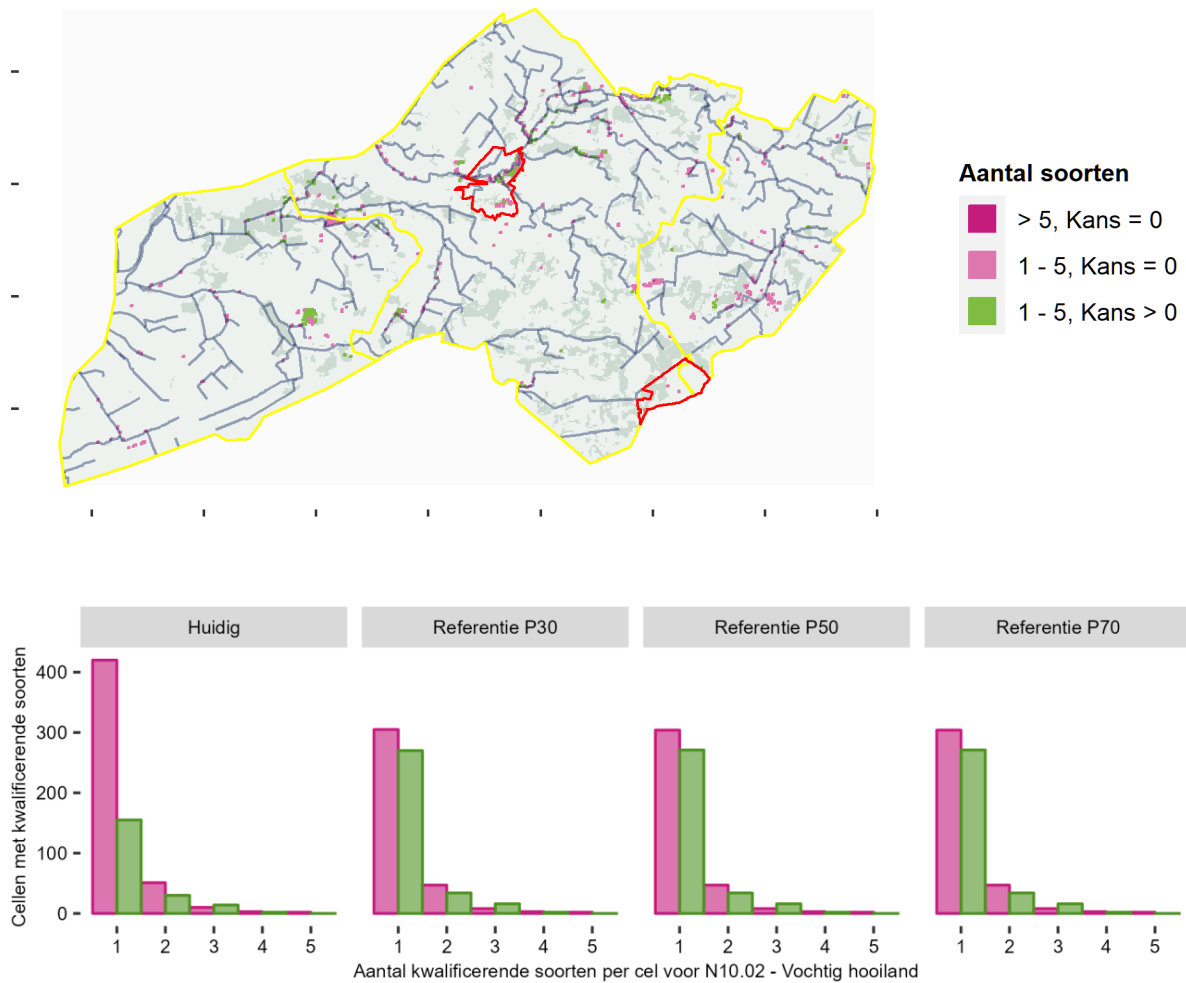
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N10.01 - Nat schraalland

Scenario: Huidig



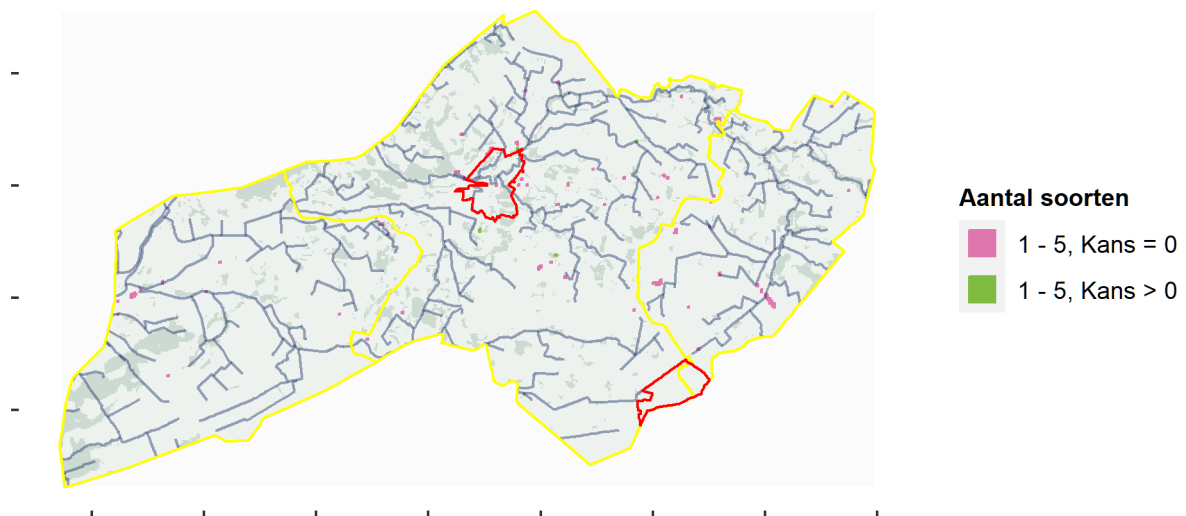
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFD voor N10.02 - Vochtig hooiland

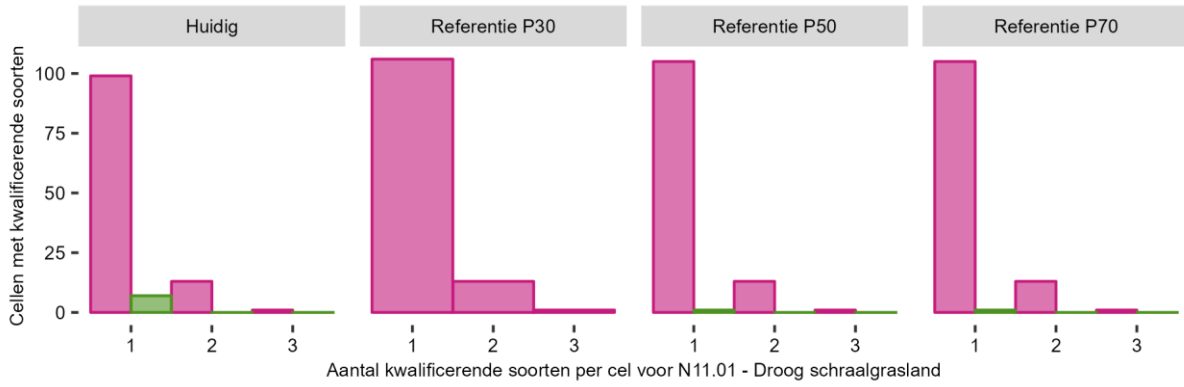
Scenario: Huidig



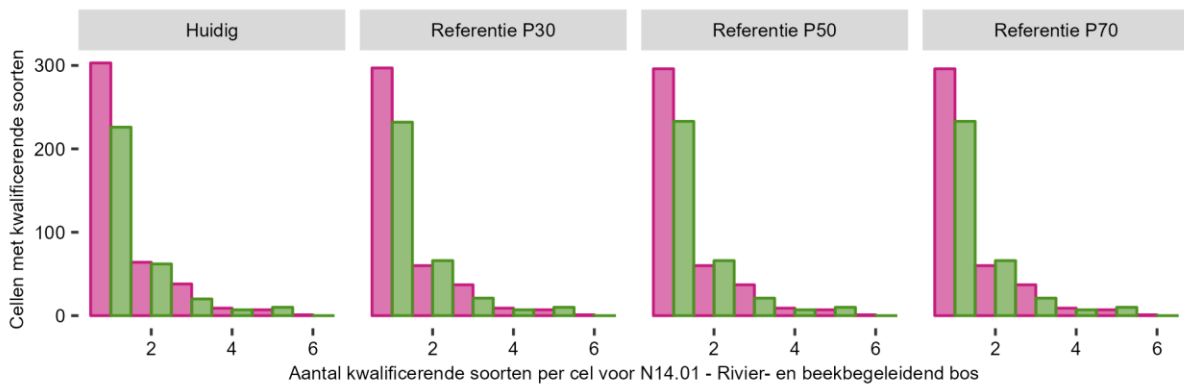
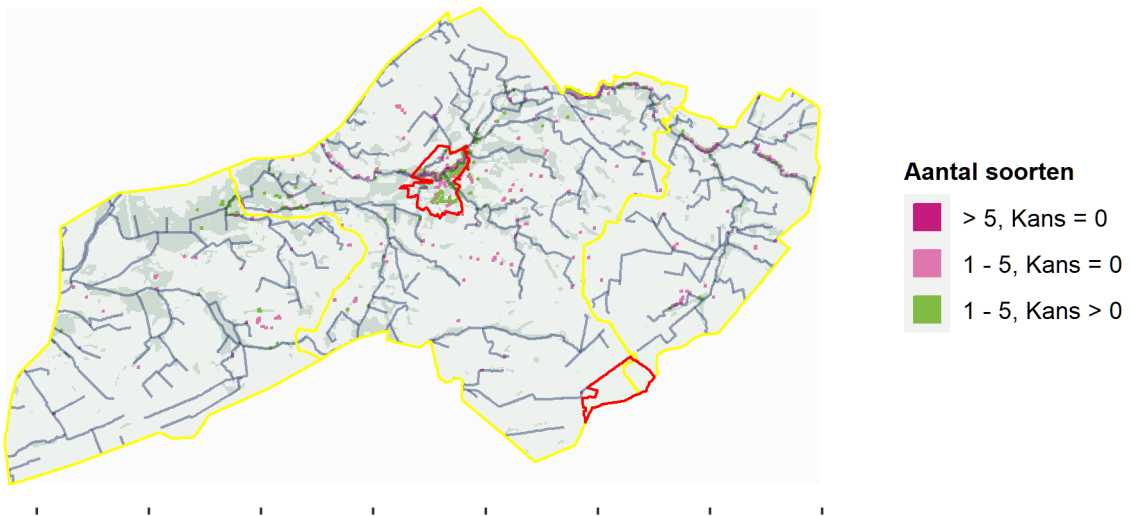
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFD voor N11.01 - Droog schraalgrasland

Scenario: Huidig



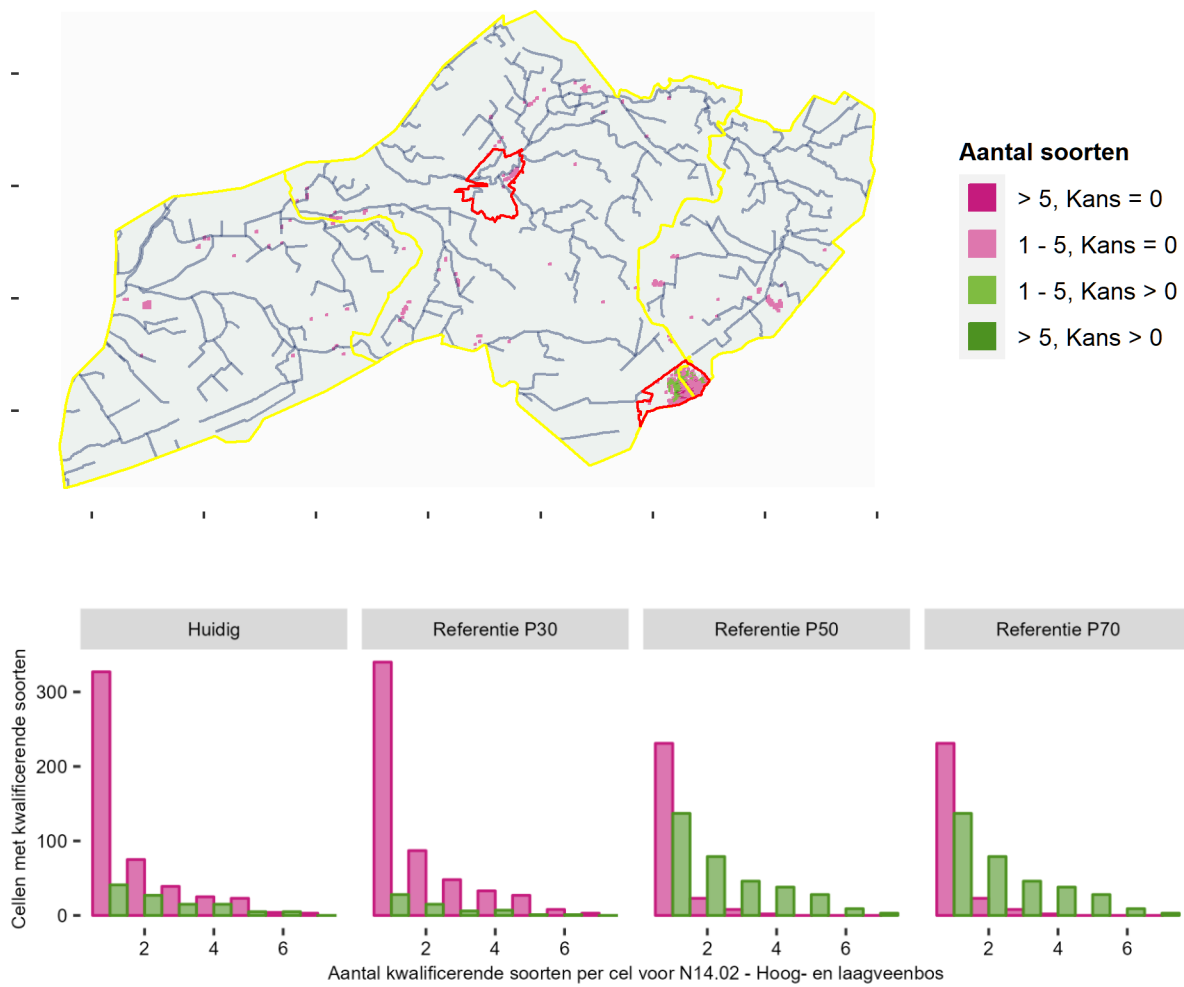


Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N14.01 - Rivier- en beekbegeleidend bos
 Scenario: Huidig



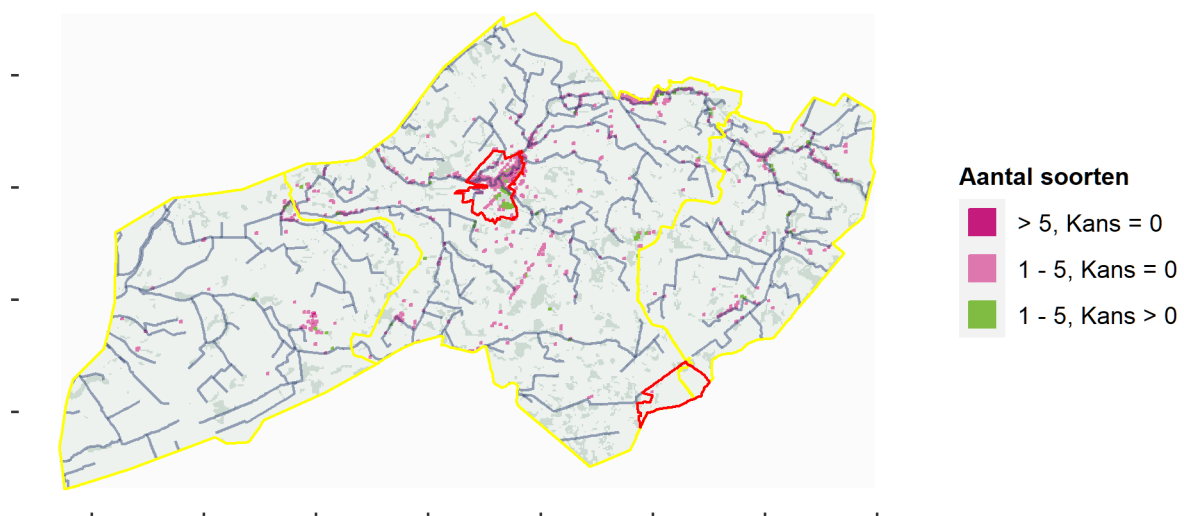
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N14.02 - Hoog- en laagveenbos

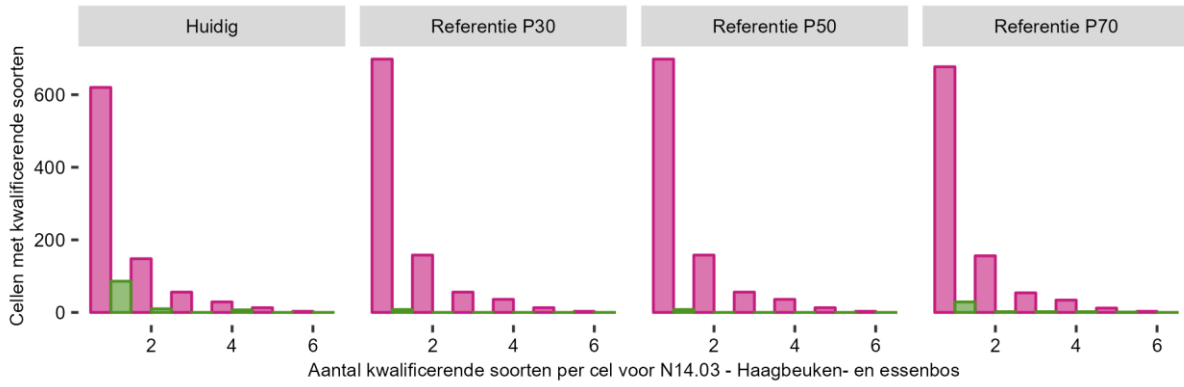
Scenario: Huidig



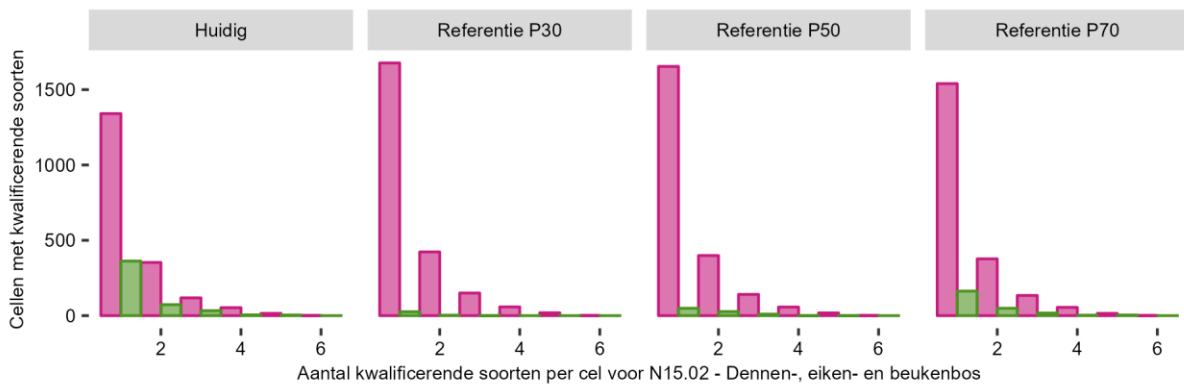
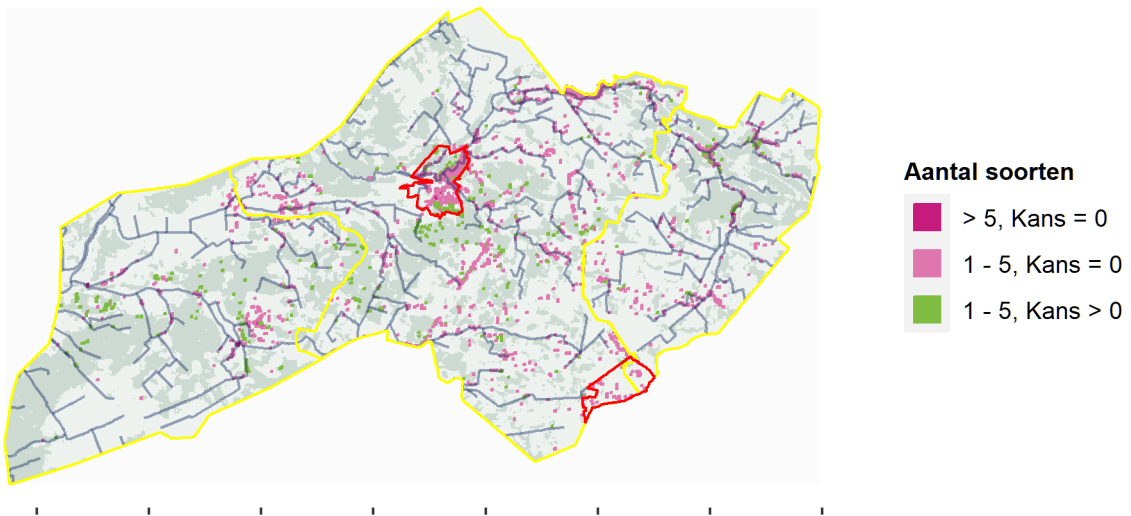
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N14.03 - Haagbeuken- en essenbos

Scenario: Huidig





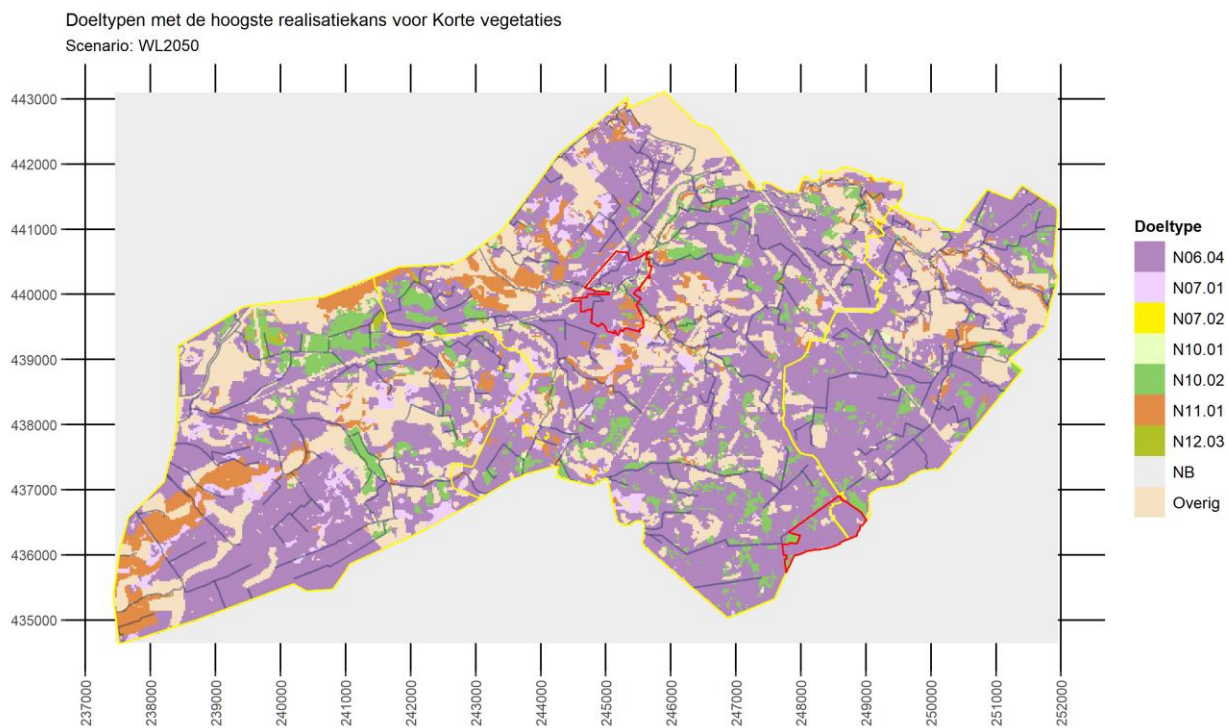
Kwalificerende soorten per cel (25x25 m) in NDFF voor N15.02 - Dennen-, eiken- en beukenbos
 Scenario: Huidig



Bijlage 8 Veranderingen realisatiekans per klimaatscenario

Tabel B8.1 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van korte vegetaties bij klimaatscenario WL2050, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

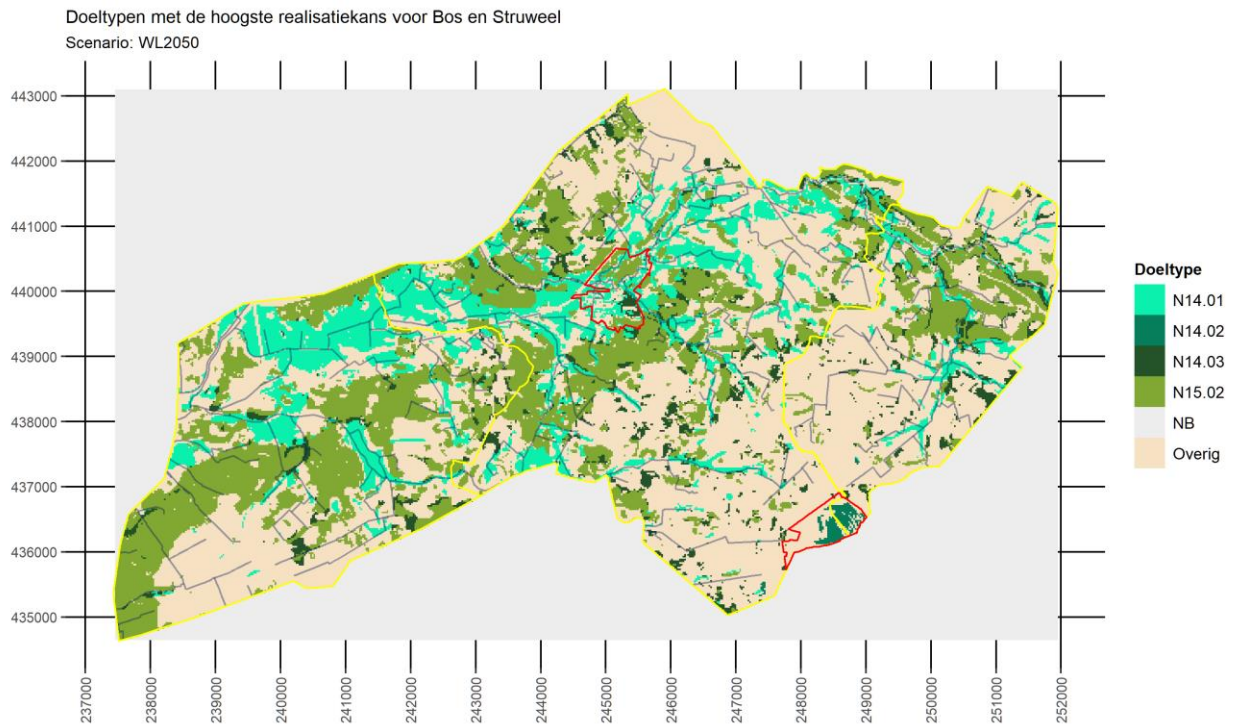
Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N06.02	Trilveen	0.4	0.036	0.143	0.464
N06.03	Hoogveen	12.6	0.023	0.157	0.444
N06.04	Vochtige heide	4173.6	0.035	0.778	1.000
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	2.4	0.008	0.032	0.065
N07.01	Droge heide	665.1	0.000	0.165	1.000
N07.02	Zandverstuiving	10.1	0.010	1.000	1.000
N10.01	Nat schraalland	273.9	0.000	0.141	0.986
N10.02	Vochtig hooiland	1014.4	0.001	0.583	1.000
N11.01	Droog schraalgrasland	647.1	0.002	0.504	0.868
N12.03	Glanshaverhooiland	103.1	0.000	0.023	0.309



Figuur B8.1 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij klimaatscenario WL2050. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

Tabel B8.2 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van bos en struweel bij klimaatscenario WL2050, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1085.9	0.003	0.710	1.000
N14.02	Hoog- en laagveenbos	25.0	0.011	0.340	0.728
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	482.6	0.002	0.380	0.987
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2013.9	0.000	0.481	1.000

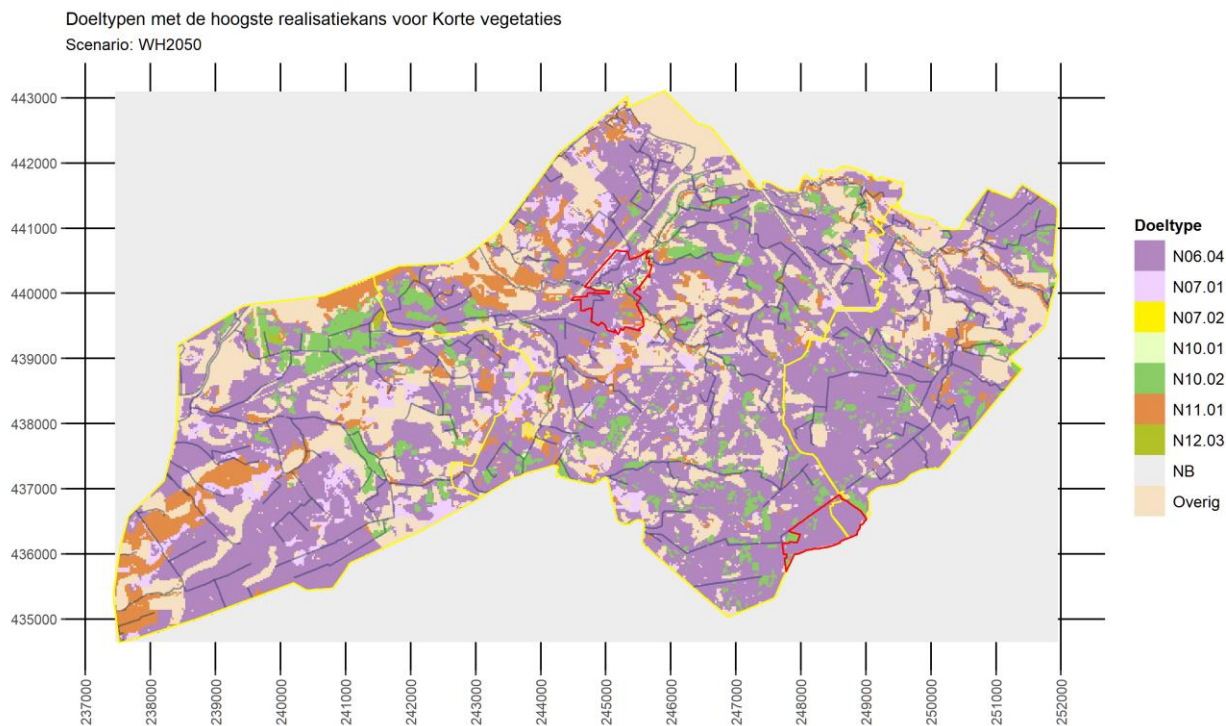


Tabel B8.3 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij klimaatscenario WL2050, in vergelijking met de actuele hydrologie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in scenario WL2050. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktes verschil (ha)				
		WL2050	Huidig	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.4	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0
N06.03	Hoogveen	12.6	1.9	11.0	0.0	1.5	0.0	0.4	0.0
N06.04	Vochtige heide	4173.6	4135.2	38.0	3.9	192.6	3479.4	443.2	16.1
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	2.4	0.4	2.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	665.1	777.3	-112.0	1.8	373.9	401.6	0.0	0.0
N07.02	Zandverstuiving	10.1	11.0	-1.0	0.4	3.3	7.3	0.0	0.0
N10.01	Nat schraalland	273.9	149.3	125.0	3.1	0.3	0.1	145.8	0.0
N10.02	Vochtig hooiland	1014.4	928.6	86.0	1.4	51.3	329.8	546.1	0.1
N11.01	Droog schraalgrasland	647.1	733.2	-86.0	0.2	458.3	274.7	0.0	0.0
N12.03	Glanshaverhooiland	103.1	107.2	-4.0	0.0	63.4	43.8	0.0	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1085.9	1084.5	1.0	0.5	103.3	920.1	60.6	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	25.0	9.2	16.0	0.7	1.1	0.0	7.1	0.3
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	482.6	610.9	-128.0	10.9	414.8	57.0	124.3	3.9
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2013.9	2299.4	-286.0	0.7	1050.3	1248.4	0.0	0.0

Tabel B8.4 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van korte vegetaties bij klimaatscenario WH2050, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekans.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N06.02	Trilveen	0.1	0.250	0.268	0.286
N06.03	Hoogveen	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.04	Vochtige heide	4073.8	0.035	0.778	1.000
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.000	0.000	0.000
N07.01	Droge heide	845.1	0.000	0.145	1.000
N07.02	Zandverstuiving	11.6	0.010	1.000	1.000
N10.01	Nat schraalland	79.4	0.000	0.099	0.845
N10.02	Vochtig hooiland	978.2	0.001	0.574	1.000
N11.01	Droog schraalgrasland	830.1	0.001	0.433	0.868
N12.03	Glanshaverhooiland	107.7	0.000	0.024	0.309

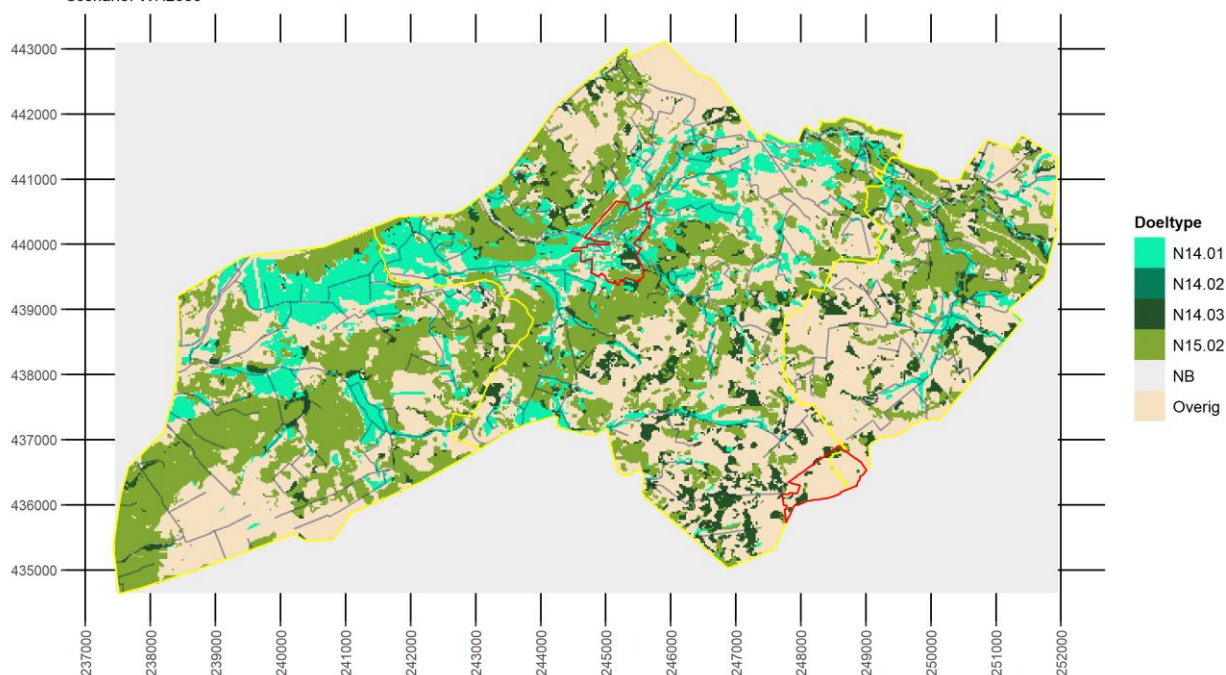


Figuur B8.2 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij klimaatscenario WH2050. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

Tabel B8.5 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van bos en struweel bij klimaatscenario WH2050, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1082.6	0.003	0.710	1.000
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0.4	0.076	0.179	0.272
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	737.3	0.001	0.298	0.987
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2593.3	0.000	0.471	1.000

Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor Bos en Struweel
 Scenario: WH2050

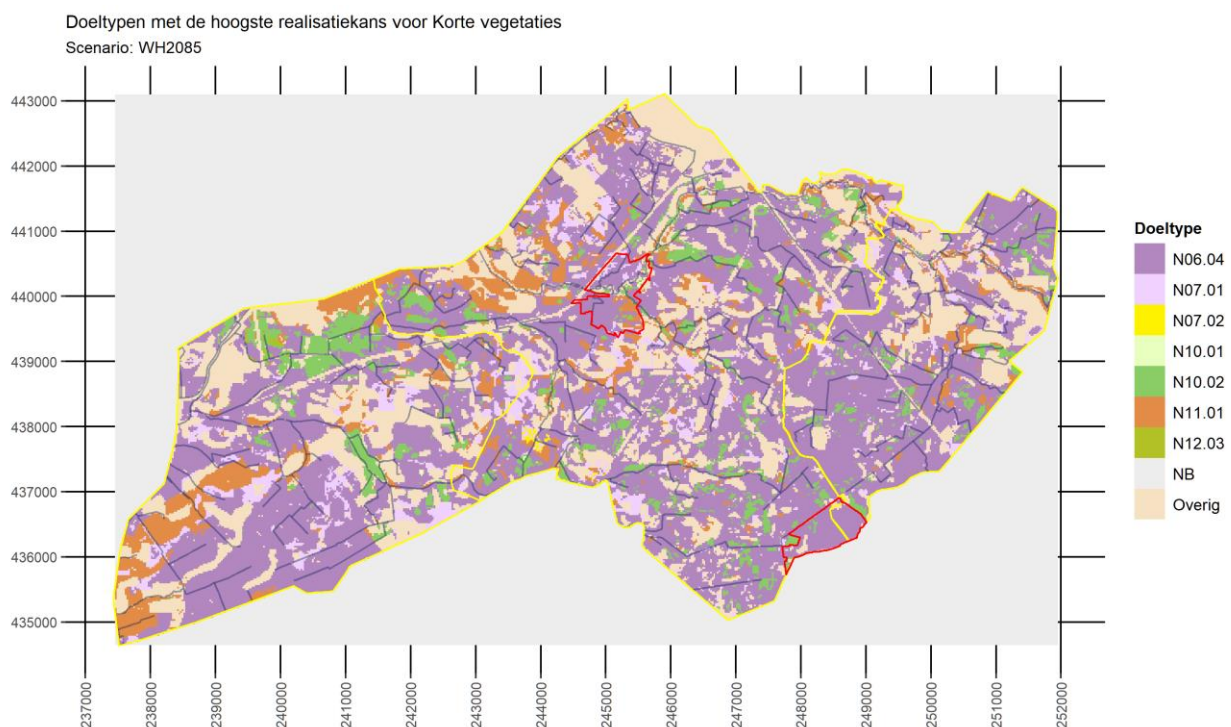


Tabel B8.6 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij klimaatscenario WH2050, in vergelijking met de actuele hydrologie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekansen groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in scenario WH2050. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktes verschil (ha)				
		WH2050	Huidig	Vershil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.1	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	0.0	1.9	-2.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	4073.8	4135.2	-61.0	44.6	474.0	3528.2	88.4	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	845.1	777.3	68.0	0.2	60.5	471.3	244.9	0.4
N07.02	Zandverstuiving	11.6	11.0	1.0	0.0	0.6	8.3	2.1	0.0
N10.01	Nat schraalland	79.4	149.3	-70.0	0.4	140.0	0.2	8.6	0.0
N10.02	Vochtig hooiland	978.2	928.6	50.0	0.2	78.8	384.6	465.0	0.0
N11.01	Droog schraalgrasland	830.1	733.2	97.0	0.0	35.5	326.2	371.5	0.0
N12.03	Glanshaverhooiland	107.7	107.2	0.0	0.0	53.0	50.2	3.9	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1082.6	1084.5	-2.0	0.2	100.1	949.8	34.3	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0.4	9.2	-9.0	0.4	8.8	0.0	0.0	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	737.3	610.9	126.0	7.7	201.2	91.2	298.1	12.7
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2593.3	2299.4	294.0	0.0	110.1	1403.2	785.8	0.3

Tabel B8.7 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van korte vegetaties bij klimaatscenario WH2085, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N06.02	Trilveen	0.1	0.143	0.161	0.179
N06.03	Hoogveen	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.04	Vochtige heide	3968.9	0.035	0.778	1.000
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.000	0.000	0.000
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.000	0.000	0.000
N07.01	Droge heide	943.1	0.001	0.138	1.000
N07.02	Zandverstuiving	12.1	0.020	1.000	1.000
N10.01	Nat schraalland	39.2	0.000	0.102	0.792
N10.02	Vochtig hooiland	948.4	0.001	0.534	1.000
N11.01	Droog schraalgrasland	947.3	0.001	0.403	0.868
N12.03	Glanshaverhooiland	109.1	0.000	0.027	0.309

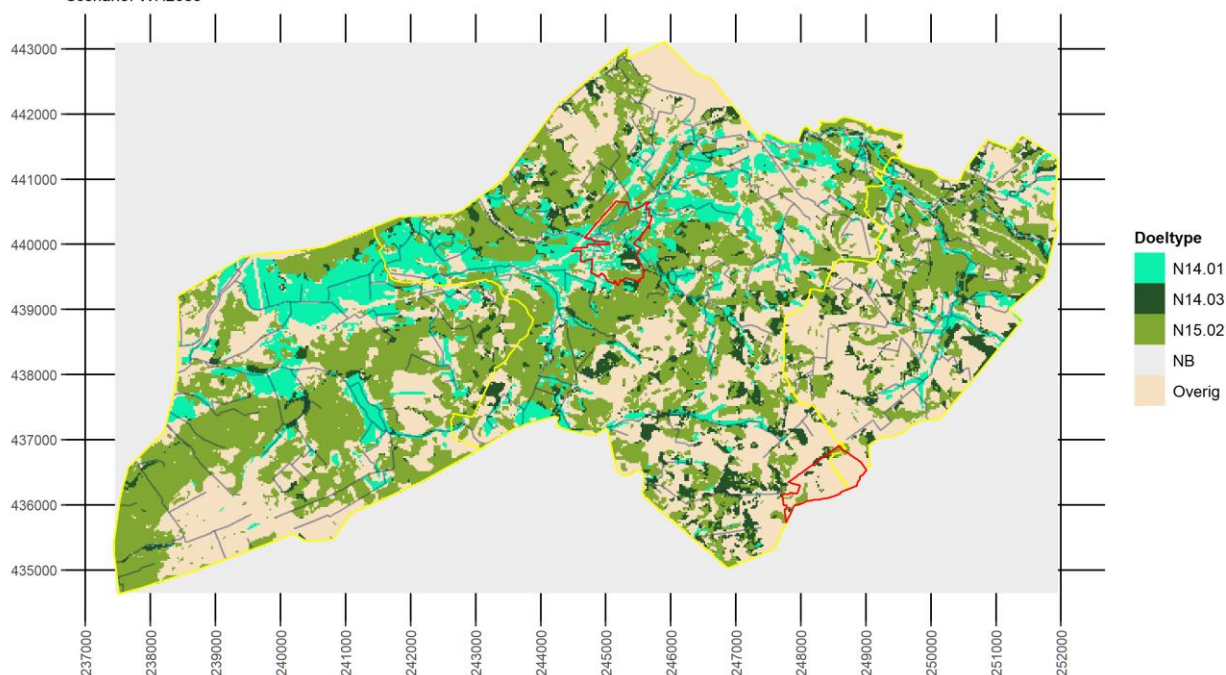


Figuur B8.7 Doeltypen met de hoogste realisatiekansen voor korte vegetaties bij klimaatscenario WH2085. De gele omtrek geeft de deelgebieden aan, de rode omtrek de N2000-gebieden Bekendelle en Wooldse Veen.

Tabel B8.8 Oppervlakte en realisatiekansen voor de beheertypen van bos en struweel bij klimaatscenario WH2085, waarbij de totale oppervlakte is gegeven waar elk beheertype kan voorkomen, aangevuld met de minimale, mediane en maximale realisatiekansen.

Doeltype	Naam Doeltype	Opp. (ha)	Realisatiekansen		
			Minimaal	Mediaan	Maximaal
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1080.3	0.006	0.710	1.000
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0.0	0.000	0.000	0.000
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	810.6	0.001	0.298	0.987
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2907.6	0.000	0.471	1.000

Doeltypen met de hoogste realisatiekans voor Bos en Struweel
 Scenario: WH2085



Tabel B8.9 Verandering in realisatiekansen per beheertype, bij klimaatscenario WH2085, in vergelijking met de actuele hydrologie. Onder oppervlakte geven wij de oppervlakte waar de realisatiekans groter is dan 0 bij de huidige hydrologie en in scenario WH2085. Onder verschil staat dan de toe- of afname in ha aangegeven. In de laatste vijf kolommen geven we de verschillen aan, ook weer in ha, uitgesplitst naar mate van verschil: -- = sterke afname met > 0.5, - afname < 0.5, = geen verschil, + toename < 0.5, sterke toename > 0.5. Het gaat hierbij om een verandering in geschiktheid, terwijl in kolom 5 het verschil in geschikt areaal is aangegeven.

Doeltype	Naam Doeltype	Oppervlakte (ha)			Oppervlaktverschil (ha)				
		WH2085	Huidig	Verschil	--	-	=	+	++
N06.02	Trilveen	0.1	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N06.03	Hoogveen	0.0	1.9	-2.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
N06.04	Vochtige heide	3968.9	4135.2	-166.0	159.1	574.1	3274.4	127.6	0.0
N06.05	Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N06.06	Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
N07.01	Droge heide	943.1	777.3	166.0	1.7	64.8	448.0	258.2	4.6
N07.02	Zandverstuiving	12.1	11.0	1.0	0.2	0.3	8.3	1.6	0.5
N10.01	Nat schraalland	39.2	149.3	-110.0	1.8	144.9	0.1	2.5	0.0
N10.02	Vochtig hooiland	948.4	928.6	20.0	1.3	334.8	308.3	283.6	0.6
N11.01	Droog schraalgrasland	947.3	733.2	214.0	0.0	38.6	287.1	404.1	3.4
N12.03	Glanshaverhooiland	109.1	107.2	2.0	0.0	31.4	51.6	24.2	0.0
N14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	1080.3	1084.5	-4.0	1.6	117.8	916.1	49.0	0.0
N14.02	Hoog- en laagveenbos	0.0	9.2	-9.0	0.7	8.5	0.0	0.0	0.0
N14.03	Haagbeuken- en essenbos	810.6	610.9	200.0	41.9	225.6	67.3	244.2	31.9
N15.02	Dennen-, eiken- en beukenbos	2907.6	2299.4	608.0	0.0	106.3	1370.2	812.6	10.2

Bijlage 9 Waterbalans

Het opstellen van een waterbalans vergroot het inzicht in een hydrologisch systeem. De belangrijkste drijvende kracht van een watersysteem is de neerslag. Uit een waterbalans moet blijken hoe groot deze is en wat er met neerslagwater gebeurt. Ook water dat op een andere manier een gebied binnenkomt (via grondwater of oppervlaktewater), moet worden verdisconteerd. Bij het opstellen van de balans voor het Nederlandse deel van het studiegebied zijn deze posten niet meegenomen: netto stroomt er geen grondwater het gebied in en de instroom van oppervlaktewater wordt apart beschouwd. De belangrijkste uitgaande posten zijn verdamping, onttrekkingen en afvoer (via oppervlaktewater en grondwater). Water kan ook in het systeem worden opgeslagen als berging en geborgen water kan ook uit het systeem verdwijnen. Over een klimaatperiode gemiddeld is de bergingsverandering in een systeem meestal relatief gering.

Eén manier om een waterbalans op te stellen, is door gebruik te maken van hydrologische modellering: de kern van een hydrologisch model is namelijk het opstellen van een waterbalans met als drijvende kracht de neerslag. Afhankelijk van zaken als landgebruik, bodem, drainage en de verdampingsvraag rekent een hydrologisch model uit hoe groot de verschillende balansposten zijn. Door een gebied in te delen in hydrologisch vergelijkbare eenheden, kan met een beperkt aantal berekeningen een gebiedswaterbalans worden opgesteld.

De waterbalans voor de LESA is opgesteld met het model SWAP (<https://www.swap.alterra.nl/>) voor het Nederlandse deel van het studiegebied. Het gebied is geschematiseerd in hydrologische eenheden met als basis de LBK en het landgebruik. Om het aantal berekeningen te beperken, is de LBK vereenvoudigd tot drie zones:

- Plateau doorlatend (53% van de oppervlakte)
- Plateau slecht doorlatend (13%)
- Vlake doorlatend (34%)

Het landgebruik is gecondenseerd tot vijf klassen:

- Bouwland
- Grasland
- Heide
- Bos
- Stedelijk

In totaal zijn er derhalve $3 \cdot 5 = 15$ hydrologische eenheden onderscheiden. Voor deze eenheden zijn SWAP-modellen opgesteld en doorgerekend voor de referentiesituatie (begin 20^e eeuw), de huidige situatie en het WH85-klimaatscenario. In totaal gaat het om $3 \cdot 15 = 45$ berekeningen.

De uiteindelijke gebiedswaterbalans is opgesteld door een naar oppervlakte-aandeel gewogen gemiddelde te nemen van de hydrologische eenheden. De resultaten zijn hieronder samengevat. Het betreft een vereenvoudigde waterbalans gebaseerd op dertig weerjaren (1981-2010). Het gebruikte meteostation is Twente. Dit is het dichtst bij het studiegebied gelegen weerstation waarvan ook klimaatscenario's beschikbaar zijn.

De onderscheiden balansposten en aannamen zijn:

Balanspost	Toelichting
Neerslag	Overgenomen van tijdreeksen (1981-2010 en ...)
Berekening	Het potentieel te beregenen areaal is beperkt. Berekening uit oppervlaktewater is praktisch niet mogelijk en berekening uit grondvlaktewater kan alleen in de pleistocene dalen. Aangenomen is dat er in de referentiesituatie geen berekening was, in de huidige situatie een deel van het bouwland wordt berekend en dit in de toekomstige situatie gelijk blijft.
Onttrekking	In de referentiesituatie zijn er geen onttrekkingen van betekenis. In de huidige en toekomstige situatie wordt er water onttrokken ten behoeve van berekening en drinkwater bij Aalten (1 miljoen m ³ per jaar).
Grondwaterstroming	Op basis van de geohydrologische modellering in het AMIGO-model blijkt dat de grondwaterstroming over de rand van het studiegebied over het algemeen gering is. Alleen in het westelijke deel, waar de opgevlude erosiegeul het gebied aansnijdt is dit van belang. In de huidige en toekomstige situatie is de inschatting dat de netto grondwaterstroming over de rand door de drinkwaterwinning Aalten neutraal is. In de referentiesituatie is er sprake van een netto verliesterm. Deze wordt geschat op 0.5 miljoen m ³ per jaar.
Verdamping	De verdamping wordt door het SWAP-model berekend op basis van de referentieverdamping, gewasfactoren en de droogtegraad van de bodem.
Ontwatering	De ontwatering is een optelsom van oppervlakkige afstroming, drainage via sloten/drainen en ontwatering door de beken. Bij het opstellen van de balans wordt verondersteld dat ontwatering gelijk is aan de afvoer uit het balansgebied. Berging in het oppervlaktewatersysteem wordt niet meegenomen, maar kan belangrijk zijn om de afvoer te vertragen.
Bergingsverandering	Dit is de bergingsverandering in het bodemprofiel; in de zomer neemt de berging toe, in de winter neemt deze af. Gemiddeld over het jaar is de bergingsverandering 0.

Referentiesituatie (begin 20^e eeuw)

Voor de referentiesituatie is de meteorologische tijdreeks van 1981-2010 gebruikt, gecorrigeerd voor landelijk gemiddelde veranderingen tussen begin 20^e eeuw en de klimaatperiode 1981-2010. Het gaat globaal om een vermindering van de referentieverdamping met 10% en een vermindering van de zomerneerslag met 10%. De winterneerslag is ongeveer gelijk gebleven. Het landgebruik is overgenomen van de kaart in het rapport. De kaart met LBK-zones is eveneens in het rapport te vinden (Figuur 2.6). De verdeling over de landgebruikstypes ziet er als volgt uit:

Tabel B9.1 Verdeling landgebruik (in % oppervlakte van het Nederlandse deel van het studiegebied) in de referentiesituatie

Landgebruik	Oppervlakte
Bouwland	22
Grasland	11
Heide	54
Bos	10
Bebouwd	3

De berekende gebiedswaterbalans ziet er als volgt uit:

Tabel B9.2 Waterbalans voor de referentieperiode in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter. Positieve waarden zijn bronnen van water, negatieve waarden zijn verliestermen.

	Jaar	Zomer	Winter
Neerslag	747	348	399
Berekening	0	0	0
Gw stroming	-8	-4	-4
Verdamping	-414	-340	-75
Ontwatering/afvoer	-324	-61	-263
Bergingsverandering	0	57	-57

De gemiddelde jaarneerslag is ca. 750 mm, waarvan 400 in de winter valt en 350 in de zomer. De gemiddelde verdamping over het jaar bedraagt ruim 400 mm. In het zomerhalfjaar is de verdamping, zoals mag worden verwacht, veel groter. De afvoeren in de winter zijn dan ook aanzienlijk hoger. De totale ontwatering bedraagt ruim 300 mm op jaarbasis, waarvan ongeveer 20% in het zomerhalfjaar wordt afgevoerd.

Massop (2019) concludeert op basis van historische bronnen dat omstreeks 1850-1900 (onze referentieperiode) circa 20-25% van de gronden in de Achterhoek en Twente kampten met regelmatige wateroverlast. Hoewel de bufferende werking van het systeem in de referentieperiode al aanzienlijk minder moet zijn geweest dan voor menselijk ingrijpen, zullen grootschalige inundaties hebben geleid tot afvoervertraging in het systeem; een deel van de ontwatering in de winter zal in de zomer tot afvoer zijn gekomen.

Uit het onderzoek van Massop (2019) over de Baakse Beek blijkt dat perioden van afvoerloosheid ook in de 19^e eeuw al voorkwamen. Het is dan ook zeer waarschijnlijk dat in de referentieperiode in droge jaren een deel van de tijd droogval van beken in het studiegebied heeft opgetreden.

Huidige situatie

Voor de huidige situatie is de meteorologische tijdreeks van 1981-2010 gebruikt. Het landgebruik is overgenomen van de kaart in het rapport (Figuur 2.38). De verdeling van landgebruik is flink verschoven ten opzichte van de referentiesituatie, zoals in onderstaande tabel te zien is. Heide is vrijwel volledig verdwenen (van 53% naar 1%) en met name omgezet in weiland (van 11% naar 53%). Bos is substantieel toegenomen, van 10% naar 16% van het oppervlak, evenals verhard oppervlak (van 3% naar 10%). De kaart met LBK-zones is eveneens in het rapport te vinden (Figuur 4.1).

Tabel B9.3 Verdeling landgebruik (% oppervlakte van het Nederlandse deel van het studiegebied) in de huidige situatie en verschil (%) met de referentie.

Landgebruik	Oppervlakte	Toename
Bouwland	20	-2
Grasland	53	42
Heide	1	-53
Bos	16	6
Bebouwd	10	7

De waterbalans ziet er als volgt uit:

Tabel B9.4 Waterbalans voor de huidige situatie in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter en de verschillen ten opzichte van de referentiesituatie (huidig-referentie).

	Huidige situatie			Verskil met referentie		
	Jaar	Zomer	Winter	Jaar	Zomer	Winter
Neerslag	785	386	399	39	39	0
Berekening	14	14	0	14	14	0
Onttrekkingen	-28	-21	-7	-20	-17	-3
Verdamping	-487	-397	-90	-73	-57	-15
Ontwatering/afvoer	-284	-45	-239	40	16	24
Bergingsverandering	0	63	-63	0	6	-6

Ten opzichte van referentiesituatie is een aantal verschuivingen te zien. De verdamping is flink hoger (487 mm/jaar voor de huidige situatie versus 414 mm/jaar voor het referentiescenario) door hogere temperaturen en een intensiever landgebruik: veel heide is omgezet naar grasland en door kunstmestgebruik neemt ook de verdamping toe. De ontwatering in de zomer is afgenomen (van 61 mm/halfjaar naar

45 mm/halfjaar), ondanks een toename van de zomerneerslag. Naast de toegenomen verdamping neemt de afvoer ook af door onttrekkingen. Berekening uit grondwater is overigens beperkt in dit gebied door de beperkte omvang van het watervoerende pakket. In de huidige situatie inundeert de Boven-Slinge jaarlijks één of meerdere keren, ondanks haar diepe insnijding in het landschap. De inundaties blijven beperkt tot een relatief smalle zone in het beekdal en zijn van korte duur.

Droogval van delen van het beekstelsysteem is zeer waarschijnlijk in de droge zomermaanden. Door de intensivering van de ontwatering (meer sloten en drains) van het plateau ten opzichte van de referentiesituatie, waardoor in periode met wateroverschot water versneld tot afvoer komt, zal de droogval in de beken iets eerder optreden en langer aanhouden dan in de referentiesituatie. Dit is ten opzichte van de toegenomen verdamping en de drainerende werking van de erosiegeulen een relatief beperkt effect.

Klimaatscenario WH85

Voor het WH85-scenario is de meteorologische tijdreeks van 1981-2010, gebruikmakend van de regels van het KNMI (KNMI – Klimat dashboard), omgevormd naar een tijdreeks voor een toekomstig klimaat (zichtjaar 2085). Het landgebruik is overgenomen van de kaart in het rapport (Figuur 2.38), wat wil zeggen dat het landgebruik ongewijzigd is ten opzichte van de huidige situatie. De kaart met LBK-zones is eveneens in het rapport te vinden (Figuur 2.6).

Tabel B9.5 waterbalans voor het klimaatscenario WH85 in mm gemiddeld over het jaar en onderverdeeld naar zomer en winter en de verschillen ten opzichte van de huidige situatie (WH85-huidig).

	Klimaat			Verskil met huidig		
	Jaar	Zomer	Winter	Jaar	Zomer	Winter
Neerslag	919	374	545	134	-13	146
Berekening	17	17	0	3	3	0
Onttrekkingen	-31	-24	-7	-3	-3	0
Verdamping	-515	-423	-93	-28	-25	-3
Ontwatering/afvoer	-390	-3	-386	-106	42	-147
Bergingsverandering	0	59	-59	0	-4	4

De neerslag neemt, in vergelijking met de huidige situatie in dit scenario fors toe, van iets minder dan 800 mm/jaar tot ruim 900 mm/jaar. Dit is vooral door meer neerslag in de winterperiode. In de zomer treedt een lichte afname op. De verdamping is ruim 5% hoger dan in de huidige situatie. De berekening neemt licht toe, maar blijft beperkt doordat het potentieel te beregenen areaal niet toeneemt. De gemiddelde ontwatering is in de zomer zeer gering. Verwacht mag worden dat deze in de zomer een deel van de tijd negatief wordt. Dit betekent dat de beken water gaan verliezen aan de ondergrond, met name in de erosiegeul. Dit komt doordat de grondwaterstanden daar in de zomer lager zijn dan het peil de beken en water gemakkelijk kan infiltreren in de zandige ondergrond. Grootschalige droogval van beken is dan zeer waarschijnlijk.

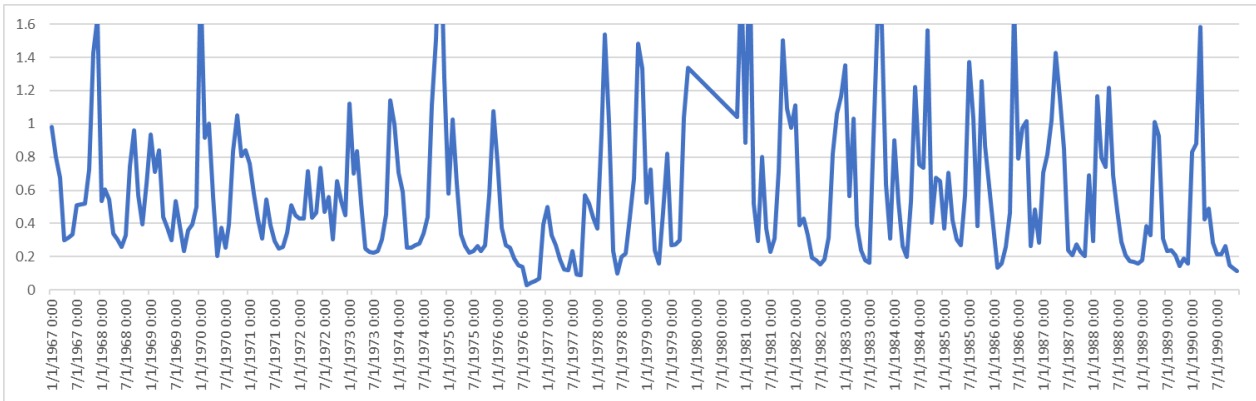
Hoewel de waterbalansberekeningen globaal en gemiddeld en daarmee vooral richtinggevend zijn, is het beeld van de klimaatverandering alarmerend te noemen voor de watervoerendheid van de beken. Om de afvoer in de zomer op peil te houden, zijn maatregelen nodig die zorgen voor:

- minder verdamping; te denken valt aan mindere intensieve landbouw, een beregeningsverbod en omzetting van bos/landbouwgrond naar heide. Gezien vanuit de waterbalans is het verminderen van de verdamping het effectiefst om de afvoeren in de zomerperiode te verhogen.
- een zeer sterke vertraging van de afvoer tijdens de winterperiode. Dit lukt niet alleen met het dichtgooien van sloten of het verwijderen van drains. De afwatering van natuurlijke laagte zal ook moeten worden geblokkeerd om water in het gebied vast te kunnen houden.
- hogere grondwaterstanden in de beekdalen om ervoor te zorgen dat er minder water vanuit de beken naar het watervoerende pakket kan infiltreren. Effectieve maatregelen betreffen een combinatie van minder onttrekkingen, verwijderen van ontwateringsmiddelen en het verondiepen van beken zelf.

Instroom vanuit Duitsland

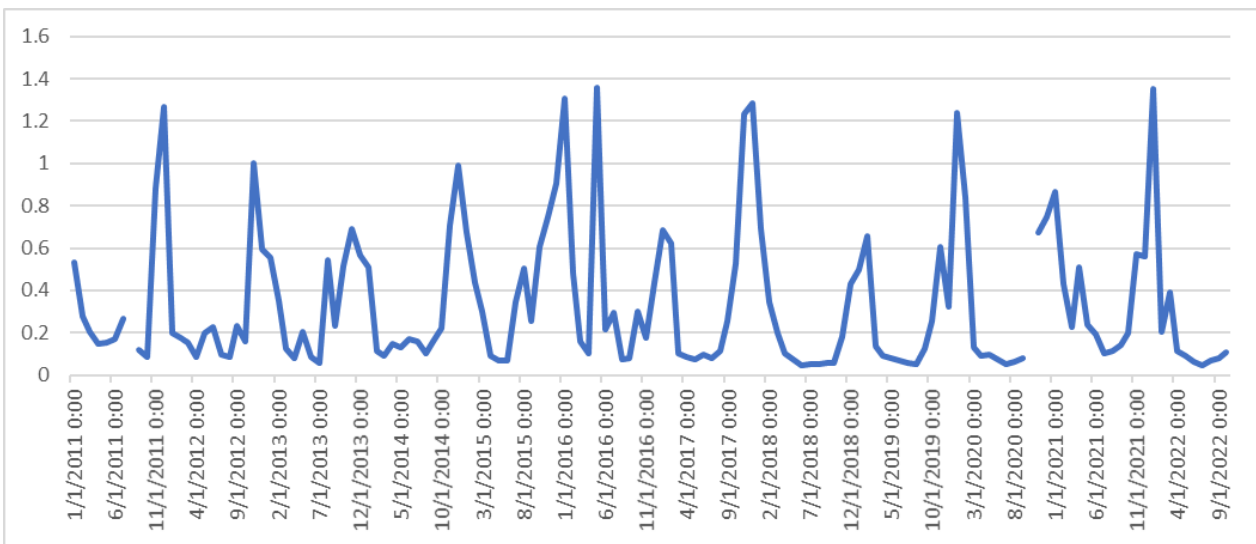
Een deel van het stroomgebied van de Boven-Slinge ligt in Duitsland. Bij de grens met Duitsland wordt sinds 1967 gemeten hoeveel water via de Boven-Slinge Nederland binnenstroomt.

In de periode 1967-1990 zijn de maandgemiddelde afvoeren hieronder weergegeven. Met uitzondering van 1976 en 1977 wordt de maandgemiddelde afvoer in de zomer vaak niet lager dan ongeveer 0,2 m³/s.



Figuur B9.1 afvoermeting Kotten. Gemeten maandgemiddelde afvoeren (m³/s) over de periode 1967-1990. Bron: [Waterdata – Waterschap Rijn en IJssel: Kaart \(wrij.nl\)](#).

Vanaf 2011 laten de afvoeren een duidelijk ander beeld zien (Figuur B9.2). In de zomer zijn er elk jaar maanden met minder dan 0,1 m³/s en in de recente droge jaren valt de afvoer zelfs terug tot 0,05 m³/s. Het verschil met de periode 1967-1990 is groot, deels als gevolg van klimaatverandering en wellicht deels door veranderingen in het Duitse deel van het stroomgebied. Het geeft in ieder geval aan dat er voor hydrologisch systeemherstel ook naar het Duitse deel van het stroomgebied zou kunnen worden gekeken.



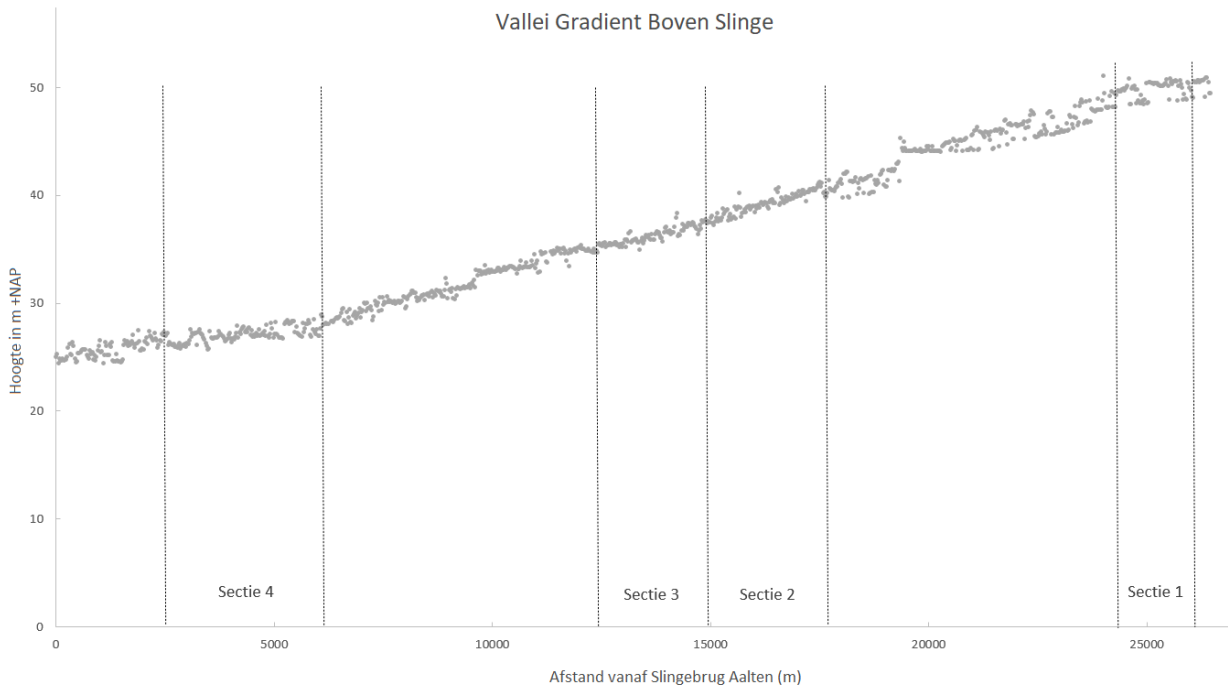
Figuur B9.2 afvoermeting Kotten. Gemeten maandgemiddelde afvoeren (m³/s) over de periode 2011-2022. Bron: [Waterdata – Waterschap Rijn en IJssel: Kaart \(wrij.nl\)](#).

Bijlage 10 Hydromorfologie

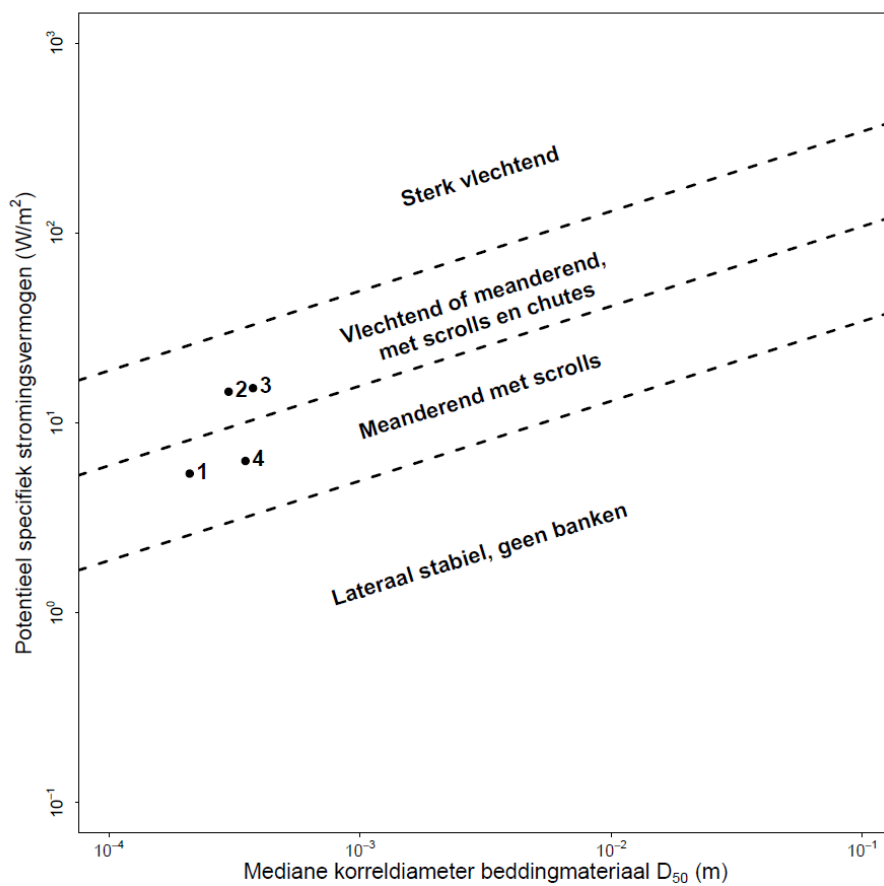
Om de hydromorfologische karakteristieken van de Boven-Slinge in de verschillende secties uit te drukken, wordt het stabiliteitsdiagram van Kleinhans & Van den Berg (2011) toegepast. Deze geulpatroonvoorspeller is ontwikkeld voor rivieren, maar Harkema (2019) liet zien dat deze ook werkt voor een aantal Nederlandse beeksystemen (waaronder de Boven-Slinge). In het diagram wordt het potentieel specifiek stromingsvermogen van een beek uitgezet tegen de mediane korreldiameter van het beddingmateriaal. Het potentieel specifiek stromingsvermogen wordt bepaald door de geulvormende afvoer en de gemiddelde dalhelling te combineren. Geulen die zich onder min of meer natuurlijke condities in evenwicht bevinden, kunnen worden geplot in het diagram om het natuurlijke geulpatroon te kunnen voorspellen. Een uitgebreide uitleg van het diagram, de voorwaarden voor het gebruik en de achterliggende formules kunnen gevonden worden in het artikel van Kleinhans & Van den Berg (2011) of in de herziene versie van het *Handboek Geomorfologisch Beekherstel* (Makaske et al., 2020).

Bij het gebruik van het diagram veronderstellen we dat factoren zoals dalhelling (Figuur B10.1) en de mediane korreldiameter van het beddingmateriaal – die als invoer dienen voor de geulvoorspeller – onveranderd zijn gebleven tussen de natuurlijke achtergrondsituatie en de huidige situatie. Voor de geulvormende afvoer gebruiken we de huidige gemiddelde tweejaarlijkse piekafvoer ($Q_{2,0}$). De verschillende geulvormende afvoeren per deelgebied zijn geschat o.b.v. de afvoerdata van twee locaties, Kotten Vosseveldseweg en overlaat Berenschotbrug. De exacte waarden van deze afvoer voor de natuurlijke achtergrondsituatie zijn onbekend door de verandering van de afvoercharacteristieken van het systeem. Door de aanleg van sloten en door kanalisatie van de loop van de Boven-Slinge is de grootte van de geulvormende afvoer in het algemeen toegenomen (Makaske et al., 2020). De exacte waarden zijn voor deze analyse echter niet van groot belang, wij zoeken alleen naar een indicatie voor de laterale activiteit van de Boven-Slinge. De waarden die geplot worden in de geulvoorspeller voor de verschillende secties zullen dienen als maximale waarden voor het systeem. Voor de overige beken en waterlopen in het projectgebied zijn geen (betrouwbare) en volledige debietgegevens bekend. Daarnaast passen de meeste van deze kleinere beeksystemen om andere redenen eigenlijk niet in het diagram. Ze zijn namelijk te diep ingesneden, niet in een natuurlijk evenwicht of worden in laterale migratie beperkt door aanwezigheid van keileem. Deze systemen kunnen om deze redenen niet verantwoord worden meegenomen in de berekening van het diagram.

De gebruikte waarden voor de berekening van het potentieel specifiek stromingsvermogen per deelgebied zijn terug te vinden in Tabel 2-2. De mediane korreldiameter is gebaseerd op veldschattingen. Uit deze schattingen bleek vooral dat de mediane korreldiameter in het Duitse deel van het stroomgebied aanmerkelijk kleiner was dan het Nederlandse deel. Op basis van de geulvormende afvoeren zijn er per deelgebied ook berekeningen gedaan naar evenwichtsbreedte en -diepte van de stroomgeul. De formules en de literatuur over deze formules zijn terug te vinden in het *Handboek Geomorfologisch Beekherstel* (Makaske et al., 2020).



Figuur B10.1 Overzicht van de valleigradiënt van de Boven-Slinge en de gekozen representatieve intervallen voor het bepalen van de dalhelling binnen de verschillende secties.



Figuur B10.2 Stabiliteitsdiagram gebaseerd op Kleinhans & Van den Berg (2011), de verschillende deelgebieden staan genummerd in het diagram.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3345
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3345
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

