



# Hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor natuurontwikkeling en -behoud in uiterwaarden

Methodiek ontwikkeling en toepassing op Gelderse Poort

Versie 28 juni 2021 – status: definitief







# Hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor natuurontwikkeling en -behoud in uiterwaarden

Methodiek ontwikkeling en toepassing  
op Gelderse Poort

Voor

Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving

Wageningen University and Research

**Rijkswaterstaat**

**Griffioenlaan 2 | 3526 LA Utrecht**

**Postbus 24057 | 3502 MB Utrecht**

**Datum**

**28 juni 2021**

**Auteur**

**Kris van den Berg**

**Supervisors Rijkswaterstaat**

**Marieke de Lange & Saskia van Vuren**

**Supervisor WUR**

**Victor Bense**





## Summary

To guarantee water safety and facilitate shipping, large interventions have taken place in and around the Dutch large rivers in the previous decades. As a result, the riverine system got out of balance: the river bed erodes and sedimentation appears on the floodplains during high water periods. Especially the ongoing erosion causes water levels to lower at lower discharges, which has a significant influence on the river system. In terms of ecology this means that dryer floodplains and the shortage of spatial variation, high inundation frequencies and periods, and a dynamic environment has led to, and without future interventions will lead to, a deterioration of the ecological functioning of nature in floodplains. In 2018 the Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW, English: Programmatic Approach Large Water Bodies) was started. The program looks into what is needed to develop a ecologically robust and resilient system in the riverine area in 2050. The changing climate, economic development and shared use of the limited space are trivial factors in the PAGW. Multiple models have been developed to estimate the effects of interventions on the ecological functioning of an area (e.g. Waterwijzer Natuur, Watersnood, LARCH). However, most of these models are limited to the inland areas or require a large amount of input data which is often not available for floodplains. Additionally, the conditions as desired by ecology are only limited translated to quantitative boundary conditions in relation to hydrology, morphology and hydraulics. The quantitative rules of thumb that are available are often not used in decision making due to lack of overview and the coupling of hydrological and ecological models is often considered hard.

This research is, therefore, focused on providing insight in the hydrological and hydraulic conditions of nature in floodplains, with the goal of quantitatively evaluating ecological conditions in current and future situations. A first framework for assessing these conditions is developed during this research, and is used to analyse the ecological hotspot Gelderse Poort. The Gelderse Poort is a key area for ecology in the riverine region, so that multiple nature development projects have been implemented and are still in development. This area is prone to erosion of the river bed and changing discharges due to climate change result in pressure on the system.

Several data sets are used for the analysis of the Gelderse Poort. First, a dataset regarding the distribution of ecotopes along the large rivers in the Netherlands forms the basis of the study. This Ecotopenkaart (English: ecotope map) shows the location and some characteristics of ecotopes in the riverine regions. The map is adapted by Wageningen Environmental Research (WEnR) such that the most relevant and characteristic ecotopes are included. Secondly, WEnR also developed a vision showing the most optimal distribution of ecotopes for the year 2050. Lastly, climate scenario's and socio-economic scenario's have been combined into a larger framework of scenario's, the Deltascenario's, which consists out of a reference scenario and several scenario's for the years 2050 and 2085. With these scenario's, river water levels and groundwater levels have been calculated in context of the Basisprognoses Zoetwater (English: Basic forecast Fresh water). The output of these calculation is used in this analysis, and consists out of the Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG, English: Average Spring Groundwater Level), Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG, English: Average Lowest Groundwater Level) and Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG, English: Average Highest Groundwater Level). It should be noted here that these characteristic numbers are averaged over one year, in contrast to the most general definition of the GxGs in which at least eight years need to be averaged. The quantitative rules of thumb are developed using a variety of sources, including expert sessions and literature research. This development was the first step of this study.





The Ecotopenkaart as adapted by WEnR is prepared for analysis by redefining a grid of 25 x 25 m and adding the boundary conditions found in the initial phase of the study. This resulted in a map showing the locations of the most relevant ecotopes on a small grid and with relevant information, such as the boundary conditions. To comply with the general definition, the GxGs are averaged over 16 years (1985-2000).

An analysis has been conducted based on the preprocessed ecotopenkaart and the averaged GxGs in which it was tested whether the mean groundwater levels are sufficient for the ecotopes. This resulted in five categories: 1 bad condition (too dry), 2 sub-optimal condition (dry), 3 good condition, 4 sub-optimal condition (wet), 5 bad condition (too wet). The other groups are 'water' (0) and 'anthropogenic influences, no vegetation or no data' (999). For each scenario, a map was developed regarding the condition of ecotopes based on these categories. It should be noted that inundation frequencies and -duration are disregarded due to the complexity of calculations. Height differences and anthropogenic influences, such as sluices, result in being no one to one relationship for river water levels and inundation depths of floodplains. The abovementioned procedure has been automated by two models (Appendix 5) such that this analysis can be easily repeated for different input files or hotspots. The first model includes the steps regarding preprocessing of the datasets, whereas the second model conducts the actual analysis for each scenario.

This report mainly shows the results of the analysis with the GVG, as this parameter includes groundwater levels of the period in which vegetation germinates and starts to develop. When conditions are not sufficient in this period, new vegetation will barely develop. Mainly grasslands, riparian forests and reeds/marshes occur in the Gelderse Poort. The analysis shows that the ecotopes demanding wetter conditions, such as wet grasslands and reeds/marshes, improve when climate changes slowly (scenario Druk), whereas conditions remain similar to the reference scenario in case of rapid climate change (scenario Stoom). The relatively small changes are the result of spring water levels rising and summer water levels falling due to climate change. Therefore, low water levels in the summer months can add limitations to these numbers. Large morphological changes add complexity to the first scenario, such that these ecotopes become even dryer. Especially reeds and marshes are close to disappearance from the area. This trend is not evident for the softwood forests as the conditions of this ecotope remain relatively similar in all scenarios. This might be explained by the broad conditions in which the vegetation of this ecotope can exist. The conditions of dryer ecotopes are improving in several future scenarios, mainly due to a shift from sub-optimal to optimal conditions for a large acreage. Here, it should be noted that these outcomes are based on the current location of the ecotopes. The disappearance of an ecotope from a certain location can cause another ecotope to develop here. This is not necessarily a bad development. However, ecotopes demanding wet conditions are trivial and characteristic to the (Dutch) riverine region and large acreages of these types are likely to disappear. Due to this complexity, ecologists always need to be involved in the interpretation of outcomes of this method.

The abovementioned outcomes are complemented by a test on whether the ecological vision for 2050 of WEnR is likely to be achieved, without human intervention, based on the groundwater levels in the area. The analysis shows again that the wetter ecotopes will experience a groundwater level that is too low for them to thrive. This amplifies the finding that the chance of development of wet ecotope types is small in the current state of the region. Conditions with stable, shallow groundwater levels with upward seepage and temporary inundation are too limited. This trend is reinforced when large morphological changes are added to the scenario. Especially wet grassland dry even further and only a small acreage will have groundwater levels that are matching their boundary conditions. In contrast,



the groundwater levels will be sufficient for ecotopes demanding dryer conditions, such as hardwood forests and dry grasslands.

For the most negative climate scenario in 2050 (Stoom), largest negative effects are found in the Rijnstrangen, Meinerswijk and the floodplains around Nijmegen, such as Buiten Ooij and the Stadswaard. In these areas multiple nature development projects have been taken place for the purpose of improving nature in floodplains. Especially in the Rijnstrangen large investments have supported the development of wet nature by elevating the minimum water level and realising new shallow water bodies. This analysis shows that it is necessary to examine whether additional interventions should be done in order to preserve this nature.

The outcomes of this study show that climate change and bed erosion have a potentially negative impact on the goals of the Programmatische Aanpak Grote Wateren when no human interventions are planned (PAGW, English: Programmatic Approach Large Water Bodies), especially regarding the dynamics and variation of the area. In the context of terrestrial nature conservation and development it is recommended to avoid the bed to erode further or to raise the overall bed level in terms of the Basis Rivierbodem Ligging (BRL, English: Base River Bed Level). Additional research is necessary to study the effects of lower rates of erosion and to assess what is acceptable for nature in floodplains. As both programs serve as tools and are implemented in Integraal Rivier Management (IRM, English: Integral River Management), these findings also impact this program. Generally, additional measures need to be taken to maintain and develop current nature in this area. The sense of urgency needs to be enhanced in order to tackle the problems quickly, effectively and sustainably.

This study is mostly based on boundary conditions defined in the first phase of the study. As these are first step towards more general rules of thumb, additional research should confirm and improve these boundary conditions, if possible with a scientific basis, such as by executing a historical analysis of ecotopes and environmental conditions. Additionally, current method used groundwater levels calculated by the Landelijk Hydrologisch Model (LHM, English: National Hydrological Model) on a grid of 250 x 250 m. Although this method is an improvement pertaining to previous studies in which a one to one relation between groundwater level in floodplains and river water level is assumed, a smaller grid (such as in regional models) is expedient to increase accuracy. This way, a maximum or minimum river bed level can be defined and actively maintained.

The use of scenarios always brings a certain level of uncertainty. The scenario's which are underlying to the Deltascenario's are being renewed in 2023. New developments since the 2014 scenario's, such as the Paris Climate Agreement and new scientific insights, will be included. The largest changes will be the bandwidths of global warming and changes in airflow patterns due to the extent to which the goals of the Climate Agreement are met. It is recommended to carry out a similar study with these new scenarios. Also, adding the inundation parameter and boundary conditions of aquatic nature in floodplains would increase the accuracy of the method. The Natuureffectmodule Aquatisch (Van Geest, 2019) could serve as a starting point.



## Samenvatting

Het Nederlandse riviersysteem heeft zich in de afgelopen decennia aangepast aan antropogene ingrepen uit het verleden: het zomerbed schuurt uit en uiterwaarden slibben op door sedimentatie tijdens hoogwater. Daarnaast zijn rivierafvoeren onderhevig aan steeds grotere variaties tussen zomer- en winterperioden als gevolg van klimaatverandering. Deze ontwikkelingen resulteren naar verwachting in frequentere en langdurige perioden van lage afvoeren met als gevolg dat dynamiek verloren gaat, uiterwaarden minder vaak meestromen en grondwaterstanden zakken. De verdroging van uiterwaarden en het tekort aan ruimtelijke variatie, hoge inundatiefrequenties en -perioden en een dynamische omgeving heeft geleid, en zal zonder ingrepen in de toekomst verder leiden, tot een verslechtering van het ecologisch functioneren van natuur in de uiterwaarden.

Doelstelling van dit rapport is het bepalen van de vochtigheidscondities van ecotooptypen in het rivierengebied, specifiek de Gelderse Poort, bij verschillende klimaatscenario's. Hiervoor zijn de hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor verschillende ecotooptypen en soortengroepen, zowel aquatisch als terrestrisch, gedefinieerd. Vervolgens is er een aanpak ontwikkeld om te beoordelen van het effect is van klimaatverandering en systeemontwikkelingen op de terrestrische ecotooptypen in zowel de huidige als de gewenste ecotopenverdeling in 2050. Deze methode is getest en toegepast op de uiterwaarden van de Gelderse Poort, maar is eenvoudig uit te breiden naar andere delen van de riviersystemen Rijn en Maas waar een ecotopenkaart van beschikbaar is. De methode beperkt zich tot de effecten van grondwaterstanden op ecotopen in uiterwaarden; overstromingsfrequenties en -duur zijn buiten beschouwing gelaten en kunnen in de toekomst worden toegevoegd.

De bestendigheid tegen klimaatverandering is verkend aan de hand van berekening van de effecten van grondwaterstanden op ecotooptypen in de uiterwaarden. Grondwaterstanden zijn doorgerekend met het Nationaal Water Model (NWM) voor verschillende Deltascenario's. Er zijn twee belangrijke oorzaken van lage rivierpeilen; veranderingen in de rivierafvoer ten gevolge van klimaatverandering en bodemerosie. Bodemerosie is beperkt meegenomen in de analyse en voor enkel één scenario (Stoom 2050) doorgerekend. De grondwaterstanden afkomstig uit het NWM zijn omgerekend naar de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG), Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG). Deze karakteristieken worden door vegetatiekundigen gezien als de belangrijkste karakteristieken die de conditie van terrestrische ecotooptypen beïnvloeden. Omdat de data over gewenste randvoorwaarden van ecotooptypen in relatie tot de GHG en GLG beperkt zijn, is er in dit rapport voornamelijk gebruik gemaakt van de GVG.

Uit de analyse is voortgekomen dat er grote verschillen zijn in de gevoeligheid voor vochtigheidstoestanden tussen terrestrische ecotooptypen. De meest relevante ecotooptypen kunnen grofweg worden ingedeeld in natte (nat grasland en riet/moerasruigte) en droge natuur (hardhoutooibos/struweel en droog grasland) met alleen zachthoutooibos/struweel in een gematigde positie. Van met name de natte ecotooptypen kan een aanzienlijk areaal sterk verdrogen met uiteindelijk het verdwijnen uit de Gelderse Poort als gevolg. Enkel de scenario's met langzame klimaatverandering (Druk 2050 & 2085) laten een kleine verbetering zien ten opzichte van het referentiescenario. Het scenario waarin grootschalige morfologische veranderingen worden doorgerekend laat de grootste achteruitgang zien bij deze natte natuur, met name bij de natte graslanden. Dit onderschrijft dat morfologische veranderingen een grote invloed hebben op vochtigheidstoestanden in uiterwaarden en mogelijk nog belangrijker zijn voor verdroging dan klimaatverandering, zoals eerder in de studie van Van Geest et al. (2020) ook naar





voren kwam. Dit zal nader onderzoek met betrekking op bodemdaling moeten uitwijzen.

Daarbij weergeeft de analyse van het wensbeeld in 2050 dat voornamelijk deze nattere ecotooptypen weinig kans hebben om te ontwikkelen op basis van de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand in 2050. Dit effect kan versterkt worden door droger wordende zomermaanden. Bovenstaande trend is minder zichtbaar voor de drogere ecotooptypen. De vochttoestand van hardhoutooibossen en -struwelen en droge graslanden verbeteren ten aanzien van het referentiescenario.

In de context van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) betekent dit dat klimaatverandering en doorgaande bodemerosie een grote invloed hebben op de natuuropgaven van het rivierengebied, met name voor de dynamiek en variatie van het gebied. Om dit tegen te gaan is het voor uiterwaardnatuur van belang de huidige bodemligging zo veel mogelijk aan te houden of te verhogen in de Basis Rivierbodempligging (BRL). Aanvullend onderzoek zal moeten uitwijzen welke mate van bodemverlaging of -verhoging acceptabel is voor natuur in uiterwaarden. Aangezien de natuuropgaven van de PAGW worden meegenomen in het Integraal Rivier Management (IRM) en de BRL hier als tool voor kan worden gebruikt, heeft de invloed van de verdrogende natuur ook invloed op het IRM. Over het algemeen zullen aanvullende maatregelen moeten worden genomen om de huidige natuur te kunnen behouden en toekomstige natuur te kunnen ontwikkelen in het rivierengebied. Om dit te bereiken is het van belang het gevoel van urgentie te vergroten om de uitdagingen snel, effectief en duurzaam op te lossen.

De methode gebruikt in deze studie kan eenvoudig worden uitgebreid naar andere gebieden, op voorwaarde dat er een ecotopenkaart en verwachte grondwaterstanden aanwezig zijn. Het gebruiken van regionale modellen om grondwaterstanden te berekenen zorgt voor een grotere nauwkeurigheid in verband met de kleinere rastercel grootte ten opzichte van het landelijke model. Daarnaast kan de methode uitgebreid worden met randvoorwaarden voor aquatische ecotooptypen, waarvoor de natuureffectmodule van Van Geest et al. (2019) als uitgangspunt kan dienen.





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding 14</b>
1.1	Aanleiding 14
1.2	Doelstelling 15
1.3	Onderzoeksvragen 15
1.4	Leeswijzer 16
<b>2</b>	<b>Studiegebied 17</b>
2.1	Het Nederlandse riviersysteem 17
2.1.1	Verstoorde dynamiek 17
2.1.2	Knelpunten voor fauna 17
2.2	Ecologische hotspots 18
2.3	De Gelderse Poort 20
2.3.1	Afbakening gebied 20
2.3.2	Watertype 20
2.3.3	Natuurontwikkelingsprojecten in de Gelderse Poort 20
2.3.4	Wensbeeld 2050 21
<b>3</b>	<b>Data 24</b>
3.1	Beschikbaar kaartmateriaal 24
3.2	Scenario's en basisprognoses 24
3.3	Nationaal Water Model (NWM) 26
<b>4</b>	<b>Methode 29</b>
4.1	Aanpak op hoofdlijnen 29
4.2	Relevante ecotootypen en soortengroepen 30
4.2.1	Aquatisch 31
4.2.2	Terrestrisch 31
4.3	Vaststellen hydrologische randvoorwaarden 31
4.3.1	Aquatisch 31
4.3.2	Terrestrisch 32
4.4	Hydrologische randvoorwaarden van terrestrische ecotootypen 33
4.5	GIS-analyse 35
4.5.1	Vorbereiden GIS-laag 35
4.5.2	Analyse 37
4.5.3	Modellen 37
<b>5</b>	<b>Resultaten 39</b>
5.1	Effect klimaat- en systeemveranderingen op grondwaterstanden 39
5.2	Kansrijkheid ecotootypen op huidige standplaats 41
5.3	Haalbaarheid wensbeeld 2050 44
5.4	Toekomstige locaties ecotootypen 45
5.5	Verschillen GVG, GHG en GLG 46
<b>6</b>	<b>Discussie 49</b>
6.1	Interpretatie van de resultaten 49
6.2	Implicaties voor nationaal waterbeheer 50
6.3	Beperkingen en consequenties van aannames 51
6.3.1	Randvoorwaarden 52
6.3.2	Bepaling grondwaterstanden 52
6.3.3	Deltascenario's 53
6.3.4	Uitbreiding van de methode 53
6.4	Sensitiviteit voor gekozen randvoorwaarden 54
<b>7</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen 57</b>
7.1	Relevante abiotische condities 57



- 7.2 Aanwezigheid randvoorwaarden en de invloed van grootschalige processen [57](#)
- 7.3 Opschaalbaarheid methode [58](#)
- 7.4 Aanbevelingen voor vervolg [58](#)

**Bijlage 1. Ecologische verklarende woordenlijst [63](#)**

**Bijlage 2. Hydrologische verklarende woordenlijst [65](#)**

**Bijlage 4. Beschrijving van de ecotootypen [69](#)**

**Bijlage 5. Randvoorwaarden van aquatische ecotootypen en soortengroepen [74](#)**

**Bijlage 6. GIS Modellen [77](#)**







# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Om de waterveiligheid te garanderen en scheepvaart te faciliteren hebben in de afgelopen eeuwen grote waterstaatkundige ingrepen plaatsgevonden in en rondom de Nederlandse rivieren (Verhaal van de Rivier, 2020). Als gevolg hiervan is het riviersysteem uit evenwicht geraakt: het zomerbed schuurt uit en uiterwaarden slibben op door sedimentatie tijdens hoogwater. Met name de erosie van het zomerbed zorgt op de ongestuwde riviertrajecten voor lagere waterstanden bij lagere afvoeren. Hierdoor ondervindt de scheepvaart hinder van lage waterstanden, wordt de inlaat van zoetwater naar het regionale watersysteem moeilijker en verdrogen uiterwaarden met als gevolg verlies aan diversiteit van riviernatuur (Rijksoverheid, 2020). Deze bodemerosie in combinatie met klimaatverandering, welke gepaard gaat met lagere zomerwaterpeilen en hogere waterpeilen in het voor- en najaar, kunnen significante gevolgen hebben voor het omliggende watersysteem. Het uitzakken van de rivierwaterstanden heeft effect op grondwaterstanden en grondwaterfluxen, zoals kwel en wegzijging, in zowel de binnendijkse als buitendijkse omgeving. Hierdoor kan er sprake zijn van een drainerende of infiltrerende werking van de rivier. Afhankelijk van deze omstandigheden en het specifieke landgebruik kan dit leiden tot verdroging of vernatting, waarbij er risico's kunnen ontstaan voor de stabiliteit van de binnendijkse bebouwing en een verandering in waterbeschikbaarheid voor land-, tuin- en fruitbouw, drinkwater en natuur. Daarnaast leidt het combineren van functies met conflicterende eisen steeds vaker tot problemen. Het is een uitdaging de strengere eisen met betrekking tot scheepvaart en hoogwaterveiligheid te combineren met de wensen vanuit de natuur, die juist gebaat is bij ruimtelijke variatie met een vaker overstromend winterbed en een dynamische oeverzone met nevengeulen (Verhaal van de Rivier, 2020). De verdroging van uiterwaarden en het tekort aan ruimtelijke variatie, hoge inundatiefrequenties en -perioden en een dynamische omgeving heeft geleid, en zal zonder ingrepen in de toekomst verder leiden, tot een verslechtering van het ecologisch functioneren van natuur in de uiterwaarden.

In 2018 is de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) gestart. Hier wordt in beeld gebracht wat er nodig is om in 2050 tot een ecologisch robuust en veerkrachtig systeem in het rivierengebied te komen, waarbij veranderende (klimaat)omstandigheden opgevangen kunnen worden en economische ontwikkeling en medegebruik mogelijk zijn. De natuuropgaven zijn met name gefocust op het vergroten van de schaal (areaaluitbreiding) en dynamiek, het herstellen van de ruimtelijke samenhang tussen gebieden en het verbeteren van de habitatkwaliteit en -diversiteit. Het Europese programma Kaderrichtlijn Water (KRW) en de vaststelling van Natura 2000-gebieden vormen een vertrekpunt. De PAGW stelt vast wat er tot 2050 aanvullend op de KRW nodig is om tot robuuste riviernatuur te komen. De natuuropgaven van PAGW worden meegenomen en aangepakt in het programma Integraal Riviermanagement (IRM) (Rijksoverheid, 2020).

Meerdere modellen zijn ontwikkeld om de effecten van ingrepen op het ecologisch functioneren van een gebied te beoordelen (bijv. Waterwijzer Natuur<sup>1</sup>, Watersnood<sup>2</sup>, LARCH<sup>3</sup>). Deze modellen beperken zich echter tot de binnendijkse gebieden of vereisen een grote hoeveelheid input data die vaak niet beschikbaar is voor uiterwaarden. Het dynamische karakter van buitendijkse gebieden in combinatie

<sup>1</sup> <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/>

<sup>2</sup> <https://www.synbiosys.alterra.nl/watersnood/>

<sup>3</sup> Pouwels, Rogier. (2000). LARCH: een toolbox voor ruimtelijke analyses van een landschap. Wageningen, Alterra, 2000. Alterra-rapport 043.



met een lage datadichtheid bemoeilijkt het beoordelen van natuur op kwantitatieve basis. Daarnaast zijn de door de ecologie gewenste systeemvereisten in de uiterwaarden beperkt vertaald naar kwantitatieve randvoorwaarden met betrekking tot hydrologie, morfologie en hydraulica (Van Geest, 2020). De kennisregels die wel beschikbaar zijn worden door hydrologen en rivier managers weinig meegenomen in de besluitvorming, mede door een gebrek aan overzicht. De beoordeling wordt verder bemoeilijkt doordat het koppelen van ecologische modellen aan hydrologische modellen vaak lastig wordt bevonden (Van de Haterd et al., 2020).

Dit onderzoek is gericht op het inzichtelijk maken en beoordelen van de hydrologische en hydraulische condities van natuur in de uiterwaarden, met als doel dat deze kwantitatief meegenomen kunnen worden in de besluitvorming rondom riviermanagement.

## 1.2 Doelstelling

Doelstelling van dit rapport is het bepalen van hydrologische en hydraulische condities die nodig zijn voor diverse ecotopen in de uiterwaarden. Er wordt hierbij een vertaalslag gemaakt van ecologische vereisten naar hydrologische en hydraulische randvoorwaarden die gebruikt kunnen worden als richtlijn voor rivierinrichting. Bijkomend doel is de ontwikkeling van een methodiek waarmee de effecten van klimaatverandering en zomerbedverlaging op terrestrische ecotooptypen kan worden bepaald.

De methode is uitgevoerd voor en getest op de ecologische hotspot Gelderse Poort. Dit gebied is in de PAGW aangewezen als hotspot voor het ecologisch functioneren van het Nederlandse rivierengebied (Van Heusden et al., 2021). Hierdoor zijn er verschillende natuurontwikkelingsprojecten reeds uitgevoerd en zijn er nog meer projecten gepland. Daarnaast is er in het gebied sprake van vergaande erosieproblematiek van het zomerbed en zorgen veranderende afvoeren door klimaatverandering hier voor een grotere druk (Van Geest et al., 2020). Vanwege zowel het ontwikkelingsvraagstuk als het behoudsvraagstuk, en deze veranderende natuurlijke processen leent de Gelderse Poort zich goed voor een gebiedsstudie in het kader van dit onderzoek.

In deze rapportage worden de randvoorwaarden voor zowel aquatische als terrestrische ecotooptypen en soortengroepen uiteengezet voor een volledig overzicht. De toetsing of er kan worden voldaan aan deze randvoorwaarden wordt echter alleen uitgevoerd voor de terrestrische ecotooptypen, omdat voor de aquatische natuur al een dergelijke natuureffectmodule is ontwikkeld (Van Geest et al., 2019).

## 1.3 Onderzoeksvragen

Het bovengenoemde onderzoeksdoel is vertaald naar de volgende onderzoeksvragen:

### *Hoofdvraag*

Welke effecten hebben klimaatverandering en de doorgaande bodemerosie, via de grondwaterstanden, op de kansrijkdom van terrestrische ecotooptypen in de Gelderse Poort?

### *Deelvragen*

- Welke abiotische condities – specifiek hydrologische en hydraulische omstandigheden – zijn bepalend voor het duurzaam ecologisch functioneren van natuur in buitendijkse gebieden?



- Met welke aanpak kunnen de effecten van toekomstige ontwikkelingen (klimaatverandering en zomerbederosie) op terrestrische natuur het beste worden beoordeeld?
- Welke invloed hebben toekomstige processen (klimaatverandering, bodemerrosie) op de kansrijkdom van terrestrische ecotooptypen gebaseerd op hun randvoorwaarden?
- In hoeverre kan deze methode opgeschaald en gebruikt worden elders in het rivierengebied?

## **1.4 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt een beeld geschetst van de huidige karakteristieken en processen dominerend in het studiegebied. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de beschikbare data, waarna de gebruikte methodes worden uitgelegd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de resultaten uiteengezet, waarna deze in hoofdstuk 6 worden bediscussieerd. Tot slot geeft hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen voor vervolg weer. In Bijlage 1 en 2 worden de meest gebruikte ecologische en hydrologische vaktermen, respectievelijk, gedefinieerd. Ieder hoofdstuk begint met een korte samenvatting van het desbetreffende hoofdstuk. Dit geldt niet voor de conclusie.



## 2 Studiegebied

### Samenvatting

Natuur in het Nederlandse rivierengebied staat onder druk door, onder andere, het verdwijnen van natte ecotopen, gelijktijdig gebruik van meerdere rivierfuncties en veranderende omstandigheden door klimaatverandering en daling van het zomerbed. De PAGW heeft ecologische hotspots aangewezen waar de kansen op versterking van het rivierecosysteem het grootste zijn. Deze rapportage richt zich op één van deze hotspots, de Gelderse Poort, vanwege de doorgaande erosieproblematiek, de rol van het gebied in de afvoerverdeling over de rijntakken en de grootschalige natuurontwikkelingsprojecten die hier reeds zijn uitgevoerd. In opdracht van de PAGW heeft Wageningen Environmental Research een wensbeeld opgesteld voor de ecotopenverdeling in 2050. Deze kenmerkt zich voornamelijk door een vergroting van het areaal aan natte ecotooptypen, een toename in oobossen/struwelen en een toename in geulen en strangen, waarbij plassen zijn verondiept en extra gradiënten aangebracht.

### 2.1 Het Nederlandse riviersysteem

#### 2.1.1 *Verstoorde dynamiek*

Op dit moment voldoet het Nederlandse rivierecosysteem nog niet aan deze definitie van een goed ecologisch functionerend systeem dat zich kan aanpassen aan veranderende omstandigheden én dat sterk genoeg is voor economisch medegebruik. Door de verstoorde rivierdynamiek zijn enkele voor de rivier kenmerkende ecotopen afwezig of kwalitatief ondermaats. Vooral de nattere ecotopen, zoals natte graslanden, oobossen, ondiep stromend water en laag dynamische wateren zijn slechtst fragmentarisch aanwezig. Daarnaast vinden processen die zorgen voor cyclische verjonging nauwelijks voor, met als gevolg dat belangrijke stadia van vegetaties en overgangsgebieden (bijv. zomen en ruigten) verdwijnen. Er zijn homogene rivierbeddingen gecreëerd met harde overgangen tussen vegetatiestructuren waar gradiënten vaak ontbreken (De Lange et al., 2013).

Het gelijktijdige gebruik van meerdere rivierfuncties, zoals grindwinning en scheepvaart, is van invloed op de ecologische kwaliteit van het onderwater habitat. Zij beïnvloeden sedimentatie- en erosieprocessen, verstoren habitat door geluid, trillingen en licht, en zorgt voor een homogenisering van de omgeving (uniforme temperatuur, substraat en diepte). Dit heeft als gevolg dat waterplanten, macrofauna en vissoorten zuiging en waterpeilverschillen ervaren die zij niet kunnen opvangen. Voor soorten die gedurende de levensloop grotere afstanden afleggen, ondervinden vaak hinder van obstakels, zoals grote autowegen en stuwen.

De huidige klimaatverandering zet de ecologische kwaliteit verder onder druk door verschuivende rivierafoeren. Daarnaast zorgt de verstoorde rivierdynamiek voor een insnijding van het zomerbed, waardoor uiterwaarden opslibben en verder verdrogen (Van Geest, 2020).

#### 2.1.2 *Knelpunten voor fauna*

De belangrijkste knelpunten voor flora en fauna kunnen in drie categorieën worden verdeeld: (1) onvoldoende oppervlakte van het habitat, (2) onvoldoende kwaliteit



van het habitat en (3) het ontbreken van specifieke habitatcombinaties (De Lange et al., 2013).

Drie habitattypen die belangrijk zijn voor het ecologisch functioneren ontbreken het meest in de huidige Nederlandse uiterwaarden. Het gaat om laagdynamische (definitie, zie Tabel 1), natte zones (begroeide plassen, moerassen en rietvelden), plekken met schrale begroeiing en open zandige plekken en moerasbossen. Daarnaast zijn er enkele generieke kwaliteitsproblemen, waaronder verruiging (vermesting) van schraallanden en moerasvegetatie en kwalitatief slecht rivierwater. Als laatste hebben veel diersoorten meerdere habitats nodig om te kunnen overleven. Het gaat hierbij over het algemeen over hoogwatervrije vluchtplaatsen naast het nattere zomerhabitat en verbindingen met binnendijkse gebieden (De Lange et al., 2013).

Tabel 1. Klassenindeling dynamiek, zoals aangehouden in de Natura 2000 richtlijn.

Table 1. Classification dynamics as defined in the Natura 2000 guideline.

	Laag dynamisch deel			Hoog dynamisch deel		
	Gemiddelde dagelijkse omstandigheden	Incidenteel hoog-dynamisch	Zeër hoog-dynamisch	Gemiddelde dagelijkse omstandigheden	Incidenteel hoog-dynamisch	Zeër hoog-dynamisch
Bodemschuifspanning (N/m <sup>2</sup> )	<1,5	1,5-30	<30	1,5-6	6-30	>30

Overgenomen uit Heinis (2010) & Programmadirectie Natura 2000 (2014).

## 2.2 Ecologische hotspots

Wageningen Environmental Research (WEnR) heeft in opdracht van PAGW Rivieren een analyse uitgevoerd van de potentie van het rivierengebied voor het ontwikkelen van duurzame populaties van kenmerkende rivierfauna (Van der Sluis et al., 2020). Zij definiëren een viertal hotspots (Fig. 1) waar de kansen op versterking van het rivierecosysteem nog groter zijn dan in andere delen van rivierengebied. Dit is gebaseerd op de specifieke kenmerken en ligging van de hotspots in het rivierengebied en de omgeving daarvan, als met de inmiddels al gerealiseerde natuur. In deze hotspots zou de ambitie gericht moeten zijn op grote, aaneengesloten natuurgebieden met grote natuurkwaliteit (minimaal 2500 ha), die kunnen dienen als kerngebieden voor migratie naar de omringende delen van het rivierengebied. Deze hotspots (Fig. 1) zijn:

1. Biesbosch
2. IJssel-Vechtdelta
3. Grensmaas
4. Gelderse Poort (incl. Rijnstrangen, Waalbochten en IJsselpoort)

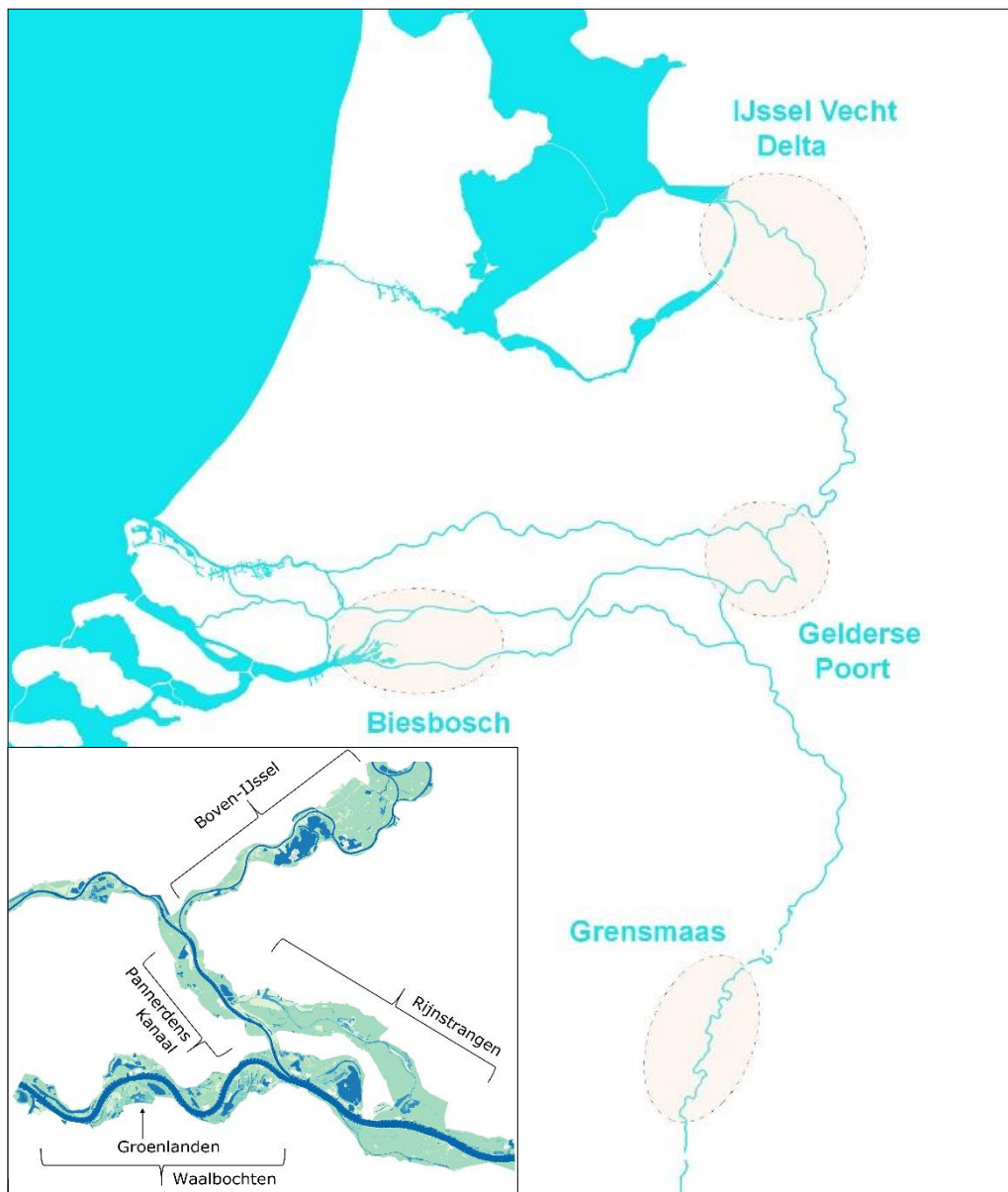
Binnen het rivierengebied, met name in deze ecologische hotspots, ligt de focus op een aantal factoren: de grootte van het gebied (schaal), de abiotische en biotische kenmerken van het gebied (kwaliteit, de combinatie van verschillende gebieden (variatie), de ruimtelijke samenhang tussen gebieden (connectiviteit) en het optreden van veranderingen (dynamiek) in het gebied. Deze sleutelfactoren vormen samen de basis van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW).

Dit rapport richt zich op de Gelderse Poort vanwege de relatief grote erosieproblematiek van het winterbed en de rol van het gebied ten aanzien van de afvoeroverdeling over de rijntakken. Daarnaast is hier al natuur gerealiseerd en zijn





er plannen voor verdere ontwikkeling van de ecologische natuurwaarden, waardoor hier zowel een behoudsvraagstuk als een ontwikkelingsvraagstuk van belang is.



Figuur 1. Ligging van de ecologische hotspots, zoals aangehouden in de PAGW. De kleine figuur weergeeft de specifieke locaties binnen de Gelderse Poort.

Figure 1. Location of the ecological hotspots as defined in the PAGW. The smaller figure indicates the specific areas within the Gelderse Poort.



## 2.3 De Gelderse Poort

### 2.3.1 Afbakening gebied

Tot de Gelderse Poort behoren de Waalbochten, het Pannerdens Kanaal en de Boven-IJssel (Fig. 1). Volgend op de PAGW Hotspot Analyse (Van der Sluis et al., 2020) zijn de binnendijkse gebieden Rijnstrangen en Groenlanden toegevoegd (Fig. 1), omdat het hier natuurgebieden betreft die qua ecologie nauw aansluiten bij de uiterwaarden van de Waal, en de potenties voor het bereiken van duurzame populaties van soorten van laag-dynamische ecotopen (Roerdomp, Zwarte Ooievaar) sterk zouden vergroten (Van der Sluis et al., 2020).

### 2.3.2 Watertype

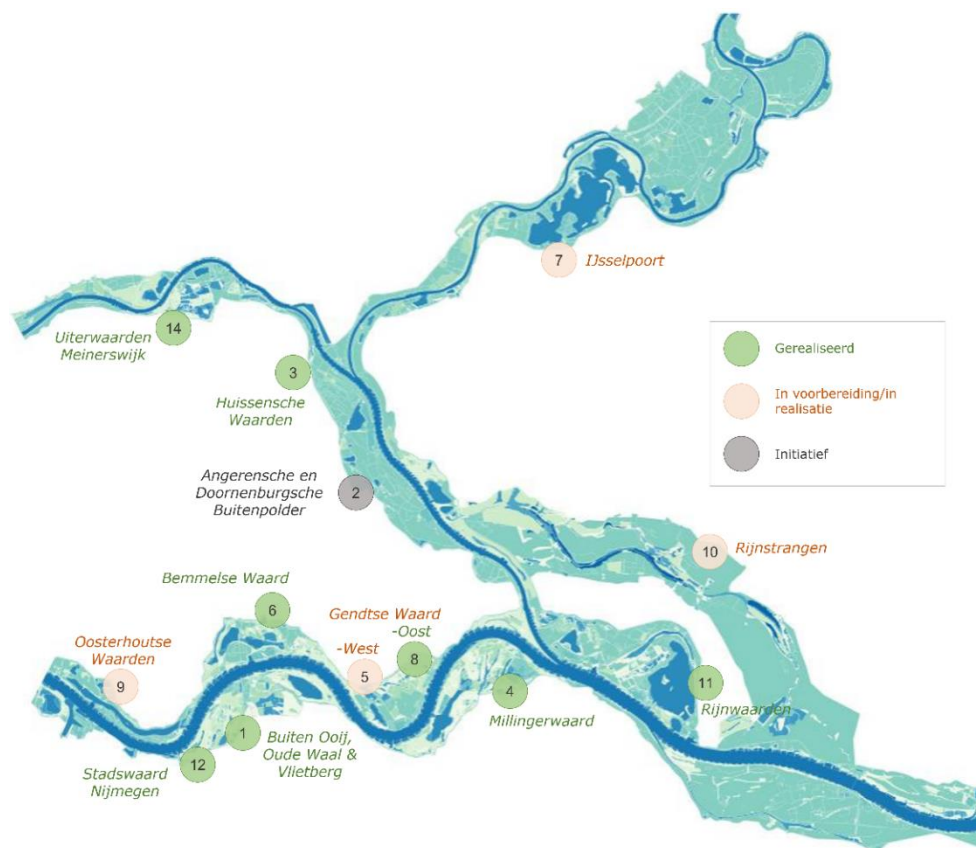
De Gelderse Poort wordt geclassificeerd als KRW-type R7 op basis van haar geologische, hydrologische en morfologische eigenschappen. Het watertype R7 wordt getypeerd als een langzaam stromende rivier of nevengeul of zand of klei (Van der Molen et al., 2018). In de natuurlijke situatie is er een netwerk van vele geulen en ondiep stromend water langs eilanden en zandbanken. Door variatie in diepte en breedte is er ook variatie in stroomsnelheid. Dit riviertype heeft beboste oevers en door bomen vastgelegde eilanden. De bomen bieden, met in het water reikende wortels, een afwisseling in habitats, zoals zandige bodems en detritusophoping. Ze bieden een schuil- en opgroeiplaats en vormen een leefgebied voor macrofauna en vissen. Van nature komen hier verschillende soorten substraat voor, zoals stenen, grind, veen, kleibanken, zand en slib.

In snelstromende delen van R7-watertypen komen reofiele (stromingsminnende) soorten voor. Deze soorten zijn gevoelig voor vervuiling en lage zuurstofgehalten. Van nature komen de meeste, vaak karakteristieke, macrofaunasoorten voor op en tussen vast substraat. Waterplanten groeien vooral in de ondiepe en matig diepe delen waar het licht tot de bodem doordringt. Voor limnofiele (voorkeur voor zwakstromend tot stilstaand water) faunasoorten zijn waterplanten vaak een belangrijk onderdeel van hun leefgebied. Voor veel soorten is het van belang dat ze kunnen migreren naar andere wateren, zoals beken, riviertjes of tijdelijke overstromingsvlaktes (Marijs et al., 2020).

### 2.3.3 Natuurontwikkelingsprojecten in de Gelderse Poort

Sinds begin jaren negentig van de vorige eeuw wordt in de Gelderse Poort gewerkt aan natuurontwikkeling. Deze ontwikkeling ging hand in hand met de Ruimte voor de Rivier projecten (Eekelder & Kurstjens, 2020), waarvan de grootste projecten de Spiegelwaal in Nijmegen, Meinerswijk en de Millingerwaard waren, en projecten in het kader van de Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG). De projecten met de grootste bijdrage aan uiterwaardnatuur zijn weergegeven in Figuur 2.

De projecten zijn met name gericht op de herontwikkeling van natte natuur, zoals moeras, riet en slikkige oevers. Landbouwgronden worden opgekocht en omgezet in natuur door het planten voor ooibossen, riet en het aanleggen van plassen en geulen. De verplaatsing van zomerkades en afgravingen van uiterwaarden heeft gezorgd voor meer ruimte voor de rivier, waarbij de natuurlijke dynamiek over een groter gebied terug is gekomen. Nieuwe en herontwikkelde (meestromende) geulen en strangen brengen meer variatie in de aquatische natuur. Meestromende geulen zorgen voor meer dynamische riviernatuur, foerageer- en paailocaties voor stroomminnende soorten en meer hoogwaterveiligheid. Er wordt actief gewerkt aan stabielere grondwaterpeilen en het vasthouden van water gedurende de drogere perioden. Geplande en reeds gerealiseerde projecten en hun beoogde natuurontwikkelingen zijn nader beschreven in Bijlage 3.



Figuur 2. Locaties grote natuurontwikkelingsprojecten in de uiterwaarden van de Gelderse Poort. Kleuren weergeven de huidige status (in juni 2021) van de projecten.

Figure 2. Locations of large nature development projects in the floodplains of the Gelderse Poort. Colours indicate the current status (in June 2021) of the projects.

#### 2.3.4

##### Wensbeeld 2050

De gewenste ecotoopverdeling voor de Gelderse Poort in 2050 kenmerkt zich door (Van der Sluis et al., pp. 43-44):

- Toename kale oevers door verondieping van de randen van geulen/plassen;
- Grote toename in natuurlijk droog grasland door afname van de productielandbouw (het landbouwareaal ligt vooralsnog te hoog om nat grasland te laten ontstaan);
- Een grote toename in riet/moerasruigte. Er liggen vooral kansen in de Rijnstrangen. De voortgaande zomerbedverlaging vraagt verkenningen naar toenemende verdroging en eventuele kansen om water vast te houden in de uiterwaarden (Oude Waal);
- Aanzienlijke toename in ooibos/struweel, m.n. hardhoutooibos, doordat vooral op de hogere uiterwaarddelen een toename van de hydraulische ruwheid een ondergeschikte rol speelt;
- Een toename in geulen en strangen door uitbreiding waar dat mogelijk is conform de Natuurverkenning, m.n. ten koste van diepe plassen;
- Plassen zijn verondiept en gradiënten aangebracht zoals in de Natuurverkenning aangegeven;
- Een kleine afname van nat grasland, waar ooibos en droog grasland voor in de plaats gekomen zijn;

Dit wensbeeld is gevisualiseerd in Figuur 3. Extra mogelijkheden liggen daarnaast in een omvorming van droog grasland tot nat grasland met behulp van maatregelen, zoals afgraven, en de uitbreiding van bos in de Gelderse Poort. Huidige verkenning met betrekking tot deze areaalvergroting lopen vast op de verhoging van de hydraulische weerstand, welke opstuwende effecten kan hebben tijdens perioden van hoogwater.

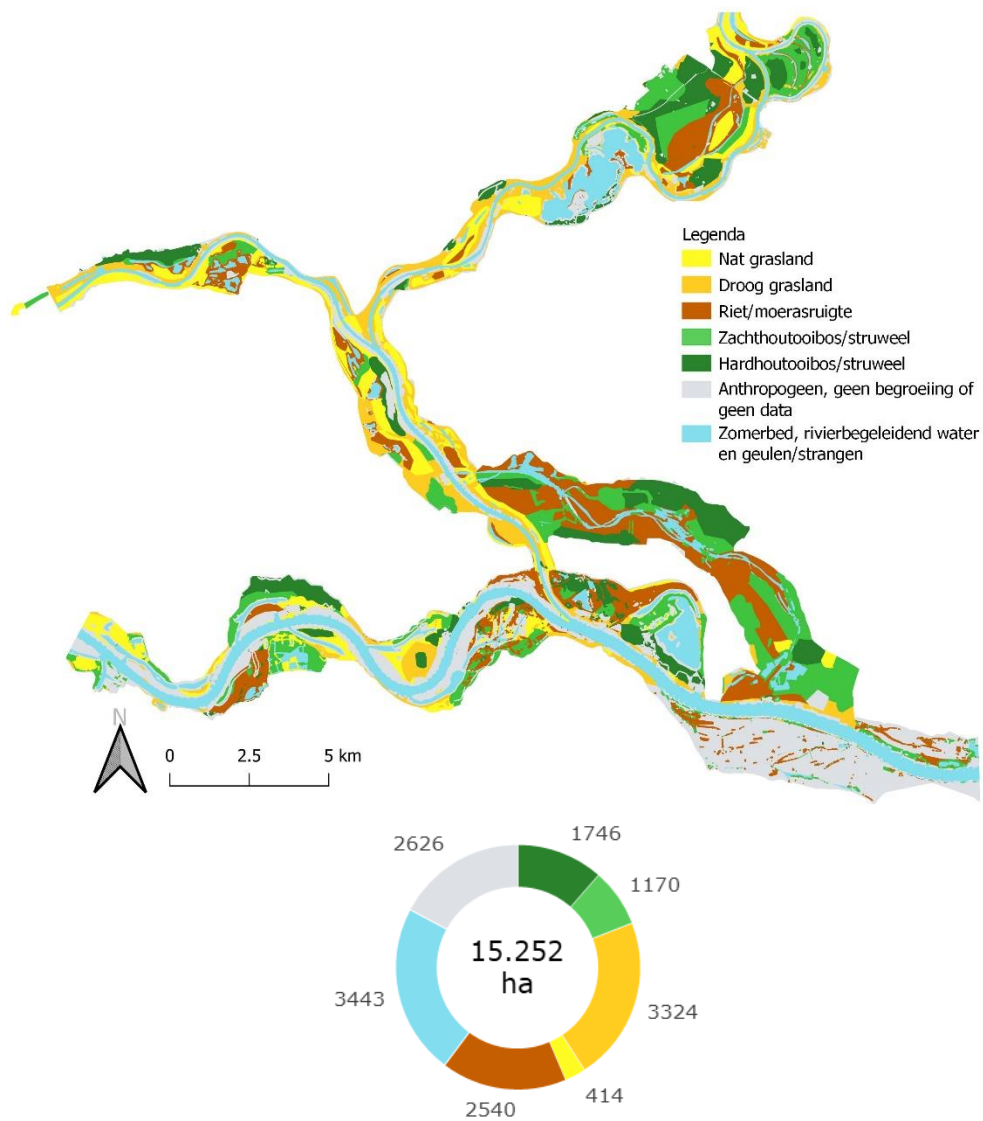


Figure 3. Desired distribution of ecotopes in the Gelderse Poort in 2050, based on Van der Sluis et al. (2020).

Figuur 3. Gewenste ecotopenverdeling in de Gelderse Poort in 2050, gebaseerd op Van der Sluis et al. (2020).







## 3 Data

### Samenvatting

- De analyse uitgezet in deze rapportage maakt gebruik van verschillende data:
- De ecotopenkaart (5<sup>e</sup> kartering);
  - Uitvoer van het grondwatermodel (MODFLOW) uit het Nationale Water Model (NWM), waarin verschillende Deltascenario's zijn doorgerekend. Deze uitvoer is opgedeeld in drie categorieën:
    1. Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG);
    2. Gemiddelde Hoogste grondwaterstand (GHG);
    3. Gemiddelde Laagste grondwaterstand (GLG).

### 3.1 Beschikbaar kaartmateriaal

De ecotopenkaart (vijfde cyclus ecotopenkartering) geeft de locatie van specifieke ecotopen in het rivierengebied weer. Deze ecotopen zijn ingedeeld aan de hand van de criteria waterhoogte/diepte, stroomsnelheid, droogvalduur, zoutgehalte en sedimentsamenstelling. De ecotopenkartering volgt een zes-jaarlijkse cyclus, waarin aanpassingen worden doorgevoerd aan de hand van luchtfoto-interpretaties van oeverlijnen en ecotooptypen. De meest recente versie van het rivierengebied is samengesteld met data uit 2017 en heeft een kleinste karteereenheid van 5x5 m. De ecotopenkaart is vrij beschikbaar in de geodatabase van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2018).

### 3.2 Scenario's en basisprognoses

Voor het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) zijn klimaatscenario's ontwikkeld om de klimaatbestendigheid van Nederland te verhogen. Deze scenario's zijn gebaseerd op een combinatie tussen een klimaatscenario (KNMI'14<sup>4</sup>) en een sociaaleconomisch scenario (CPB en PBL, 2015). De onderliggende ontwikkelingen zijn te beschouwen als autonoom en hebben een snelheid die zeer onzeker is. De Deltascenario's beschrijven de plausibele bandbreedtes in deze ontwikkelingen.

De KNMI'14 scenario's bestaan uit vier scenario's voor toekomstige klimaatverandering (Figuur 4, links), waarbij er onderscheid wordt gemaakt tussen gematigde en sterke wereldwijde temperatuurstijgingen. De Deltascenario's Zoetwater (Figuur 4, rechts) zijn hierop gebaseerd (Sperna Wieland et al., 2015; Hunink & Hegnauer, 2015; Wolters et al., 2018). Hierbij worden de matige klimaatverandering en snelle klimaatverandering gerepresenteerd door, respectievelijk, de scenario's  $G_L$  en  $G_H$ . Deze zijn gecombineerd met sociaaleconomische scenario's welke afkomstig zijn uit de toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (CPB en PBL, 2015). Aanvullend is voor lage Rijnafvoeren een droger scenario afgeleid:  $W_{H,dry}$ . Voor het Deltaprogramma Zoetwater zijn deze scenario's doorgerekend met betrekking tot zichtjaren 2050 en 2085 met het Nationaal Water Model (NWM). Hiervoor is gebruik gemaakt van het  $W_{H,dry}$  scenario in plaats van het  $W_H$  scenario. De uitvoer van het NWM is vrij beschikbaar via de Helpdesk Water<sup>5</sup>. Voor uitgebreidere informatie over de

<sup>4</sup> <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/knmi-klimaatscenario-s>

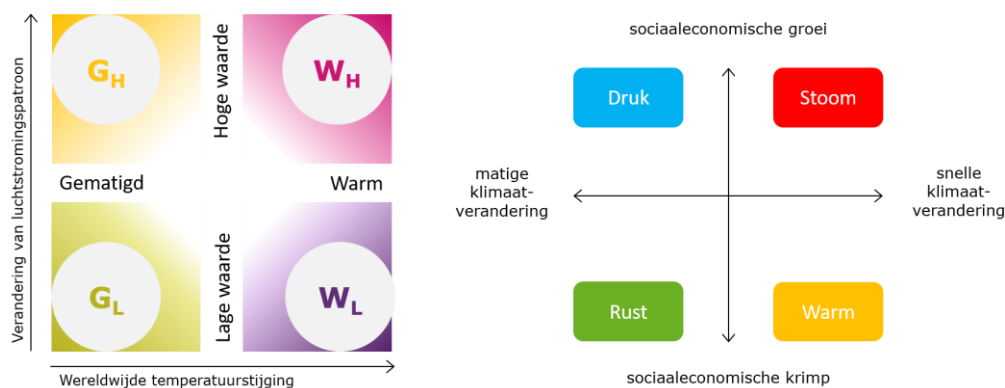
<sup>5</sup> <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water-model/basisprognoses/basisprognoses-2018-zoetwater/uitvoer-bp-2018-zw/>



(berekening van de) invoerparameters en -data wordt verwezen naar Hunink et al. (2018) en Wolters et al. (2018).

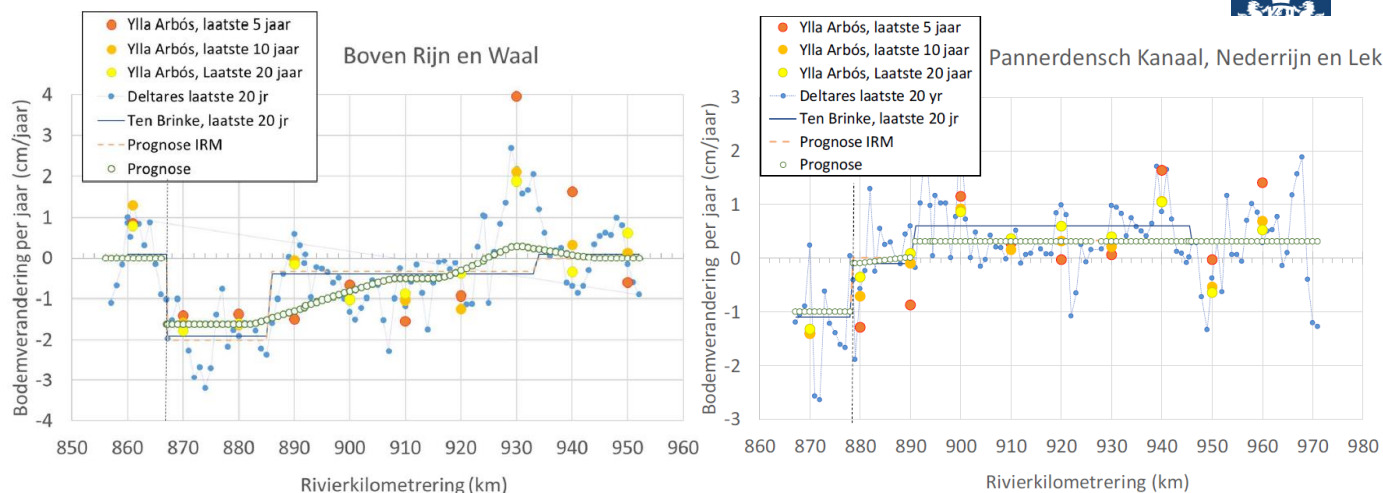
Naast klimaat- en sociaaleconomische veranderingen hebben grootschalige morfologische veranderingen effect op het systeem. In de Rijn en Maas is sprake van sterke erosie van het zomerbed, waarbij de rivierbodem in de Gelderse Poort 1 – 2 meter is ingesneden in de afgelopen 100 jaar (Ylla Arbos et al., 2019). Gebaseerd op deze historische bodemverandering is een prognose gedaan van de verwachte ontwikkelingen in de rivierbodem van de Rijntakken tot 2050, gebaseerd op een gewogen gemiddelde van verschillende studies (Sloff, 2019). Hierin wordt een bodemdaling van maximaal 2 cm per jaar tot een kleine bodemstijging van 0,5 cm aangehouden (Figuur 5). Deze morfologische veranderingen zijn, in combinatie met de Deltascenario's, tevens doorgerekend met het NWM (Van Walsem et al., 2020). De uitvoer hiervan is niet vrij beschikbaar en kan opgevraagd worden via de Helpdesk Water.

Deze rapportage maakt gebruik van het referentiescenario 2017 en de toekomstige scenario's Druk en Stoom zonder grootschalige morfologische veranderingen, zoals zomerbedverlaging, voor zichtjaren 2050 en 2085. Alleen het scenario Stoom is ook met grootschalige morfologische veranderingen doorgerekend voor het zichtjaar 2050. De scenario's Rust en Warm worden buiten beschouwing gelaten in deze rapportage, omdat de doorgerekende resultaten weinig verschilden met de scenario's Druk en Stoom, zoals eerder ook is geconcludeerd in Van Geest (2020).



Figuur 4. Klimaatscenario's, met de KNMI'14 scenario's (links) en de Deltascenario's Zoetwater (rechts). Deze rapportage is gefocust op de Deltascenario's Druk en Stoom voor de zichtjaren 2050 en 2085.

Figure 4. Climate scenarios, with both the KNMI'24 scenarios (left) and the Deltascenarios Freshwater (right). This report is focussed on the Deltascenarios Druk and Stoom for the years 2050 and 2085.



Figuur 5. Trends in bodemverandering in de Boven-Rijn en Waal (links) en het Pannerdensch Kanaal, Nederrijn en Lek (rechts): prognose en waargenomen trends uit recente studies voor de programma's Rivers2Morrow (R2M) en Integraal Rivier Management (IRM) (Sloff, 2019), waarop het scenario Stoom 2050 met grootschalige morfologische veranderingen is gebaseerd. Overgenomen uit Van Walsem et al. (2020).

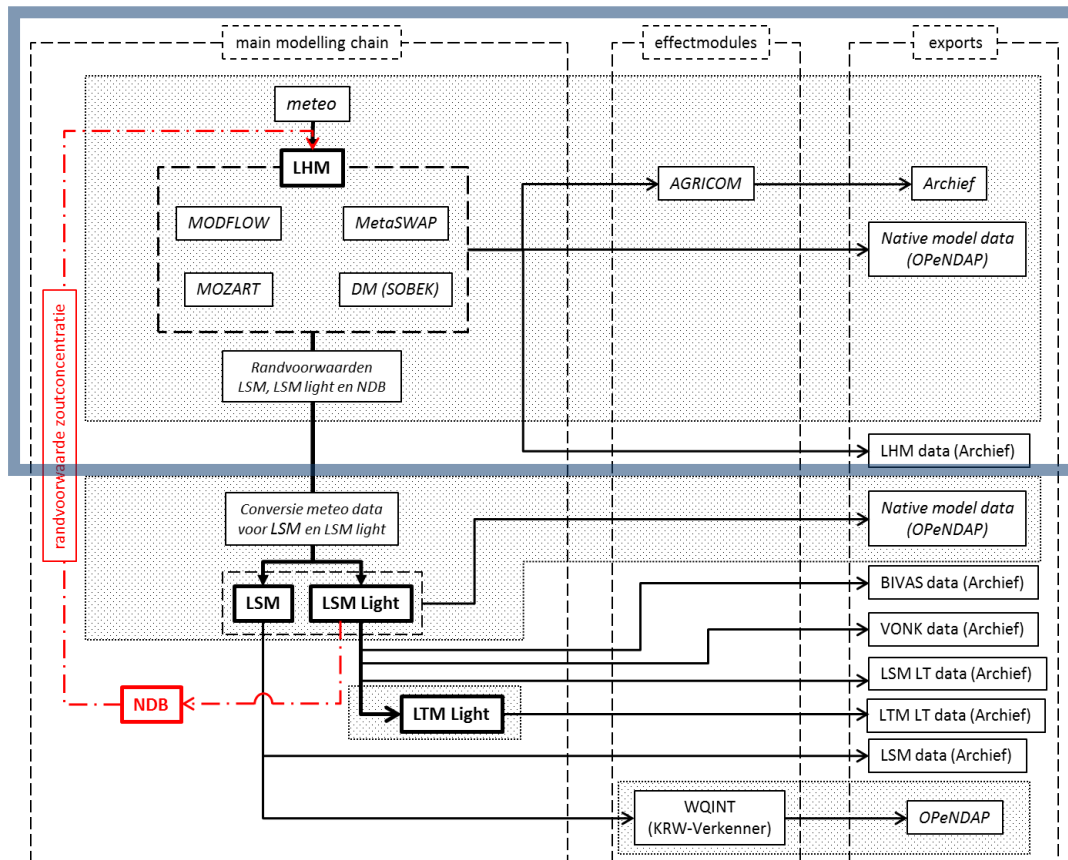
Figure 5. Trends in river bed changes in the Boden-Rijn and Waal (left) and the Pannerdensch Kanaal, Nederrijn en Lek (right): prognosis and measured trends of recent studies for the programs Rivers2Morrow (R2M) and Integraal Rivier Management (IRM) (Sloff, 2019)

### 3.3 Nationaal Water Model (NWM)

Het Nationaal Water Model is een beleids-analytisch instrumentarium voor waterveiligheid, waterverdeling en waterkwaliteit. Het NWM bestaat uit verschillende aan elkaar gekoppelde modellen die bij elkaar zijn gebracht in het programma Delft-FEWS. Binnen het NWM behandelt het onderdeel Zoetwater (ZW) alle grondwater- en oppervlaktewatersystemen van Nederland (Figuur 6). De belangrijkste zijn het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), waarin grondwaterstanden, waterverdelingen en waterstanden van oppervlaktewater wordt berekend, het Landelijk Sobek Model (LSM) en het LSM Light. Deze laatste twee berekenen waterstanden en debieten voor het gehele oppervlaktewatersysteem en de grote oppervlaktewatersystemen van Nederland, respectievelijk. De basisprognoses zijn doorgerekend in alle bovenstaande modellen. Dit onderzoek maakt gebruik van de MODFLOW berekeningen in de verzadigde zone, welke onderdeel uitmaakt van het LHM (Figuur 6, blauwe omlijning). Het MODFLOW model is gekoppeld aan MetaSWAP (onverzadigde zone). Zij berekenen samen de grondwaterstroming op dagbasis met een ruimtelijk resolutie van 250 x 250 m. Gelijktijdig wordt het regionale oppervlaktewater geschematiseerd met MOZART, waarbij MOZART-DM (Distributie Model) de beschikbaarheid van water in het regionale systeem aanlevert. Deze uitvoer, inclusief de MODFLOW uitvoer, wordt geëxporteerd als LHM data (Archief) (Figuur 6).

De MODFLOW uitvoer is onderverdeeld in drie karakteristieken:

- GVG: Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand – Het gemiddelde van de jaarlijkse grondwaterstanden op 14 maart, 28 maart en 14 april;
- GLG: Gemiddelde Laagwater Grondwaterstand – Het gemiddelde van de jaarlijks drie laagste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar);
- GHG: Gemiddelde Hoogwater Grondwaterstand - Het gemiddelde van de jaarlijks drie hoogste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar).



Figuur 6. Workflow van het Nationaal Water Model (NWM), waarin de hoofd modellen, effectmodules, exportbestanden en de onderlinge relaties worden weergegeven. Voor dit onderzoek zijn enkel de modellen in de blauwe omlijning van belang. Voor meer informatie over de modelopzet, zie <https://publicwiki.deltares.nl/display/NW/Zoetwater+configuratie>. Figuur overgenomen van Deltares Publicwiki (2018).

Figure 6. Workflow of the National Water Model (NWM), in which the main models, effectmodules, export files and their reciprocal relationships are being shown. In this research, only the models in blue are relevant. For more information on the model workflow, see <https://publicwiki.deltares.nl/display/NW/Zoetwater+configuratie>. Adapted from Deltares Publicwiki (2018).







## 4 Methode

### Samenvatting

Om de conditie van natuur in de uiterwaarden van de Gelderse Poort te kunnen beoordelen, zijn er een aantal stappen genomen:

1. De hydrologische en hydraulische randvoorwaarden van relevante ecotooptypen en soortengroepen zijn gedefinieerd op basis van literatuuronderzoek en werksessie met experts. Voor volledigheid is deze stap uitgevoerd voor zowel aquatische als terrestrische natuur. In de volgende stappen is er echter alleen gebruik gemaakt van de terrestrische ecotooptypen, omdat er voor aquatische natuur al een methode voor natuureffectbeoordeling bestaat.
2. De ecopenkaart (5<sup>e</sup> kartering) is aangepast voor de PAGW Hotspot Analyse (Van der Sluis et al., 2020). Deze is vervolgens geprojecteerd op een grid van 25 x 25 m, waarbij de randvoorwaarden uit stap 1 zijn toegevoegd aan de desbetreffende ecotooptypen.
3. De uitvoer van het NWM (GxGs) zijn gemiddeld over 16 opeenvolgende jaren (1985-2000).
4. Er bestaan nu twee soorten kaarten, de voorbewerkte ecopenkaart en de gemiddelde grondwaterstandskarten uit de Deltascenario's, welke met elkaar kunnen worden vergeleken. Door middel van QGIS kan er worden bepaald of de huidige en toekomstige grondwaterstanden voldoen aan de randvoorwaarden van de verschillende ecotooptypen.

Bovenstaande stappen zijn geautomatiseerd in twee QGIS modellen.

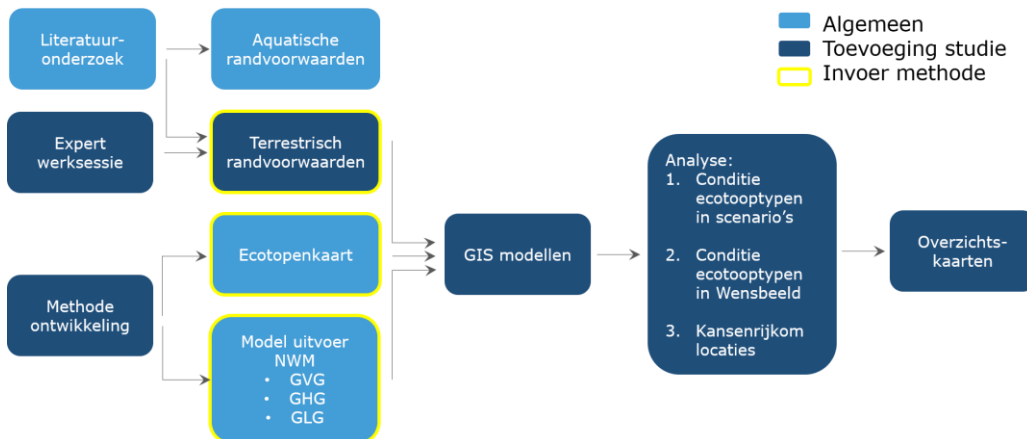
#### 4.1 Aanpak op hoofdlijnen

Om natuur in uiterwaarden te kunnen beoordelen, werden allereerst relevante ecotooptypen en soortengroepen gedefinieerd (sectie 4.2). Voor deze varianten zijn de gewenste randvoorwaarden met betrekking tot vochtigheidstoestand, stroomsnelheid en stabiliteit bepaald aan de hand van literatuur en een werksessie met experts (sectie 4.3). Deze randvoorwaarden worden beschreven in sectie 4.4. Vervolgens is er beoordeeld of er in huidige toekomstige situaties kan worden voldaan aan deze gewenste randvoorwaarden van terrestrische ecotooptypen met behulp van een GIS-analyse (QGIS) (sectie 4.5). Een overzicht van de methode wordt gegeven in Figuur 7.

Indien gewenst kan de methode in een later stadium worden uitgebreid met aquatische ecotooptypen. In deze rapportage worden de condities van de aquatische ecotooptypen niet beoordeeld, omdat deze eerder al zijn toegepast in de Natuureffectmodule Grote Wateren (Van Geest et al., 2019). Voor de volledigheid wordt er wel een overzicht gegeven van de randvoorwaarden die door aquatische ecotooptypen aan de omgeving worden gesteld in Bijlage 5.



Daarnaast is er bepaald welke ecotooptypen het beste passen bij, en dus kansrijk zijn in, toekomstige condities gegeven klimaatverandering en grootschalige



Figuur 7. Overzicht van de gebruikte methoden, inclusief in- en uitvoer.

Figure 7. Overview of the methods used in this study, including input and output.

morfologische veranderingen. Deze methode komt overeen met sectie 4.5, waarbij het grootste verschil is dat ieder ecotooptype steeds is toebedeeld aan het gehele terrestrische areaal.

## 4.2 Relevante ecotooptypen en soortengroepen

Idealiter wordt het ecologisch functioneren van een gebied benaderd op basis van een individueel oordeel per vegetatie en faunasoort. Dit vergt echter een grote hoeveelheid data en resulteert in een complexe beoordeling, waarbij voor iedere vegetatie/faunasoort wordt benaderd hoe deze reageert op verandering in de omgeving. Het ecologisch functioneren van een gebied kan makkelijker worden beoordeeld op basis van het voorkomen van bepaalde ecotopen (een ruimtelijk af te grenzen, min of meer homogene eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities; Wolfert, 1996). Op basis van het Rivieren-Ecotopen-Stelsel (RES; Rademakers & Wolfert, 1994) kunnen deze worden onderverdeeld in een beperkt aantal aquatische en terrestrische typen, waarbij de oever geldt als het overgangsgebied. In Tabel 2 wordt de aquatische en terrestrische begrenzing van oevers, zoals gebruikt in de RES, weergegeven.

Tabel 2. Aquatische en terrestrische begrenzing van oevers volgens Wolfert (1996).

Table 2. Aquatic and terrestrial boundaries of shores, according to Wolfert (1996).

Watersysteem	Aquatische begrenzing	Terrestrische begrenzing
Rivieren	2 dagen droogval en bij gemiddeld laag water 0 m diep	50 dagen overstroming
Getijdenwateren	1% droogval	5 keer overspoeling/jaar
Zoete meren	-0,3m t.o.v. het gemiddeld zomerpeil	0,8m onder maaiveld (natuurlijk peil) 0,5m onder maaiveld (tegnatuurlijk peil)
Kanalen	-0,3m t.o.v. het gemiddeld kanaalpeil	0,5 onder maaiveld (vast peil)



#### 4.2.1 *Aquatisch*

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende habitats voor aquatische soorten:

1. De hoofdstroom van de rivier in het bovenrivierengebied, inclusief wateren die permanent verbonden zijn, zoals nevengeulen.
2. Geïsoleerde uiterwaardplassen in het bovenrivierengebied. Deze kunnen (veelal 's winters) tijdens hoge rivierafvoeren overstromen, maar staan niet in open verbinding met de rivier.
3. De hoofdstroom in het zoetwatergetijdengebied, inclusief permanent verbonden wateren. Vanwege de invloed van het getij zal dit habitat verder buiten beschouwing worden gelaten.

Relevante soortengroepen in deze wateren kunnen worden onderverdeeld in twee categorieën: (1) waterplanten en (2) vis en macrofauna. De visgemeenschap die voorkomt in de Nederlandse uiterwaardwateren bestaat uit twee groepen. Enerzijds de groep die een hoge mate van connectiviteit nodig heeft met de rivier en anderzijds de groep die de voorkeur heeft voor stilstaande en meer geïsoleerde uiterwaardplassen (Kurstjens et al., 2020). In de eerste groep koloniseren veel vissoorten de uiterwaardwateren met hoogwater, waarbij de vissen dit gebruiken als (tijdelijk) habitat, met name gericht op de voortplanting (Górski et al., 2010). Voor sommige soorten is een continue verbinding met de rivier noodzakelijk, zodat volgroeide juveniele vissen terug kunnen migreren naar de rivier (bijv. Winde, Blankvoorn en Baars). Andere soorten kunnen in de uiterwaardplassen verblijven en terug migreren bij het eerstvolgende hoogwater (Kurstjens et al., 2020).

#### 4.2.2 *Terrestrisch*

Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van aangepaste ecotoopgroepen, welke zijn geïntroduceerd in de PAGW Hotspot Analyse van Van Der Sluis et al., (2020). Deze ecotoopgroepen zijn relevanter voor het analyseren van de natuuropgaven door (1) het samenvoegen van ecotooptypen die niet bijdragen aan de natuuropgaven en (2) het uitsplitsen van ecotooptypen met een grote ecologische bijdrage aan natuur in de uiterwaarden. Het onderscheid tussen zachthout- en hardhoutoobossen komt hier voort uit het Afwegingskader Ooibossen (WEnR, 2020).

Tabel 3 geeft de terrestrische ecotoopgroepen in beide ecotopenkarteringen en hun relaties tot elkaar weer. De ecotoopgroepen onderscheiden in deze rapportage zijn beschreven in Bijlage 4. Een grotere nauwkeurigheid en verscheidenheid in ecotooptypen zou wenselijk zijn, met name wat betreft de graslanden, maar is gezien de onzekerheid in vegetatieontwikkeling op langere termijn niet realistisch (Van der Sluis et al., 2020). In de rest van deze rapportage worden kale oevers, productiegaslanden/bouwlanden en de bebouwde/verharde omgeving buiten beschouwing gelaten in verband met de kleine hoeveelheid vegetatieontwikkeling die bijdraagt aan het ecologisch functioneren van het gebied.

### 4.3 **Vaststellen hydrologische randvoorwaarden**

#### 4.3.1 *Aquatisch*

De gewenste hydrologische condities voor aquatische ecotooptypen en soortengroepen zijn gebaseerd op literatuur, met name de KRW-Leidraad (Marijs et al., 2020) en de kennisregels voor waterplanten van Van Geest & Teurlincx (2014). Deze zijn aangevuld met kennisregels uit verscheidene bronnen. De gestelde randvoorwaarden voor aquatische ecotooptypen en soortengroepen zijn opgenomen in Bijlage 5. De aquatische natuur wordt in de rest van deze rapportage buiten beschouwing gelaten vanwege een reeds ontwikkelde methode voor natuureffectbeoordeling van deze natuur (Van Geest et al., 2019).



*Tabel 3. Overzicht ecotoopgroepen in de originele en aangepaste ecotopenkaart. In de analyse worden de ecotooptypen productiegrasland/bouwland, bebouwd/verhard en kale oever buiten beschouwing gelaten in verband met hun kleine bijdrage aan vegetatieontwikkeling in het gebied.*

*Table 3. Overview of ecotopes in the original and adapted ecotope map. The ecotopes 'productiegrasland/bouwland', 'bebouwd/verhard' and 'kale oevers' are disregarded due to their relatively small contribution to the development of vegetation in floodplains.*

Originele ecotopenkaart	Aangepaste ecotopenkaart
Akker	
Productiegrasland	
Boomgaard (hoog- of halfstam)	Productiegrasland/bouwland
Productiebos	
Laagstam boom-/fruitgaarden en kwekerijen	
Bebouwd/verhard	Bebouwd/verhard
Onbegroeid (antropogeen)	
Vegetatie met lage bedekking (5-25%)	Kale oever
Onbegroeid (natuurlijk)	
Natuurlijk grasland	Nat grasland
	Droog grasland
Ruigte	
Riet en overige helofyten	Riet/moerasruigte
Biezen	
Struweel	Zachthoutooibos/struweel
Natuurlijk bos	Hardhoutooibos/struweel

#### 4.3.2

##### Terrestrisch

De hydrologische en hydraulische randvoorwaarden die door ecotooptypen aan hun omgeving worden gesteld zijn (nog) niet bekend. Om deze alsnog te kunnen bepalen is er een overzicht opgesteld met daarin de beschikbare informatie met betrekking tot grondwaterstanden, droogtestress en inundatiebestendigheid van ecologische vegetatiestructuren. Er is hierbij onderscheid gemaakt in de volgende categorieën:

1. Natura 2000 habitattypen.  
Voor de verschillende Natura 2000 habitattypen zijn de door de vegetatie gestelde condities bekend (Programmadirectie Natura 2000, 2014). Deze habitattypen zijn niet één-op-één te vertalen naar ecotooptypen, omdat deze eisen stellen aan de aanwezigheid van specifieke plantensoorten. Echter kan deze informatie als basis dienen bij het vaststellen van randvoorwaarden voor RWES (RijksWateren-Ecotopen-Stelsel<sup>6</sup>) ecotopen.
2. Beheertypen (Subsidiestelsel Natuur en Landschap)  
Natuurbeheertypen zijn opgesteld met betrekking tot subsidieverstrekking en beheer van gebieden. Voor enkele beheertypen zijn specifieke kenmerken en randvoorwaarden beschikbaar, maar niet het volledige ecotopenstelsel wordt gedekt. Het is daarom lastig om deze beheertypen te

<sup>6</sup> <https://publicwiki.deltares.nl/display/EC/De+RWES>



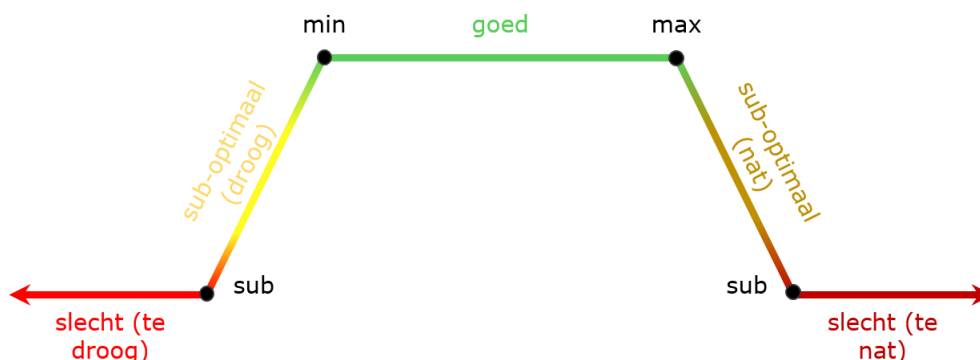
vertalen naar ecotopen, maar kan wel degelijk gebruikt worden als ondersteunend materiaal.

### 3. Plantenassociaties

Voor iedere ecotoop is bekend welke plantensoorten regelmatig voorkomen in een soortgelijk gebied (Willems et al., 2007). Deze plantensoorten kunnen worden toebedeeld aan associaties; plantgemeenschappen die worden gekenmerkt door een specifieke standplaats en een uniforme vegetatiestructuur (WEnR, 2021; [www.floravannederland.nl](http://www.floravannederland.nl)). De gewenste condities met betrekking tot voorjaarsgrondwaterstanden, gemiddelde laagwaterstanden en droogtestress zijn van alle in Nederland voorkomende associaties bekend.

Aan de hand van deze informatie heeft er een expert werksessie plaatsgevonden met drie ecologen en vegetatiespecialisten. Deze werksessie heeft geleid tot een globale set van randvoorwaarden voor de verschillende ecotooptypen, waarbij bovenstaande categorieën de basis vormen. Op basis van de expert input zijn randvoorwaarden vastgesteld gebaseerd op een gewogen gemiddelde tussen de randvoorwaarden van soortgelijke Natura 2000 habitattypen, beheertypen en plantenassociaties. De verwachting is dat de gestelde randvoorwaarden op ongeveer 10 cm nauwkeurig zijn vastgesteld.

De gestelde randvoorwaarden bestaan uit knikpunten (min, max en sub) waartussen een ecotooptype goed, matig of niet kan gedijen (Figuur 8) en worden besproken in sectie 4.4. Een goede conditie refereert hier naar grondwaterstanden die voldoen aan de randvoorwaarden die worden gesteld door de ecotooptypen. Suboptimale condities zijn hierbij grondwatercondities die binnen een kleine bandbreedte vallen waarin vegetatie kan overleven, maar zich niet goed kan ontwikkelen wanneer deze grondwaterstanden langdurig aanhouden. Bij een slechte conditie vallen de verwachte grondwaterstanden buiten de range waarin een ecotooptype kan voortbestaan. Het gaat dan over het algemeen over te natte condities voor droge ecotooptypen en te droge condities voor grondwaterafhankelijke ecotooptypen.



Figuur 8. Opzet van minimale, maximale en subtimale randvoorwaarden van ecotooptypen, met de daarbij behorende condities.

Figure 8. Minimum, maximum and suboptimal boundary conditions of ecotope types with their associated conditions.

## 4.4 Hydrologische randvoorwaarden van terrestrische ecotooptypen

Dit rapport omvat dezelfde terrestrische ecotooptypen als in de PAGW worden beschouwd: hardhoutoibos, zachthoutoibos, droog grasland, vochtig grasland en rietmoerassen (Van der Sluis et al., 2020). Onderstaande Tabel 4 komt voort uit een



literatuuranalyse en een werksessie met vegetatiekundigen, en geeft de gewenste vochtigheidstoestanden in GVG, GLG, GHG en inundatieduur per ecotooptype weer. Grondwaterstanden zijn in relatie tot maaiveld, waarbij positieve waarden corresponderen met grondwaterstanden onder maaiveld en negatieve waarden met grondwaterstanden boven maaiveld. Sub, min en max refereren naar de knippunten van de gewenste grondwaterstanden (zie Figuur 8).

*Tabel 4. Gewenste vochtigheidstoestanden in GVG, GLG, GHG en inundatieduur per ecotooptype. (-)999 betekent dat eraan de boven- of onderzijde geen grens is. Bijv. voor Droog grasland is er geen ondergrens in de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand.*

*Table 4. Desired groundwater levels in GVG, GLG, GHG and inundation duration per ecotope. (-)999 indicates that there is no upper or lower limit. For example, there is no lower boundary for Droog grasland.*

		Productiegrasland/bouwland Kale oever Bebouwd/verhard Zachthoutoebos/struweel Hardhoutoebos/struweel Nat grasland Droog grasland Riet/moerasruigte					
Antropogene invloeden of geen begroeiing	GVG	Sub	250	999	70	999	25
		Min	35	999	50	999	5
		Max	-10	40	-5	70	-50
		Sub	-20	20	-20	50	-75
	GLG	Sub	80	140	120	200	60
		Min	50	120	80	120	50
		Max	0	80	30	100	5
		Sub	-10	70	-20	80	-5
	GHG	Sub	40	120	40	999	20
		Min	20	80	20	999	10
		Max	-20	40	-20	50	-50
		Sub	-50	30	-50	-20	-200
	Inundatie-duur	Sub	10	-999	10	-999	50
		Min	50	0	50	0	160
		Max	135	35	100	10	220
		Sub	200	50	160	35	300

Inundaties in uiterwaarden zijn cruciaal voor de toevoer van nieuwe voedselbronnen en daarmee een reset van de voedselketen. Het bereiken van een gezond voedselweb kan worden behaald door een regelmatige, tijdelijke inundatie van uiterwaarden. Deze zorgt voor een verstoring van het lokale systeem, waardoor organisch materiaal en nutriënten steeds weer beschikbaar komen voor de productie van biomassa (Junk & Wantzen, 2004). Hiernaast zijn voldoende daglicht en een hoge temperatuur belangrijke aspecten voor de opbouw van een voedselweb in uiterwaarden, met name door los drijvende fytoplankton, detritus en op vast substraat groeiend perifityton (Winemiller, 2004). Antropogene aanpassingen kunnen voornamelijk de inundatieduur en -frequentie beïnvloeden, waardoor deze factoren in combinatie met grondwaterstanden de belangrijkste aspecten zijn voor natuurbehoud- en ontwikkeling in de uiterwaarden. Daarnaast zorgt een (langdurige) inundatie van een gebied voor een verhoging van de grondwaterstand wat positief bijdraagt aan een vermindering van uiterwaardverdroging. Echter zijn



niet alle ecotooptypen even goed bestand tegen (langere) periodes van inundatie, terwijl andere ecotooptypen juist beter gedijen bij inundatie (Tabel 4).

Door sedimentatie in de oeverzone kan snel vegetatie successie optreden. Echter functioneert deze zone niet meer voldoende als meer dan 50% van het oppervlak minder dan 75 dagen of meer dan 125 dagen overstroomd is. Een interventie is dan nodig om de functie voor de ecologie te herstellen (De la Haye, 2016).

De Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG) wordt belangrijk geacht voor de ontkieming en initiële ontwikkeling van ecotooptypen. De GLG en GVG geven een maat aan voor de vochtigheidstoestand door het gehele seizoen. Dit is van belang voor inzichten met betrekking tot verdroging in het uiterwaardgebied in de drogere periodes. Deze analyse richt zich met name op de GVG vanwege de eerste invloed op de ontwikkeling van vegetatie. Daarnaast is er momenteel beperkte data beschikbaar over gewenste GLG en GHG randvoorwaarden van ecotooptypen. Het gebruiken van de GVG zorgt hier dus voor een grotere betrouwbaarheid, echter zullen de GLG en GHG steeds belangrijker worden in de effectbeoordeling van waterstanden op ecotooptypen vanwege de grotere variatie in waterstanden (lage waterstanden in zomer, hoge waterstanden in voor- en najaar) die gepaard gaat met klimaatverandering. Een verdere verdieping van deze randvoorwaarden is hierom gewenst.

## 4.5 GIS-analyse

### 4.5.1 Voorbereiden GIS-laag

De ecotopenkaart bestaat uit polygonen die worden toebedeeld aan een bepaalde ecotoop. De ecotopenkaart (5<sup>e</sup> kartering) is door Wageningen Environmental Research aangepast, waarbij nieuwe ecotoopgroepen zijn gevormd (Tabel 3, Van der Sluis et al., 2020). De aangepaste ecotopenkaart is voor dit onderzoek verder bewerkt met behulp van QGIS. De aanpassingen bestaan uit het volgende:

1. De polygonen zijn opgedeeld in kleinere polygonen van maximaal 25x25 m;
2. Aan ieder ecotooptype zijn de gewenste randvoorwaarden, zoals ingeschat door de experts (sectie 4.3.2), toegevoegd. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de optimale en suboptimale omstandigheden (Figuur 8).

De locaties van de verschillende ecotooptypen zijn gevisualiseerd in Figuur 9.

Voor de grondwaterkaarten zijn de MODFLOW uitvoerbestanden met hierin de GVG, GHG en GLG bewerkt, zodat deze karakteristieken worden gemiddeld zoals is gedefinieerd in de algemene definitie Parameters Grondwaterdynamiek (De Gruijter et al., 2004 & Finke et al., 2004):

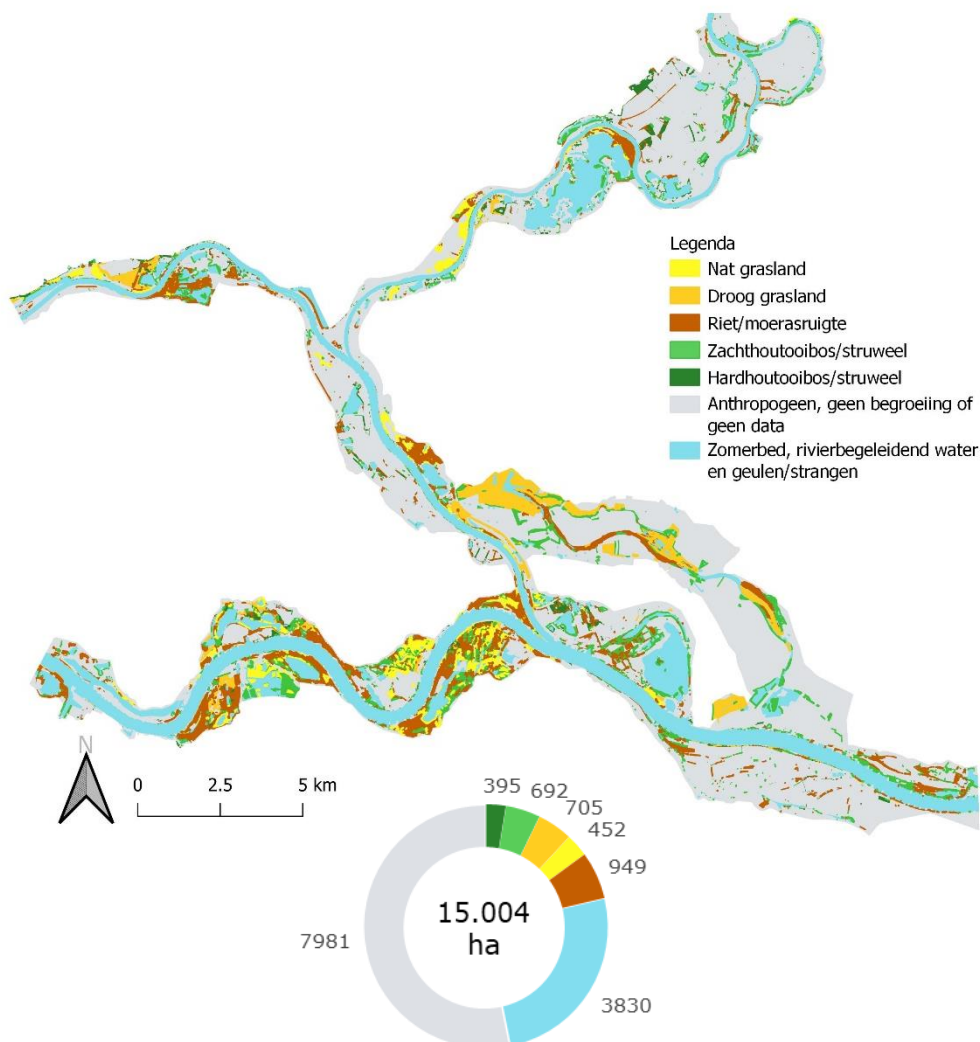
- GVG: Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand – Het gemiddelde van de jaarlijkse grondwaterstanden op 14 maart, 28 maart en 14 april over een periode van tenminste acht opeenvolgende jaren, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden;
- GLG: Gemiddelde Laagwater Grondwaterstand – Het gemiddelde van de jaarlijks drie laagste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar) voor een periode van tenminste acht opeenvolgende jaren, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden;
- GHG: Gemiddelde Hoogwater Grondwaterstand – Het gemiddelde van de jaarlijks drie hoogste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar) voor een periode van tenminste acht opeenvolgende jaren, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.

Voor ieder scenario zijn deze karakteristieke waarden voor 16 opeenvolgende jaren (1985-2000) gemiddeld. Op deze manier wordt er voldaan aan de eis dat er





gemiddeld moet worden over een periode van tenminste acht jaar om te kunnen worden gedefinieerd als GVG, GHG en GLG (zie definities hierboven). Langere reeksen konden niet worden gemiddeld vanwege de rekentijd, maar kunnen in de toekomst worden berekend met grotere computerkracht. De 100-jarige invoerreeks voor het referentie scenario is aangepast voor de andere scenario's, zodat deze representatief zijn voor het betreffende zichtjaar en scenario. De oorspronkelijk referentiejaartallen zijn echter aangehouden voor simpliciteit.



Figuur 9. Huidige ecotopenverdeling in de Gelderse Poort. Verdeling in hectares.

Figure 9. Current distribution of ecotopes in the Gelderse Poort. Distribution in hectares.

Tabel 5. Arealen ecotoopverdeling Gelderse Poort voor huidige situatie en het wensbeeld voor 2050 (zie 2.3.4) in ha. Aangepast van Van Der Sluis et al. (2020).

Table 5. Area of ecotopes Gelderse Poort for current situation and desired future situation in 2050 (see 2.3.4) in ha. Adapted from Van Der Sluis et al. (2020).

Ecotooptype	Huidige situatie (ha)	Wensbeeld 2050 (ha)
Hardhoutooibos/struweel	395	1.746
Zachthoutooibos/struweel	692	1.170





Droog grasland	705	3.324
Nat grasland	452	414
Riet/moerasruigte	949	2.540

Voor de jaren zichtjaren 2050 en 2085 zijn daarom ook de jaren 1985-2000 gemiddeld.

#### 4.5.2

##### Analyse

De voorbereekte ecotopenkaart vormt de basis voor de GIS-analyse, waarin huidige en toekomstige scenario's voor grondwaterstanden worden getoetst op het voldoen aan de ecologische randvoorwaarden. Deze scenario's komen voort uit de MODFLOW doorberekeningen uit de Deltascenario's Zoetwater (zie 3.2). Voor ieder scenario's zijn de gemiddelde grondwaterstanden (GVG, GLG en GHG) per polygoon berekend en toegekend. Vervolgens is getoetst in hoeverre deze gemiddelde grondwaterstand voldoet aan de gewenste randvoorwaarden. De volgende categorieën komen hieruit voort (zie Figuur 8):

1	2	3	4	5
slecht (te droog)	sub-optimaal (droog)	goed	sub-optimaal (nat)	slecht (te nat)

Overige categorieën zijn 'water' (0) en 'antropogene invloeden of geen vegetatie' (999). Aan de hand van deze categorieën zijn kaarten opgesteld met betrekking tot de conditie van de ecotooptypen in de huidige en toekomstige scenario's.

Hoewel de overstromingsduur wel is opgenomen in de randvoorwaarden voor terrestrische ecotooptypen, is deze parameter in de analyse buiten beschouwing gelaten vanwege de complexiteit hiervan. Hoogteverschillen en menselijke invloeden, zoals sluizen ten behoeve van het tegenhouden, binnenlaten en vasthouden van water, zorgen ervoor dat er geen één-op-één relatie geldt tussen overstromingsdiepten in uiterwaarden en rivierwaterdiepte. Zodra deze waarden gedetailleerder kunnen worden berekend, zou dit een toevoeging kunnen zijn aan deze methode.

#### 4.5.3

##### Modellen

De GIS-procedure is uiteengezet in een tweetal modellen (overzicht in Bijlage 6), zodat deze analyse kan worden herhaald met andere invoerbestanden of voor andere hotspots. Het eerste model gebruikt de ecotopenkaart, in de huidige analyse de aangepaste versie uit de WEnR PAGW Hotspot Analyse (Van der Sluis et al., 2020), als invoer en bereidt deze laag voor op de GIS-analyse (zie 4.5.1). In het tweede model wordt de analyse met betrekking tot grondwaterstanden uitgevoerd (zie 4.2.2). De modellen dienen in deze volgorde te worden uitgevoerd. Echter hoeft het eerste model enkel eenmaal te worden uitgevoerd indien aanpassingen in het tweede model nodig zijn. Vanwege de benodigde computerkracht en rekentijd wordt het aangeraden het eerste model zo min mogelijk uit te voeren. In Bijlage 6 worden de GIS-modellen weergegeven en uitgebreider besproken.





## 5 Resultaten

### Samenvatting

De volgende punten komen voort uit de analyse:

- De natte ecotooptypen (natte graslanden en riet/moerasruigte) zijn reeds verdroogd en verdrogen nog verder indien er snelle klimaatverandering optreedt. In het geval van langzamere klimaatverandering blijft de conditie vergelijkbaar met de huidige situatie.
- Grondwaterstanden zijn over het algemeen te hoog voor de droge ecotooptypen (hardhoutoibos/struweel en droge graslanden), waarbij er slechts een kleine verbetering optreedt in het geval van langzame klimaatverandering.
- Voor zachthoutoibos/struweel zijn de condities relatief goed. De invloed van klimaatverandering en grootschalige morfologische veranderingen is beperkt.
- Grootschalige morfologische veranderingen hebben over het algemeen een negatieve impact op de conditie van ecotooptypen in de Gelderse Poort; natte ecotooptypen verdrogen nog verder, terwijl het nog steeds te nat is voor de drogere ecotooptypen.
- Het wensbeeld voor de ecotopenverdeling in 2050 dat is opgesteld door WEnR in opdracht van de PAGW is nauwelijks haalbaar, met name door de verdroging van de bestaande en beoogde natuur. Deze ecotooptypen verdrogen en mogelijk verdwijnen uit vrijwel de gehele Gelderse Poort.
- De grootste negatieve effecten doen zich voor in uiterwaarden waar reeds natuurontwikkelingsprojecten hebben plaatsgevonden.
- De GVG heeft een belangrijke functie voor de ontkieming en eerste ontwikkeling van vegetatie in uiterwaarden. Echter zijn er verschillen in dynamiek met GLG en GHG, waardoor andere parameters de limiterende factor kan zijn. Dit verschilt per ecotooptype.

In deze sectie worden allereerste de effecten van klimaat- en systeemveranderingen op grondwaterstanden besproken (5.1). Vervolgens worden de resultaten besproken met betrekking tot de effecten van veranderende grondwaterstanden (als gevolg van klimaatverandering en grootschalige morfologische veranderingen) op zowel de huidige ecotoopverdeling (5.2) als het wensbeeld voor de ecotoopverdeling in 2050 (5.3). Dit wordt gevolgd door een analyse over op welke locaties relevante ecotooptypen kunnen gedijen in toekomstige omstandigheden (5.4). Tot slot worden de verschillen in uitkomsten ten opzichte van de GHG en GLG uiteengezet (5.5). De locaties van de huidige en gewenste ecotoopverdeling in 2050 worden weergegeven in Figuur 9 en Figuur 3, respectievelijk.

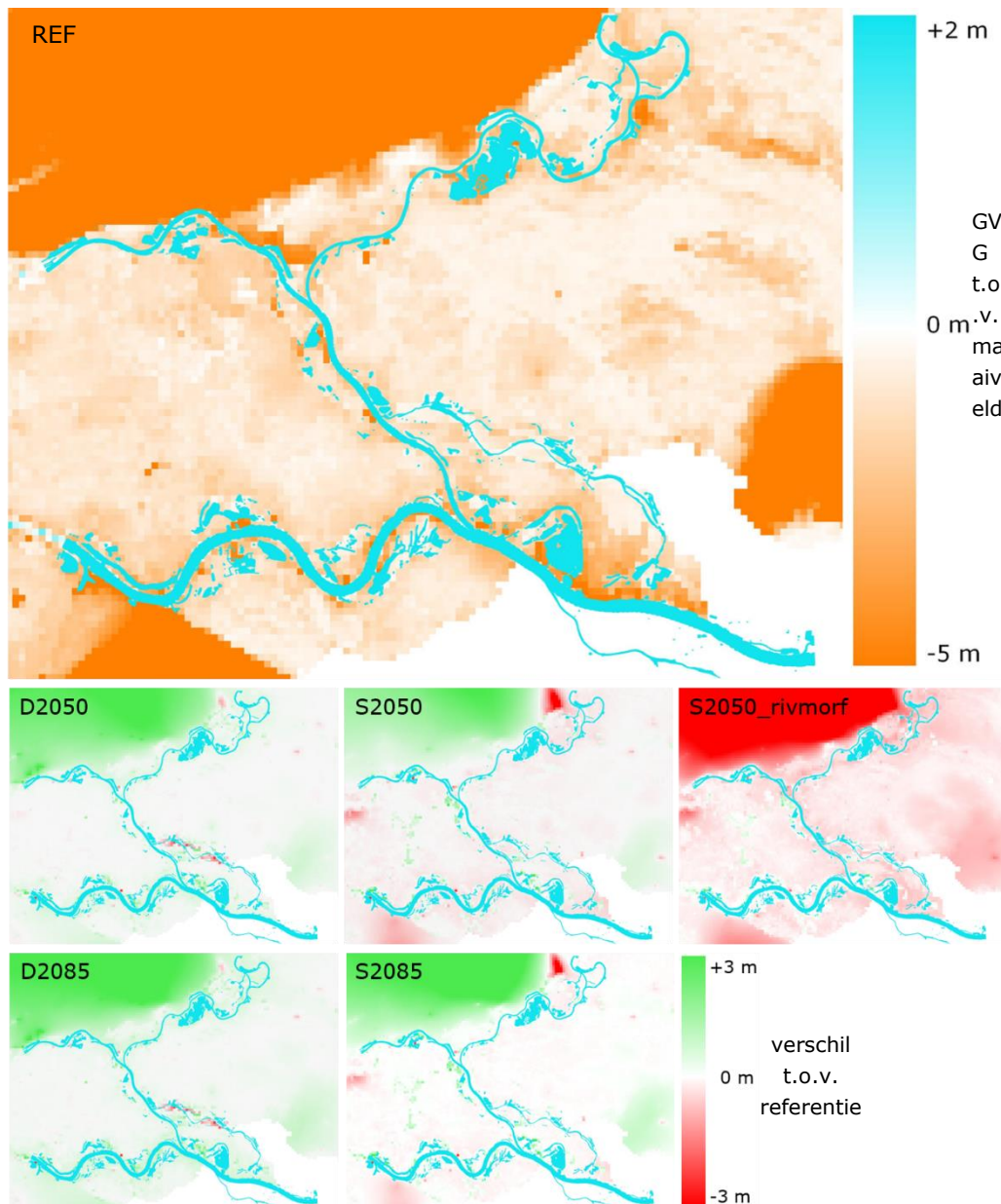
### 5.1 Effect klimaat- en systeemveranderingen op grondwaterstanden

Klimaatverandering en grootschalige morfologische veranderingen (c.q. zomerbederosie) hebben effect op de grondwaterstanden in uiterwaarden. Het veranderende klimaat heeft als gevolg dat zomerwaterpeilen verlagen, terwijl waterpeilen in het voor- en najaar hoger zullen uitvallen. Dit wordt versterkt door



dalende rivierbodempligging, waarbij de erosie van het zomerbed zorgt voor een verlaging van de waterpeilen over het gehele hydrologische jaar. Omdat grondwaterstanden in uiterwaarden sterk samenhangen met rivierwaterstanden, zal een daling in rivierwaterpeilen over het algemeen ook dalende grondwaterstanden als gevolg hebben. De effecten hiervan op grondwaterstanden, zoals opgenomen in de Deltascenario's, zijn weergegeven in Figuur 10. De verschillen in grondwaterstanden van verschillende scenario's ten opzichte van het referentiescenario (bovenste panel) zijn hierin opgenomen.

In de Gelderse Poort fluctueren de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden tussen maaiveld en 5 meter onder maaiveld. Op enkele locaties langs de rivieren komen grondwaterstanden boven maaiveld uit en veroorzaken tijdelijke inundaties van laaggelegen gebieden. Scenario's voor de toekomstige grondwaterstanden vertonen verschillen met deze huidige situatie. Over het algemeen betekent dit dat de grondwaterstanden in het geval van matige/langzame klimaatverandering (Druk)



Figuur 10. Grondwaterstanden (GVG) in het referentiescenario (boven) en de verschillen in grondwaterstanden van overige scenario's ten opzichte van het referentiescenario (onder). D en S refereren naar de scenario's Druk en Stoom.

Figure 10. Groundwater levels (GVG) in the reference scenario (above) and the differences in ground water levels of the other scenarios relative to the reference scenario (below). D and S refer to the scenarios Druk and Stoom.



vergelijkbaar zijn met de grondwaterstanden in het referentie scenario. Dit is niet het geval in het scenario Stoom, waarin sterke/snelle klimaatverandering centraal staat. Grondwaterstanden zijn hier lager dan in de referentie en Druk scenario's. De onderlinge verschillen tussen de zichtjaren 2050 en 2085 zijn relatief klein, hoewel de 2050 variant een sterke daling lijkt de laten zien. De relatief kleine van deze scenario's in relatie tot het referentiescenario zijn het gevolg van de gekozen grondwaterkarakteristiek: Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Door klimaatverandering stijgen rivierwaterstanden in het voorjaar en dalen deze in de zomer. Door het nemen van een gemiddelde valt de uiteindelijke GVG van de toekomstscenario's dichtbij het referentiescenario uit. Sterkere verdroging kan hierdoor worden gevonden in de zomermaanden.

Het scenario waarin grootschalige morfologische veranderingen zijn doorgerekend, laten de grootste verandering zien. Grondwaterstanden zijn hier beduidend lager dan in de andere scenario's, waardoor er kan worden verwacht dat relatief de meeste verdroging zal plaatsvinden in dit scenario. Verschillen in grondwaterstanden tussen 2050 en 2085 zijn relatief klein in vergelijking met de verschillen tussen de scenario's Druk, Stoom en Stoom inclusief morfologische veranderingen.

## 5.2 Kansrijkheid ecotooptypen op huidige standplaats

In het buitendijkse gedeelte van de Gelderse Poort komen met name graslanden, oobossen en riet/moerasruigtes voor. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geeft de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG) condities van deze ecotooptypen weer voor verschillende Deltascenario's voor de zichtjaren 2050 en 2085. Het gaat hier om de condities van de huidige standplaatsen van de ecotooptypen (zie Tabel 5 voor de grootte van het areaal in hectares).

- **Hardhoutooibos/struweel**  
Hardhoutooibossen en -struwelen gedijen het beste op een relatief droge standplaats met minimale inundatie gedurende de gehele levensduur. Voor de scenario's Druk 2050 en 2085 gaat de conditie van hardhoutooibossen en -struwelen achteruit ten opzichte van het referentiescenario, waarbij deze verslechtering voornamelijk voortkomt uit een verandering van een optimale naar een suboptimale (natte) vochtigheidstoestand. De scenario's Stoom 2050 en 2085 zijn vergelijkbaar met het referentiescenario en laten slechts een kleine verbetering zien in verband met de kleine daling in GVG. Wanneer grootschalige morfologische veranderingen worden meegenomen vind er een sterkere verdroging plaats, waardoor een groot deel te nat areaal plaats maakt voor een geschikte grondwatercondities.
- **Zachthoutooibos/struweel**  
Zachthoutooibossen en -struwelen kunnen zich ontwikkelen op een grote verscheidenheid aan standplaatsen. Over het algemeen wensen zij vochtige condities en hebben ze een relatief hoge overstromingstolerantie in vergelijking met hardhoutooibossen en -struwelen. Vanwege de brede range aan vochtigheidstoestanden waarin zachthoutooibossen en -struwelen kunnen voorkomen, zijn de condities in alle scenario's vergelijkbaar en vertonen slechts kleine verschillen. Alleen in de scenario's Druk 2050 en 2085 is een iets groter areaal geschikt om goed in te gedijen. De doorgaande zomerbederosie heeft weinig tot geen effect op de conditie van dit ecotooptype.
- **Droog grasland**  
Droge graslanden komen voor op relatief droge vlaktes die weinig inunderen



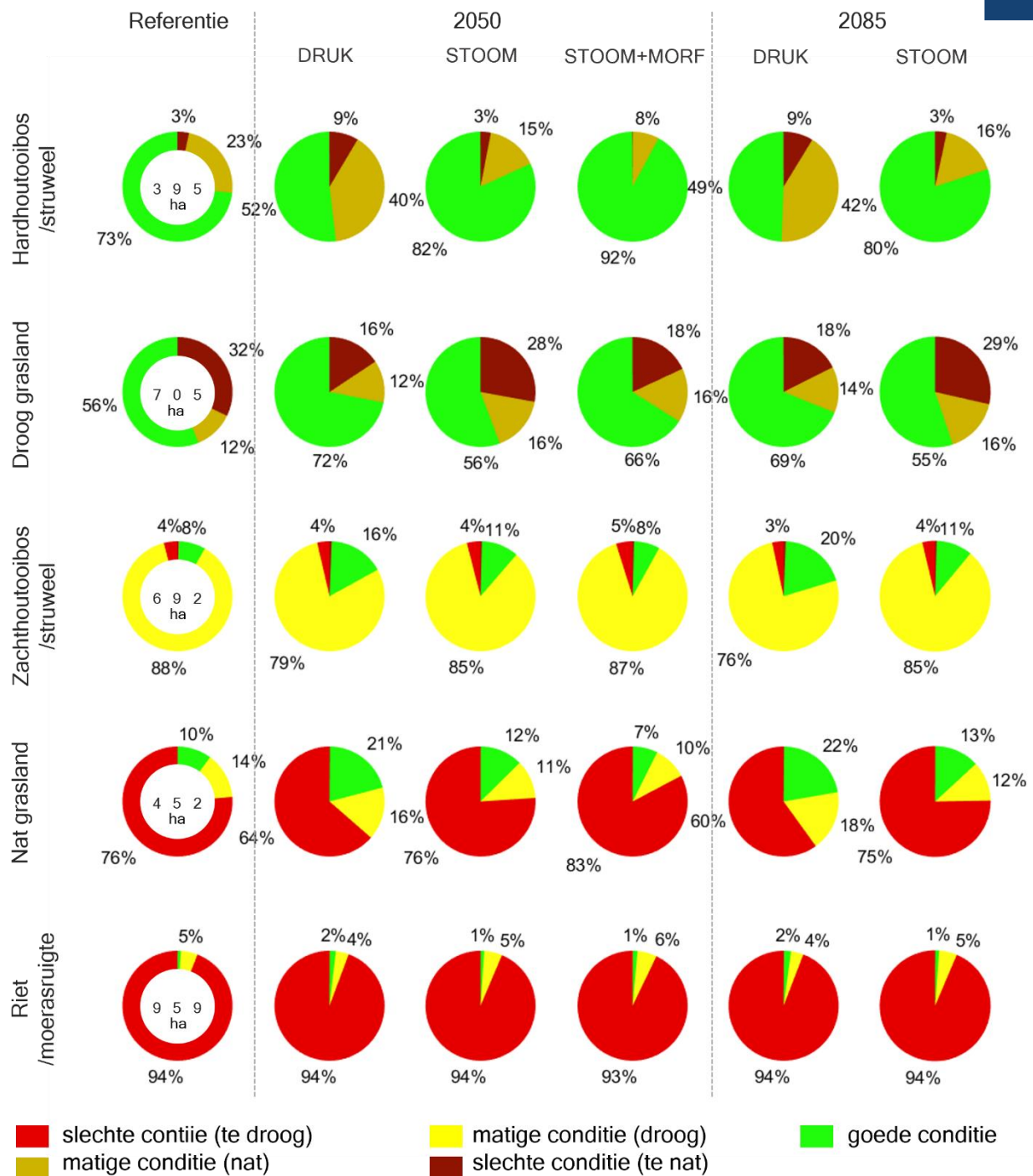
vanwege een overstromingstolerantie die nog lager is dan bij hardhoutoibossen en -struwelen. Droge graslanden in de scenario's Druk (matige klimaatverandering) 2050 en 2085 verbeteren sterk ten opzichte van het referentiescenario, met name door een verschuiving van areaal met te natte condities naar geschikte condities. In de Stoom scenario's blijven de condities vergelijkbaar, terwijl de toevoeging van grootschalige morfologische veranderingen zorgt voor een sterke verbetering ten opzichte van Stoom 2050.

- **Nat grasland**  
In tegenstelling tot de droge graslanden, hebben natte graslanden een overstromingstolerantie en gewenste grondwaterstanden vergelijkbaar met de zachthoutoibossen- en struwelen. Hierdoor verbetert de vochtigheidstoestand van een klein areaal aan nat grasland in Druk (matige klimaatverandering) 2050 en 2085. Een vrijwel even groot areaal krijgt echter te maken met te hoge grondwaterstanden. Terwijl voor de Stoom scenario's de conditie vrijwel gelijk blijft in vergelijking met het referentiescenario, zorgen de grootschalige morfologische veranderingen voor een verdere verdroging van de natte graslanden.
- **Riet/moerasruigte**  
Riet en moerasruigtes wensen de hoogste vochtigheidstoestanden van de ecotooptypen die zijn opgenomen in deze studie. Zij hebben een zeer hoge overstromingstolerantie en hebben eerder last van te lage waterstanden en verdroging. De vochtigheidsconditie van riet/moerasruigte is dan ook in ieder scenario voor vrijwel het gehele scenario te droog. Dit ecotooptype zou als gevolg hiervan kunnen verdwijnen als er niet wordt ingegrepen. Door de mate waarin dit ecotooptype reeds verdroogd is, heeft de doorgaande zomerbederosie weinig tot geen extra verdrogingseffect.

Over het algemeen komt er dus meer verdroging voor onder natte ecotooptypen, waarbij de mate hiervan toeneemt met een strenger klimaatscenario en bij toevoeging van grootschalige morfologische effecten. Dit terwijl deze ecotopen worden gezien als belangrijk en karakteristiek voor het Nederlandse rivierengebied. Voor de drogere ecotooptypen is de voorjaarsgrondwaterstand vrij nat. In tegenstelling tot de natte ecotopen, kunnen de negatieve effecten hiervan kan afnemen bij lagere gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden. Bij natte ecotooptypen is deze periode cruciaal voor ontkieming, welke bij te lage grondwaterstanden niet kan plaatsvinden. Hierdoor kunnen de effecten langere tijd aanhouden. Daarbij zijn grondwaterstanden over het algemeen het hoogste in het voorjaar, waardoor de grondwaterstanden in de zomer nog lager zullen zijn met verdroging van de natte vegetatie als gevolg.

Bij de interpretatie moet rekening gehouden worden met dat het hier gaat om de huidige standplaatsen van de ecotooptypen. Het verdwijnen van een ecotoop van een bepaalde locatie maakt mogelijk plaats voor een nieuwe ecotoop, terwijl zijzelf ergens anders zal opkomen. Dit is niet per definitie een slechte ontwikkeling. Bij toekomstig gebruik van deze methode zullen daarom altijd experts moeten worden betrokken voor de interpretatie van de resultaten. Daarbij is hier enkel gekeken naar grondwaterstanden. Andere aspecten, zoals bodemsoort, zijn buiten beschouwing gelaten, waardoor ook deze aspecten nog een extra limiterende factor kunnen vormen. Met name de hardhoutoibossen en -struwelen kunnen hier gevoelig voor zijn.





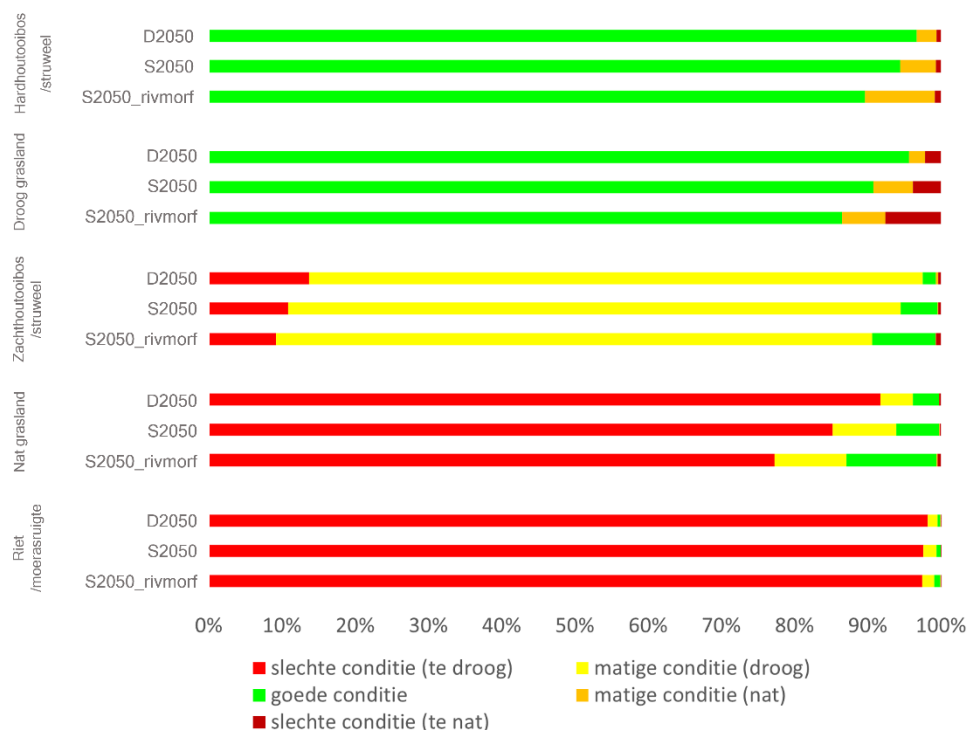
Figuur 11. Beoordeling van de grondwaterstanden per ecotooptype op hun huidige standplaats in de Gelderse Poort voor zes verschillende scenario's (in relatie tot de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstanden). Het totale areaal hardhoutooibos/struweel, zachthoutooibos/struweel, droog grasland, nat grasland en riet/moerasruigte komt overeen met 395, 692, 705, 452 en 959 ha, respectievelijk.

Figure 11. Assessment of the groundwater levels for ecotope types at their current location in the Gelderse Poort for six scenarios (in relation to the Mean Spring Groundwater Levels). The total acreage of hardwood forests/shrubs, softwood forests/shrubs, dry grasslands, wet grasslands and reeds/marshes are 395, 692, 705, 452 and 959 ha, respectively.



### 5.3 Haalbaarheid wensbeeld 2050

In het kader van de PAGW is een gewenste ecotoopverdeling voor zichtjaar 2050 samengesteld door Wageningen Environmental Research (WEnR) (zie 2.3.4). De haalbaarheid van dit wensbeeld is getoetst op basis van de verwachte vochtigheidstoestand in het gebied. Uit Figuur 12 blijkt dat voornamelijk natte ecotooptypen, zoals riet/moerasruigte en nat grasland, in het voorjaar een te lage grondwaterstand zullen hebben om goed te gedijen. Daartegenover staat dat de grondwaterstand relatief geschikt is voor drogere ecotooptypen (zoals hardhoutoibos/struweel en droog grasland). Dit geldt voor zowel het scenario Druk als Stoom, waarbij de laatste met name voor de natte en grondwaterafhankelijke ecotopen nadeliger uitpakt. Deze bevindingen komen overeen met het onderzoek van Van der Sluis et al. (2020), waarin wordt aangegeven dat er in de huidige vorm van het rivierengebied nauwelijks meer kans is op ontwikkeling van natte ecotooptypen, zoals nat grasland. Er is te weinig sprake van stabiele, ondiepe grondwaterstanden met kwelstromen en tijdelijke inundaties. Deze trend wordt versterkt door grootschalige morfologische veranderingen (S2050\_rivmorf). Riet/moerasruigten en nat graslanden verdrogen nog verder en slechts een klein areaal heeft grondwaterstanden die passen bij hun randvoorwaarden. Dit laat zien dat uiterwaarden in de Gelderse Poort steeds homogener lijken te worden, waarbij vochtigheidstoestand alleen nog toereikend zijn voor de ecotooptypen die baat hebben bij droge condities.



Figuur 12. Percentage van het areaal in het Wensbeeld voor 2050 waarvoor de condities als goed, (te) droog of (te) nat worden beoordeeld. S2050 en D2050 refereren naar de scenario's Stoom (zowel met als zonder grootschalige morfologische veranderingen) en Druk 2050.

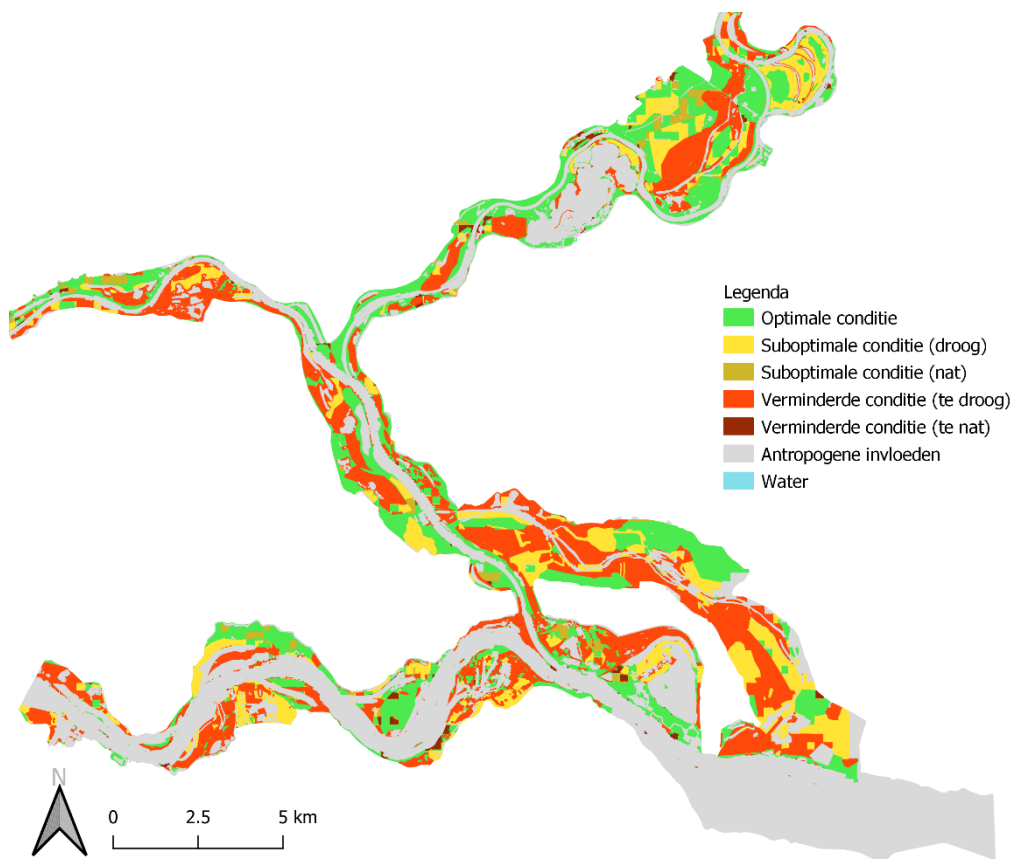
Figure 12. Percentage of the acreage in the vision for 2050 in which the conditions are considered sufficient, (too) dry or (too) wet. S2050 and D2050 refer to the scenarios Stoom (including and excluding large morphological changes) and Druk 2050.

In Figuur 13 is de beoordeling van de grondwatercondities met betrekking tot de invloed op terrestrische ecotooptypen weergegeven voor het scenario Druk 2050 (situatie zonder morfologische veranderingen). Het scenario Stoom 2050 wordt





buiten beschouwing gelaten vanwege de beperkte verschillen tussen de resultaten. De grootste nadelige effecten van dalende grondwaterstanden op natuur vinden plaats in de Rijnstrangen, Meinerswijk en de uiterwaarden rondom Nijmegen, zoals Buiten Ooij en de Stadswaard (voor locatie, zie Figuur 1). Dit zijn tevens gebieden waar in de afgelopen decennia meerdere natuurontwikkelingsprojecten hebben plaatsgevonden ten behoeve van het verbeteren van deze uiterwaardnatuur (Figuur 2). Voornamelijk in de Rijnstrangen is geïnvesteerd in de ontwikkeling van natte natuur, zoals (riet)moerassen, door een verhoging van het minimum waterpeil om verdroging tegen te gaan en de realisatie van nieuwe ondiepe plassen. Deze analyse laat zien dat er nader moet worden bekeken of er additionele ingrepen zouden moeten plaatsvinden om deze natuur ook in de toekomst te kunnen behouden. Naast het ontwikkelen van nieuwe uiterwaardnatuur is in deze gebieden dus vooral aan behoudsopgave van reeds ontwikkelde natuur.



*Figuur 13. Ruimtelijke beoordeling van de condities van ecotooptypen (GVG, in scenario Druk 2050) zoals gewenst volgens de PAGW Hotspot Analyse (Van der Sluis et al., 2020). De condities in scenario Stoom 2050 zijn soortgelijk.*

*Figure 13. Spatial assessment of the conditions of ecotopes (GVG, in scenario Druk 2050) as desired according to the PAGW Hotspot Analysis (Van der Sluis et al., 2020). Conditions in scenario Stoom 2050 are similar.*

## 5.4 Toekomstige locaties ecotooptypen

De grote nadelige gevolgen van klimaat- en morfologische veranderingen op de condities van zowel huidige als gewenste ecotoopverdeling zijn in de voorgaande paragrafen weergegeven. In aanvulling hierop is een toets uitgevoerd op welke locaties de verschillende ecotooptypen kansrijk zijn (Figuur 14). Hierbij is voor ieder

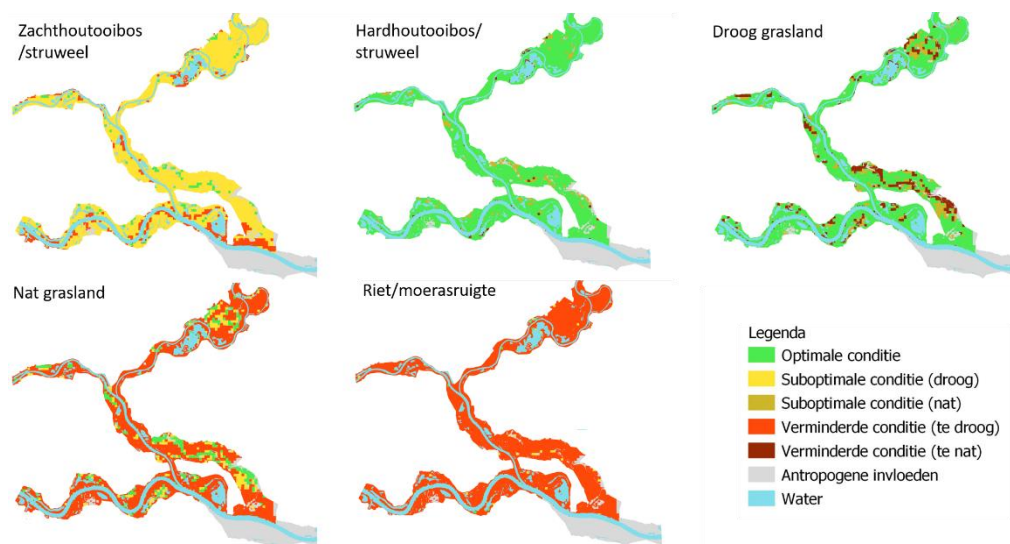


ecotooptype tijdelijk het gehele areaal aan terrestrische gronden toebedeeld aan het desbetreffende ecotooptype.

Voor het scenario Stoom 2050, waarin snelle klimaatverandering de belangrijkste drijfveer is, kunnen vrijwel alleen hardhoutooibos/struweel en droog grasland goed gedijen (Figuur 14). Dit is opvallend omdat de conditie van deze ecotooptypen op de huidige standplaats op de meeste plekken te nat is (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Dit duidt erop dat de drogere ecotooptypen zich beter kunnen ontwikkelen op een andere standplaats dan waar deze zich nu bevinden.

De Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstanden zijn voor zachthoutooibos/struweel suboptimaal over vrijwel de gehele Gelderse Poort en de nattere natuur (nat grasland en riet/moerasruigten) verdwijnt, op een aantal kleine gebieden na, volledig uit de Gelderse Poort als er niet wordt ingegrepen. Dit versterkt het beeld dat hierboven al wordt geschetst. Het is hierbij belangrijk te onthouden dat grootschalige morfologische veranderingen hier niet in zijn meegenomen. De doorgaande zomerbedverlaging zal hierdoor nog een extra verdrogingseffect hebben op de verdrogende ecotooptypen.

Er is hier slechts gekeken naar het effect van grondwaterstanden op de condities van ecotooptypen. Andere belangrijke aspecten, zoals bodemsoort, zijn buiten beschouwing gelaten en kunnen een extra limiterende factor vormen. Met name het areaal aan hardhoutooibossen en -struwelen kan hierdoor worden verkleind.



Figuur 14. Beoordeling van de geschiktheid van toekomstige grondwaterstanden (GVG, scenario Stoom 2050) voor ecotooptypen in de Gelderse Poort, waarbij de nadruk ligt op kansrijkheid van mogelijke toekomstige standplaatsen voor verschillende ecotooptypen in de Gelderse Poort, gebaseerd op GVG en Stoom 2050.

Figure 14. Assessment of the suitability of future ground water levels (GVG, scenario Stoom 2050) for ecotopes in the Gelderse Poort. Based on this, the chance on ecological development of ecotopes and possible future locations for different ecotope types can be estimated.

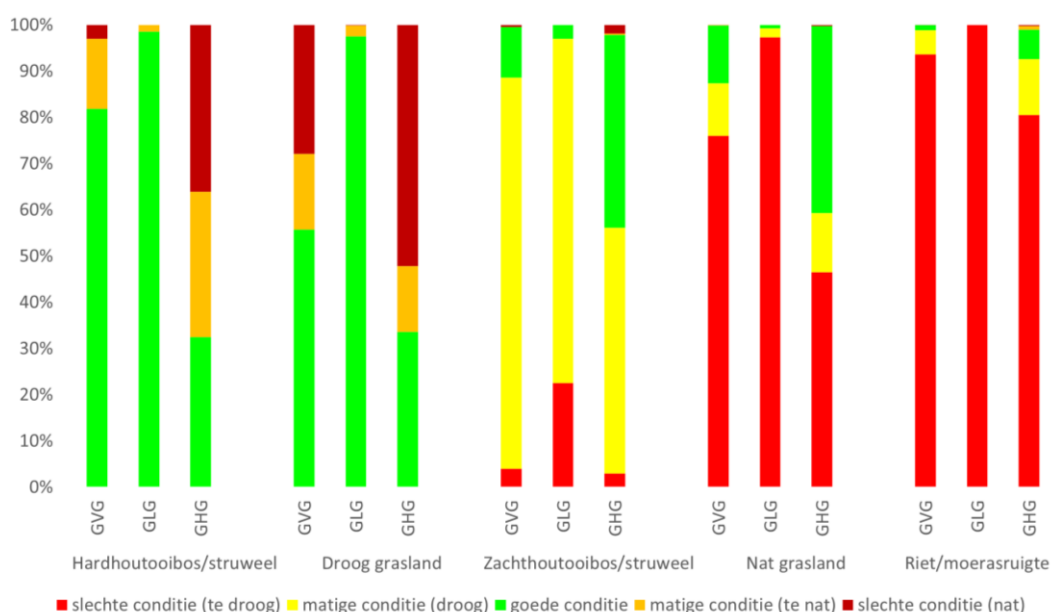
## 5.5 Verschillen GVG, GHG en GLG

Aanvullend op de GVG zijn ook de GLG en GHG doorgerekend voor ieder scenario. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geeft de conditie van de verschillende ecotopen weer, gebaseerd op GVG, GLG en GHG voor het scenario Stoom 2050. Waar de GVG een maat aangeeft voor de grondwaterstanden in het voorjaar, zijn de



GLG en GHG karakteristiek voor het gehele hydrologische jaar (1 april - 31 maart). Uit de figuur blijkt dat vochtigheidscondities voor een groot areaal hardhoutooibos/struweel toereikend zijn, terwijl de GHG relatief nat is. Ditzelfde geldt, echter in een mindere mate, voor de droge graslanden. Daarnaast zorgt de GHG voor kleine verbetering aan condities voor riet/moerasruigte in vergelijking met de GVG. Echter kan de lage GVG ertoe leiden dat dit ecotooptype al nauwelijks tot ontwikkeling komt. De natte graslanden volgen eenzelfde trend. Waar de GVG relatief droog is voor zachthoutooibos en -struweel, is de GHG geschikter voor dit ecotooptype.

Alleen voor de droge ecotooptypen zijn de condities van alle GxG's relatief toereikend. Voor de andere ecotooptypen is dit nauwelijks tot niet het geval. Zolang er één karakteristiek niet optimaal is, zal een ecotooptype niet meteen verdwijnen. Dit is afhankelijk van de (lengte van de) periode waarin deze condities zich voordoen. Echter kan langdurige blootstelling aan suboptimale of slechte condities de verdwijning van ecotooptypen als gevolg hebben.



Figuur 15. Beoordeling van de GLG, GHG en GVG randvoorwaarden ten opzichte van de gestelde voorwaarden door ecotooptypen op hun huidige standplaats in de Gelderse Poort in scenario Stoom 2050.

Figure 15. Assessment of the GLG, GHG and GVG boundary conditions of the ecotope types in relation to the desired conditions of ecotopes at their current location in the Gelderse Poort for scenario Stoom 2050.

Indien gebruik wordt gemaakt van de GLG of GHG in plaats van de hier gebruikte GVG, zouden de resultaten deels afwijken van de hierboven beschreven resultaten. De mate waarin grondwaterstanden wel of niet voldoen aan de gewenste randvoorwaarden varieert tussen de GLG, GHG en GVG. Echter zou de algemene trend, waarbij condities te droog zijn voor natte ecotopen en vice versa, vergelijkbaar blijven met de huidige uitkomsten. Aanvullend onderzoek is noodzakelijk om te bepalen welke karakteristieke waarde limiterend is voor ieder ecotooptypen, zodat nauwkeuriger kan worden bepaald voor welk areaal grondwaterstanden niet toereikend zijn. Er kan dan ook op kleinere schaal worden beoordeeld of de vochtigheidsconditie overeenkomt met de limiterende gewenste randvoorwaarden.





## 6 Discussie

### Samenvatting

Aan de hand van de resultaten komen de volgende punten naar voren:

- Op basis van de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstanden zullen met name de natte ecotootypen verdrogen en uiteindelijk verdwijnen uit de Gelderse Poort;
- De haalbaarheid van het ideaalbeeld voor 2050 is daarom voor de natte graslanden en riet/moerasruigte klein;
- Een verslechtering van een ecotootype kan leiden tot het verdwijnen van dit type, waarna een ander ecotootype hier kan ontstaan. Dit is niet per definitie een slechte verandering, maar zal moeten worden beoordeeld door een expert;
- De gestelde randvoorwaarden zijn een eerste aanzet tot een raamwerk waarmee de conditie van (terrestrische) natuur kan worden beoordeeld. De randvoorwaarden zullen daarom verder moeten worden onderzocht en aangescherpt middels aanvullend onderzoek;
- Een verfijning van het raster met een discretisatie van 25 x 25 m in plaats van 250 x 250 m is gewenst in verband met het vergroten van de nauwkeurigheid;
- Het gebruiken van scenario's brengt onzekerheden met zich mee. Het wordt daarom aangeraden deze analyse opnieuw uit te voeren wanneer de meest recente Deltascenario's beschikbaar zijn;
- Deze methode kan worden uitgebreid met de aquatische ecotootypen en doelsoorten, en inundatieduur;
- Een (kleine) verandering in de randvoorwaarden leidt tot een lichte verandering in de beoordeling van ecotootypen. De trend waarin natte ecotootypen verdrogen en condities geschikter zijn voor droge vegetatie blijft echter sterk aanwezig.

In dit hoofdstuk worden de resultaten verder besproken. Allereerst volgt er een interpretatie van de resultaten (6.1), waarna de implicaties hiervan voor nationaal waterbeheer worden besproken in 6.2. Hierna volgt een uiteenzetting van de beperkingen en consequenties van aannames (6.3) en een korte analyse van de sensitiviteit van het systeem voor de gekozen randvoorwaarden (6.4).

### 6.1 Interpretatie van de resultaten

In de huidige situatie (referentie scenario) is een groot areaal aan natte ecotootypen (natte graslanden, riet en moerasruigten) reeds verdroogd. Daarnaast zijn de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstanden voor de drogere ecotootypen (droge graslanden, hardhoutoibossen en -struwelen) veel geschikter, terwijl de conditie van zachthoutoibossen en -struwelen zich hier tussenin bevindt. Op basis van de GVG zal voornamelijk de nattere natuur verder verdrogen in de komende decennia. Drogere zomermaanden zullen dit proces versterken. Deze bevindingen zijn in overeenkomst met eerder onderzoek (Van Geest, 2020; Dorland et al., 2017, Van der Sluis et al., 2020). De haalbaarheid van het ideaalbeeld voor de ecotopenverdeling in 2050 is daarom voornamelijk voor de natte ecotootypen een



uitdaging. Ingrepen zijn noodzakelijk om deze kwetsbare en karakteristieke riviernatuur te behouden.

Over het algemeen zijn de verschillen tussen de scenario's met zichtjaren 2050 en 2085 klein. Dit impliceert dat de situatie met betrekking tot de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden in uiterwaarden relatief gelijk blijft na 2050, wat het gevolg is van hogere rivierwaterpeilen in het voorjaar en lagere in de zomer. Tussen de scenario's (Druk, Stoom en Stoom met morfologische veranderingen) in eenzelfde zichtjaar zijn de verschillen groter.

Hieruit volgt over het algemeen dat de conditie voor de meeste ecotooptypen verbetert in het geval van matige klimaatverandering (scenario Druk) door de relatief kleine veranderingen in de voorjaarsgrondwaterstanden. Enkel voor de hardhoutooibossen maakt een areaal aan goede condities plaats voor sub-optimale condities. Daar tegenover staat dat de conditie met sterke/snelle klimaatverandering vergelijkbaar is met de huidige staat van de ecotooptypen, terwijl deze voor de natte ecotooptypen (nat grasland en riet- en moerasruigte) sterk verminderd wanneer hier grootschalige morfologische veranderingen (zomerbederosie) aan wordt toegevoegd. Zomerbederosie heeft hierdoor een grote invloed op de conditie van deze ecotooptypen dan de veranderingen in voorjaarsgrondwaterstanden door klimaatveranderingen. Dit is met name het geval doordat klimaatverandering hogere voorjaarsgrondwaterstanden en lagere zomerwaterstanden induceert. Lage waterstanden in de zomermaanden kunnen hierdoor alsnog extra verdroging toevoegen in de toekomstscenario's. Met name de hardhoutooibossen en – struwelen profiteren van drogere condities door zomerbederosie, terwijl riet- en moerasruigten reeds al sterk verdroogd zijn.

In de interpretatie moet rekening gehouden worden met de successie van vegetatiestructuren en ecotooptypen. Zo kan een verslechtering van een bepaald ecotooptype leiden tot het verdwijnen van dit ecotooptype, waarna een ander ecotooptype hier kan ontstaan. Dit is niet per definitie een slechte verandering. Echter lijken de huidige trends te duiden op structurele verdroging, waardoor het areaal aan dynamische, semi-natte natuur lijkt te verdwijnen (Van Heusden et al., 2021). Deze natuur wordt juist gezien als karakteristiek voor het rivierengebied en daardoor van grote waarde voor de Nederlandse natuur (Zuidhof et al., 2019 & Van der Sluis et al., 2020). Het is hierom van belang ecologen en vegetatiekundigen actief te betrekken bij de beoordeling van de uitkomstenkaarten, zodat er ook vanuit een deskundig oogpunt wordt gekeken naar de betekenis van de veranderingen.

## 6.2 Implicaties voor nationaal waterbeheer

De trends en ontwikkelingen die voortkomen uit deze rapportage bieden uitdagingen voor de natuuropgaven zoals vastgesteld in de PAGW. Met de PAGW wordt gestreefd naar een ecologisch en robuust ecosysteem met een grote en toenemende verscheidenheid (Van Heusden et al., 2021). Om dit te bereiken zijn er vijf sleutelfactoren opgesteld, waarmee deze natuuropgave kan worden vormgegeven; schaal, dynamiek, habitatkwaliteit, habitatdiversiteit en connectiviteit. De hierboven gepresenteerde resultaten laten zien dat klimaatverandering en bodemerosie negatieve effecten hebben op meerdere sleutelfactoren. Het areaal aan typische uiterwaarden en overstromingsvlakten (Schaal) neemt af als gevolg van lagere waterstanden en het gebrek aan langdurige inundaties. Een steeds groter gedeelte van het buitendijkse gebied zal hierdoor minder kenmerken vertonen van een typische overstromingsvlakte uit het Nederlandse rivierengebied. Dit zorgt er tevens voor dat er steeds minder dynamiek plaatsvindt in de uiterwaarden van de Gelderse Poort. Inundatiefrequentie en -periodes nemen af, de timing van inundatie wordt minder gunstig voor de ontwikkeling van vegetatie (eerder in het jaar in plaats van tijdens de ontkiemingsfase) en de periode van droogval neemt toe. Daarbij komt dat de natuurlijke gradiënten in reliëf en de variatie in substraat en vegetatiestructuur



afneemt in verband met een kleine hoeveelheid sedimentatie en niet optimale vochtigheidscondities. De uitkomsten van dit onderzoek laten zien dat uiterwaarden inderdaad steeds homogener worden, mede als gevolg van menselijke ingrepen, waarbij de vochtigheidstoestand voor natte ecotootypen te droog is en voor droge ecotootypen te nat. Hoewel dit in de huidige situatie al het geval is, wordt deze trend verder versterkt door toekomstige ontwikkelingen in klimaat en riviersysteem. Als laatste kan de verdroging van ecotootypen leiden tot een vermindering van de (variatie in) connectiviteit tussen gebieden. Leefgebieden kunnen versnipperen als gevolg van het verdwijnen van specifieke ecotootypen uit delen van een uiterwaard. Fauna dat afhankelijk is van deze ecotootypen zal steeds meer moeite hebben en steeds grotere afstanden moeten afleggen om geschikt leef- of foerageergebied te kunnen vinden. Soorten kunnen hierdoor verdwijnen en de stabiliteit van het voedselweb wordt op de proef gesteld, omdat deze gebaseerd is op een variatie in soorten waarvoor een regelmatige tijdelijke inundatie en de toevoer van organisch materiaal en nutriënten van belang zijn (Elton, 2001; Junk & Wantzen, 2004). Als gevolg van deze effecten kunnen de doelen van de PAGW in het gedrang komen als er geen verdere ingrepen plaatsvinden ten behoeve van het tegengaan van zomerbederosie en verdroging. Aanvullend onderzoek moet aantonen welke mate van zomerbedverlaging acceptabel is voor het voortbestaan en ontwikkelen van alle ecotootypen, zowel de natte als de droge varianten.

Dit aanvullende onderzoek is daarom ook cruciaal voor de Basis Rivierbodem Ligging (BRL), en daarmee ook het Integraal Rivier Management (IRM), waarin wordt bepaald welke minimale en maximale rivierbodempligging aanvaardbaar is voor alle systeemgebruikers (o.a. scheepvaart, waterveiligheid, natuur en recreatie). In de context van natuur in uiterwaarden geldt dat een zomerbedverlaging van 1-2 m in het rivierengebied nadelig uitpakt voor het grootste gedeelte van het areaal natuur. Aangezien een groot areaal aan natte ecotootypen reeds verdroogd is, is het aannemelijk dat iedere daling van het zomerbed ten opzichte van de huidige situatie zal zorgen voor een verdere verdroging van de natte ecotootypen, welke juist karakteristiek en waardevol zijn in het rivierengebied. De exacte effecten moeten echter nader worden onderzocht. Sterke klimaatverandering, zoals in de scenario's Stoom, zullen echter zorgen voor lagere waterpeilen in de zomer en hogere waterpeilen in het voor- en najaar. Dit compliceert de mate waarin zomerbederosie kan worden toegelaten. In de zomer zal een hogere rivierbodempligging moeten voorkomen dat ecotootypen volledig verdrogen, terwijl een kleine mate van erosie kan worden toegelaten in het geval van hoge peilen in het voor- en najaar. Indien mogelijk, wordt aangeraden de rivierbodempligging zo hoog mogelijk te houden als dat toegelaten kan worden in verband met andere rivierfuncties. Het terugbrengen van de ligging naar een historische staat zou hierbij kunnen zorgen voor herstel van het systeem. Echter zal aanvullend onderzoek dit moeten uitwijzen.

Bovenstaande implicaties hebben ook effect op het Integraal Rivier Management (IRM) aangezien uitkomsten van de PAGW en de BRL meegenomen dienen te worden in dit programma. De verschillende opgaven (waterveiligheid, bevaarbaarheid, zoetwaterbeschikbaarheid, waterkwaliteit en natuur) waar het IRM zich op een duurzame manier mee bezighoudt, vraagt om een gemeenschappelijke aanpak. Dit onderzoek wijst uit dat de dalende grondwaterstanden als gevolg van klimaatverandering en bodemerosie vergaande gevolgen heeft voor natuuropgaven in het rivierengebied. Uiterwaarden worden steeds homogener, met als gevolg dat reeds ontwikkelde natuur in de toekomst mogelijk zal verdrogen, wat zal leiden tot een vernietiging van het geïnvesteerde kapitaal. Hiermee stijgt de urgentie voor natuurbehoud, -beheer en -ontwikkeling in het rivierengebied. Waar waterveiligheid, bevaarbaarheid en zoetwaterbeschikbaarheid regelmatig de overhand hebben in beleidsvraagstukken, dient natuur eerder meegenomen te worden in het proces om de kansrijkheid van, met name natte, natuur in de uiterwaarden te vergroten. Zomerbedverhoging, gerichte maaiveldverlaging en slim waterbeheer (zoals vasthouden van water d.m.v. inlaatwerk) zijn mogelijkheden om deze kansen te vergroten. Regelmatige inundatie van uiterwaarden zal daarnaast kunnen zorgen voor een tijdelijke verhoging van de grondwaterstand, terwijl dit tegelijkertijd gunstig is voor het versterken van het voedselweb.

### 6.3 Beperkingen en consequenties van aannames





### 6.3.1 *Randvoorwaarden*

De gestelde hydrologische randvoorwaarden zijn gebaseerd op soortgelijke vegetatieclassificaties, zoals de Natura 2000 habitattypen, Beheertypen en classificaties op basis van plantenassociaties. Deze zijn vervolgens beoordeeld en aangepast in een werksessie met vegetatiekundigen en ecologen. Deze randvoorwaarden moeten echter worden gezien als een eerste aanzet en dient in de toekomst verder onderzocht te worden, indien mogelijk met een wetenschappelijk onderlegde basis.

In relatie tot ecotopen en natuurontwikkeling is de meest gebruikte parameter, Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG), met name gericht op de ideale condities gedurende het kiem- en groeiseizoen van uiterwaardvegetatie. Omdat de condities in deze perioden bepalend zijn voor de ontwikkeling van een plant, werd dit lang gezien als de belangrijkste parameter voor natuureffectbepaling. Echter leidt de verwachte daling en grotere variatie in grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen tot een verschuiving van deze focus naar verdroging van natuur. In het kader hiervan zullen andere parameters, zoals de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG), droogtestress en transpiratiestress, mogelijk belangrijker worden. Gegevens over de gewenste condities van ecotooptypen en vegetaties in relatie tot deze parameters is tot op heden beperkt. Om deze reden ligt er in dit onderzoek de focus op de GVG en in mindere mate op de GLG en droogtestress. Zodra er meer data en informatie beschikbaar komt over deze randvoorwaarden, zou er kunnen overwogen om de methode uit te breiden met andere parameters. Vervolgens kan dan de meest limiterende factor per ecotooptype worden bepaald.

### 6.3.2 *Bepaling grondwaterstanden*

De grondwaterstanden zijn berekend in het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) op een raster van 250 x 250 m. Deze grootte resulteert in onnauwkeurigheid en zijn daardoor te groot voor een goede weergave van de condities van ecotooptypen. Dit is echter een verbetering ten opzichte van voorgaande onderzoeken, waarbij een één-op-één relatie werd aangehouden tussen rivierwaterstand en grondwaterstanden in uiterwaarden. Hoewel deze waterstanden elkaar wederzijds beïnvloeden, heeft de hoeveelheid klei in uiterwaarden een grote invloed op het uitzakken en vasthouden van water. De afstand van de rivier is daarom een belangrijke factor voor het bepalen van de grondwaterstand in uiterwaarden. Figuur 16 weergeeft de rivierwaterstanden en grondwaterstanden bij twee peilbuizen bij Pannerden. Dit laat zien dat de grondwaterstanden dichtbij de rivier (100 m) soms tot twee meter verschillen met de rivierwaterstand, terwijl de grondwaterstanden verder van de rivier tot vier meter lager kunnen uitvallen. In beide gevallen wordt de grondwaterstand op deze manier ook regelmatig onderschat met één tot twee meter. In tegenstelling tot deze methode neemt een model deze afstand tot de rivier wel mee in de berekeningen. Ondanks de relatief grote raster cellen kan de methode uiteengezet in deze rapportage een eerste beeld geven van de conditie van ecotooptypen in uiterwaarden. De nauwkeurigheid kan in de toekomst worden verbeterd door het gebruiken van een model met kleinere grid cellen, zoals regionale in plaats van nationale grondwatermodellen (MORIA<sup>7</sup> voor het rivierengebied).

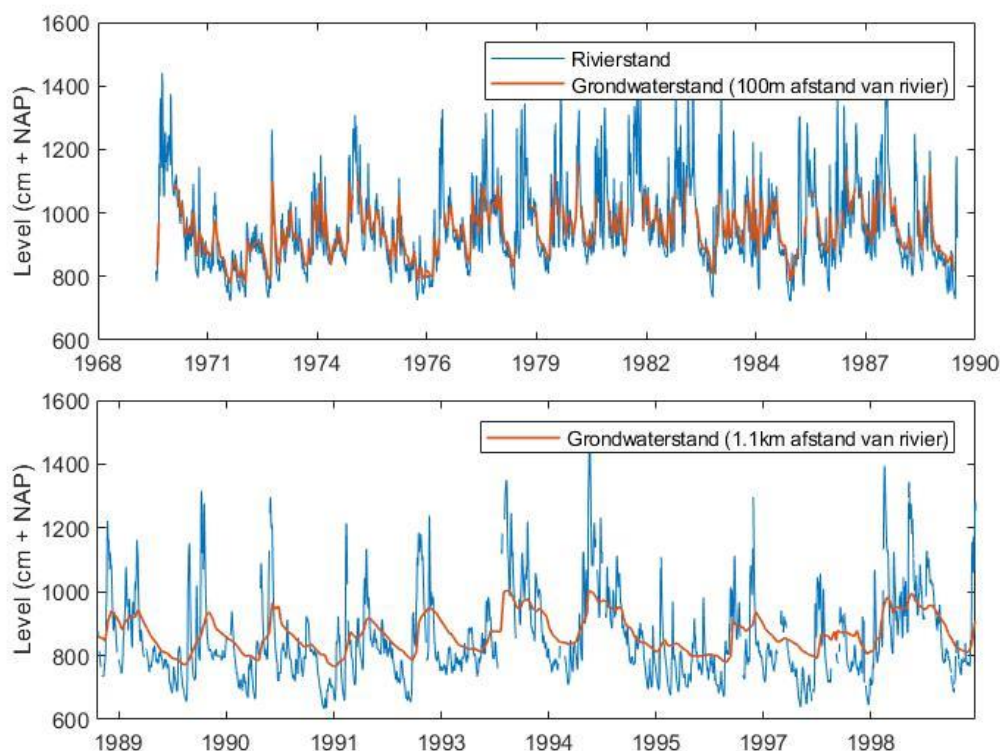
Het is hierbij van belang om te realiseren dat de impact van hydrologische events, zowel droogte als overstromingen, op het ecologisch functioneren van uiterwaarden niet enkel de som is van de effecten van individuele events, maar dat de volgorde van deze events moet worden meegewogen (Miao et al., 2019). De frequentie en intensiteit van opeenvolgende hydrologische condities bepalen daarom samen de impact op de natuur. Doordat modellen doorgaans meerdere variabelen en daarmee

<sup>7</sup> <https://oss.deltares.nl/nl/web/imod/moria-showcase>





events mee laten wegen, is deze methode geschikter om grondwaterstanden in uiterwaarden te benaderen dan een één-op-één relatie zoals hierboven beschreven.



*Figuur 16. Grondwaterstanden en rivierwaterstanden bij Pannerden, waarbij de afstanden van de peilbuizen een afstand tot de rivier hebben van 100 m en 1,1 km, respectievelijk.*

*Figure 16. Groundwater levels and river water levels near Pannerden, where the distance between the monitoring well and the river is 100 m and 1.1 km, respectively.*

### 6.3.3 Deltascenario's

Het gebruiken van scenario's brengt altijd een mate van onzekerheid met zich mee. De KNMI klimaatscenario's waar de Deltascenario's grotendeels op zijn gebaseerd worden in 2023 vernieuwd. Er wordt hierin dan rekening gehouden met de nieuwe ontwikkelingen sinds de uitgave van de KNMI'14 scenario's, zoals het sluiten van het Klimaatakkoord van Parijs in 2015 en nieuwe wetenschappelijke inzichten, zoals beschreven in IPCC AR6. Grootste veranderingen zullen zijn in de bandbreedtes van wereldwijde opwarming en verandering van luchtstromingspatronen als gevolg van de mate waarin de doelen van het Klimaatakkoord zullen worden behaald. Het wordt aangeraden de analyse in deze rapportage opnieuw uit te voeren zodra de vernieuwde klimaatscenario's zijn opgenomen in de Deltascenario's.

### 6.3.4 Uitbreiding van de methode

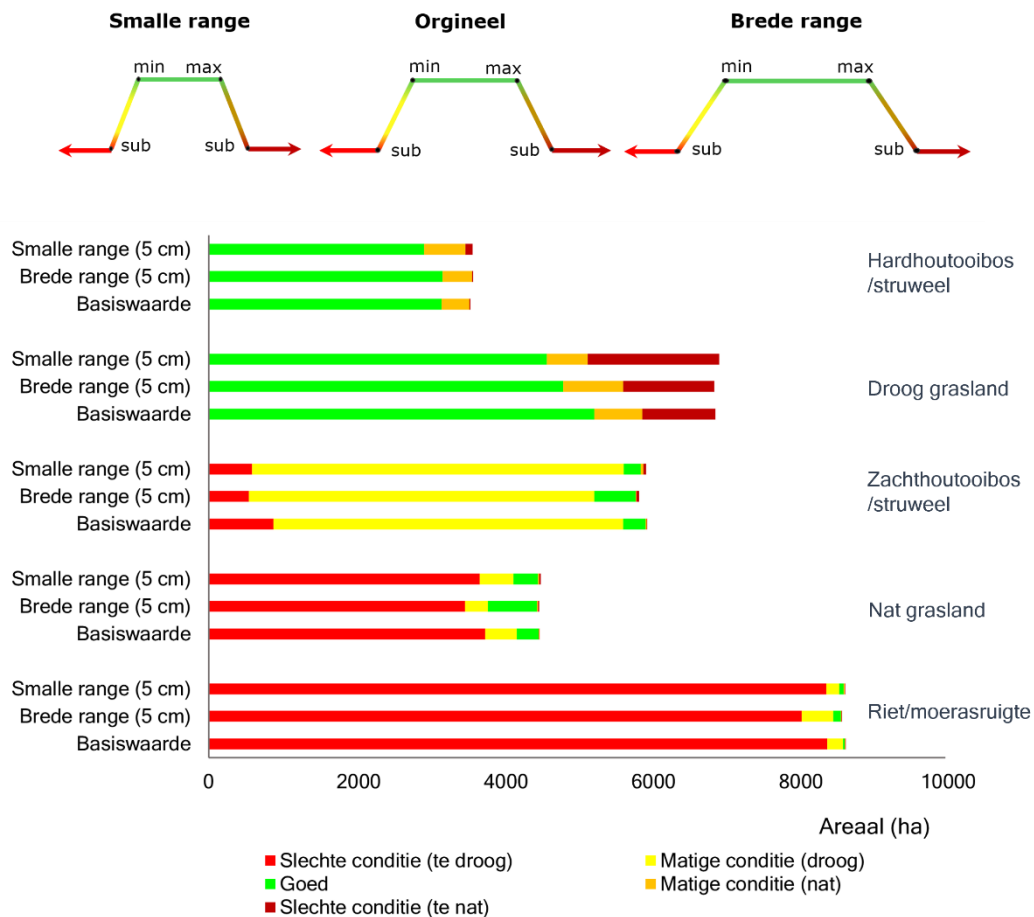
Inundatie van overstromingsvlakten hebben een ophogend effect op de grondwaterstanden en kan positief bijdragen aan het bereiken van een gezond voedselweb (Junk & Wantzen, 2004; Winemiller, 2004). Inundatieduur en -frequenties worden sterk beïnvloed door antropogene belangen en beleidskeuzes ten aanzien van hoogwaterveiligheid (Kurstjens et al., 2020). Deze effecten zijn daarom in de analyse van dit onderzoek nog niet meegenomen, maar zullen moeten worden toegevoegd voor een volledig beeld van het ecologisch functioneren van uiterwaarden. Daarnaast kan een effectbepaling op aquatische natuur worden



toegevoegd om een volledig beeld te krijgen van het gehele gebied. Hiervoor kan de Natureffectmodule Aquatisch (Van Geest, 2019) als een startpunt dienen.

## 6.4 Sensitiviteit voor gekozen randvoorwaarden

De gestelde randvoorwaarden zijn een eerste aanzet voor een raamwerk waarmee de effecten van veranderingen in het klimaat of het riviersysteem kan worden bepaald. Er wordt verwacht dat deze voorwaarden op ongeveer 10 cm nauwkeurig zijn vastgesteld. Een analyse is uitgevoerd om te bepalen in welke mate de nauwkeurigheid van de ingevoerde randvoorwaarden heeft op de resultaten uit deze rapportage. Hiervoor is de range van de randvoorwaarden verbreed en versmalt met in totaal 10 cm (5 cm aan zowel de boven- als de ondergrens). Bij de verbreding zijn de (sub)minimale gewenste grondwaterstanden, zoals aangeduid in Tabel 4, verder verlaagt terwijl de (sub)maximale gewenste grondwaterstanden zijn verhoogd (. Het tegenovergestelde geldt voor de versmalling van de range. Figuur 17 geeft, naast een visualisatie van de hierboven beschreven ranges, de verschillen in beoordeling van de grondwatercondities van zowel de aangepaste ranges en de originele range in het referentiescenario weer.



Figuur 17. Visualisatie van de ranges; smal, origineel en breed (boven) en een beoordeling van de grondwaterstand (GVG) voor licht afwijkende randvoorwaarden in het referentiescenario (onder). De ingevoerde randvoorwaarden per ecotooptype zijn 10 cm verbreed en versmalt; 5 cm aan de onderzijde en 5 cm aan de bovenzijde. De basiswaarde refereert naar de originele ingevoerde randvoorwaarden.

Figure 17. Visualisation of the ranges; narrow, original and wide (above), and a assessment of the ground water levels (GVG) for slightly deviating input boundary conditions in the reference scenario (below). The range of the boundary conditions are 10 cm widened and narrowed; 5 cm at the lower boundary and 5 cm at the upper boundary. The 'basiswaarde' (base level) refers to the original boundary conditions.



Uit de figuur blijkt dat kleine verschillen optreden bij zowel de verbreding als de versmalling van de ingevoerde randvoorwaarden. Bij de hardhoutooibossen en -struwelen verbetert de conditie licht, waarbij te hoge grondwaterstanden plaatsmaken voor meer (sub)optimale condities bij voornamelijk kleinere ranges aan randvoorwaarden.

In het geval van bredere randvoorwaarden bij zachthoutooibossen en -struwelen worden grondwaterstanden relatief wat hoger, terwijl smallere randvoorwaarden juist zorgen voor een flinke verbetering van de conditie.

De grootste verschillen zijn zichtbaar in het areaal van de droge graslanden. Zowel een bredere als een smallere range aan randvoorwaarden verbetert de conditie van droge graslanden relatief sterk.

Voor de riet/moerasruigtes en natte graslanden blijft de situatie soortgelijk; het grootste gedeelte van het areaal is sterk verdroogd. Echter verslechteren de grondwaterstanden voor riet- en moerasruigten bij een kleinere range aan gewenste condities, terwijl dit bij de natte graslanden juist geldt voor de grotere range. Voor natte graslanden lijken grondwaterstanden daarom relatief snel te hoog te worden.

Hoewel de kansrijkheid van ecotooptypen gebaseerd op de bijbehorende grondwaterstanden verschillen toont tussen de afwijkende randvoorwaarden en de randvoorwaarden zoals gedefinieerd in dit rapport, blijft de algemene trend soortgelijk. De natte ecotooptypen verdrogen terwijl de grondwaterstanden in het grootste gedeelte van het areaal te hoog blijft voor de droge ecotooptypen. Toch is het van belang om de gestelde randvoorwaarden verder te onderzoeken en verfijnen, zodat er in de toekomst nauwkeurigere analyses kunnen worden uitgevoerd.





## 7 Conclusie en aanbevelingen

In dit rapport zijn de hydrologische en hydraulische randvoorwaarden van ecotooptypen en soortengroepen, zowel terrestrisch als aquatisch, in uiterwaarden uiteengezet. Aanvullend hierop is voor de terrestrische ecotopenverdeling in (1) de huidige situatie en (2) het wensbeeld voor 2050 (Van der Sluis et al., 2020) een verkenning uitgevoerd van de effecten van veranderende grondwaterstanden op de ecotopen in uiterwaarden van de Gelderse Poort.

### 7.1 Relevante abiotische condities

*Welke abiotische condities – specifiek hydrologische en hydraulische omstandigheden – zijn bepalend voor het duurzaam ecologisch functioneren van natuur in buitendijkse gebieden?*

Vanwege de nadruk op de terrestrische ecotooptypen worden de aquatische soorten hier achterwege gelaten. De Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG), Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) en inundatieduur worden gezien als de belangrijkste karakteristieken die invloed hebben op de vochtigheidstoestand en daarmee conditie van terrestrische ecotooptypen. De GVG is hierbij van betekenis voor de ontkiemings- en ontwikkelingsfase en de GLG en GHG zijn karakteristiek voor de grondwaterdynamiek door het jaar heen. Deze laatste twee zijn een maat voor verdroging en zullen in de toekomst steeds belangrijker worden geacht voor de leefbaarheid van ecotooptypen. Echter is er momenteel beperkte data beschikbaar over de gewenste randvoorwaarden van soorten in relatie tot deze karakteristieken. Om deze reden maakt dit rapport voornamelijk gebruik van de GVG om de effecten van vochtigheidstoestand op ecotooptypen te benaderen. Een verdere verdieping van de randvoorwaarden kan er in de toekomst toe leiden tot de GLG en GHG ook meegenomen kunnen worden in de analyse. Overige standplaatsaspecten, zoals bodemsoort, zijn buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek en kunnen een additionele limiterende factor zijn.

### 7.2 Aanwezigheid randvoorwaarden en de invloed van grootschalige processen

*Welke invloed hebben toekomstige processen (klimaatverandering, bodemerosie) op de kansrijkdom van terrestrische ecotooptypen gebaseerd op hun randvoorwaarden?*

Uit de analyse is voortgekomen dat er grote verschillen zijn tussen ecotooptypen, afhankelijk van de gevoeligheid voor de vochtigheidstoestand. De meest relevante ecotooptypen kunnen hierdoor grofweg worden ingedeeld in natte (nat grasland en riet/moerasruigte) en droge natuur (hardhoutooibos/struweel en droog grasland) met alleen zachthoutooibos/struweel in een gematigde positie. Van met name de natte ecotooptypen kan een aanzienlijk areaal sterk verdrogen indien er niet wordt ingegrepen op de dalende rivierbodem. De drogere condities zijn geschikter voor de droge ecotooptypen, waarbij vooral de hardhoutooibossen en -struwelen goed gedijen bij toekomstige vochtigheidstoestanden. Dit onderschrijft dat morfologische veranderingen, waaronder de zomerbedverlaging, een grote invloed hebben op de grondwaterstanden in uiterwaarden en daarbij ook op de condities van ecotooptypen.

Door bovenstaande trends kunnen de natuuropgaven zoals vastgesteld in de PAGW in het gedrang komen. Een vermindering van inundatiefrequenties en -periodes, een daling in grondwaterstanden en de daaropvolgende verdroging van natte ecotooptypen hebben een negatief effect op de schaal, dynamiek, habitatdiversiteit



en connectiviteit van natuurgebieden in de Gelderse Poort. In het kader van de Basis Rivierbodempligging (BRL) betekent dit dat de huidige rivierbodem zo veel mogelijk moet worden behouden of mogelijk worden teruggebracht naar een historische staat. Een verdere daling van het zomerbed ten opzichte van de huidige situatie zal zorgen voor een verdroging van de natte ecotooptypen, welke juist karakteristiek en waardevol zijn voor natuurontwikkeling in het rivierengebied. Dit geldt in ieder geval voor de verwachte trend met een bodemdaling van maximaal 1 m in het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek, en een bodemdaling van maximaal 1-2 m in de Bovenrijn en Waal. De effecten van een minder sterke bodemdaling op de conditie van riviernatuur zal in nader onderzoek verder moeten worden bekeken. Op basis van een dergelijk onderzoek kan worden bepaald welke rivierbodempligging minimaal moet worden aangehouden voor het vergroten van de kansrijkheid van natte terrestrische ecotooptypen. Aanvullende maatregelen, zoals gedeeltelijke uiterwaardafraving en het vasthouden van water middels sluizen, ondersteunen de plaatsing van de rivierbodem en zijn noodzakelijk om de Nederlandse uiterwaardnatuur divers en robuust te ontwikkelen.

Daarbij weergeeft de analyse van het wensbeeld in 2050 dat voornamelijk deze nattere ecotooptypen weinig kans hebben om te ontwikkelen op basis van de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand in 2050. Bovenstaande trend is minder zichtbaar voor de drogere ecotooptypen. De vochttoestand van hardhoutoobossen en -struwelen en droge graslanden verbeteren in droger wordende condities.

### 7.3 Opschaalbaarheid methode

*In hoeverre kan deze methode opgeschaald en gebruikt worden elders in het rivierengebied?*

De methodiek ontwikkeld en gevolgd voor deze rapportage kan relatief gemakkelijk worden uitgebreid naar andere locaties in het rivierengebied. Voorwaarde hiervoor beschikbaar is: (1) een ecotopenkaart die is aangepast voor de PAGW Hotspot Analyse (Van der Sluis et al., 2020) en (2) (verwachte) grondwaterstanden voor hetzelfde gebied. Effectief betekent dit dat deze methode kan worden gebruikt voor vrijwel het gehele rivierengebied, inclusief de Grensmaas, IJssel-Vecht delta en de rivieren die niet beïnvloed worden door het getij. De Biesbosch behoort dus niet het mogelijke uitbreidingsgebied. Echter kan deze methode wel worden aangepast zodat deze toepasbaar is op dit zoetwatergetijdengebied.

Indien de geadapteerde ecotopenkaart niet aanwezig is, kan de methode aangepast worden voor het gebruik van de originele ecotopenkaart. Ook is het mogelijk een QGIS model te ontwikkelen die kan dienen voor het omzetten van de originele naar de PAGW ecotopenkaart, welke vervolgens aan de modellenreeks kan worden toegevoegd.

### 7.4 Aanbevelingen voor vervolg

Dit rapport heeft een eerste aanzet gegeven tot een raamwerk met hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor (terrestrische) uiterwaardnatuur, met name gefocust op ecotoopgroepen. Hoewel dit een goede basis betreft, is het van belang dat deze randvoorwaarden verder worden onderzocht, uitgebreid en verbeterd om toekomstige natuuropgaven accurater te kunnen beschrijven. Dit kan onder andere worden bereikt door middel van een analyse van historische gegevens met betrekking tot vochtigheidstoestanden en ecotooptypen. Indien deze niet of te weinig aanwezig zijn, zou het installeren van extra peilbuizen een relevante toevoeging kunnen zijn.



Een betere inschatting kan tevens worden bereikt door een toevoeging van de in dit rapport genoemde aquatische randvoorwaarden aan de ecotopenkaarten. De Natuureffectmodule (Van Geest et al., 2019) zou hiervoor een geschikt startpunt zijn. Het koppelen van kaarten met overstromingsfrequenties aan deze methode zorgt daarnaast voor een beter begrip van het systeem en daarmee mogelijk een betere effectbepaling. Daarnaast wordt de verdroging van uiterwaarden ook veroorzaakt door sedimentatie van zand en klei tijdens rivieroverstromingen. De hoogte van het maaiveld neemt hierdoor toe, met als gevolg een lagere grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Tot dusver zijn de effecten van deze sedimentatie van uiterwaarden nog niet gekwantificeerd. Een betere inschatting van deze effecten is van belang voor de effectbepaling van verdroging op ecotooptypen.

De methode die in dit rapport is gevolgd kan worden gebruikt voor een effectbepaling van de voortgaande zomerbeddaling in het rivierengebied. Hiervoor wordt aangeraden om verschillende bodemdalingsscenario's door te rekenen en te bepalen welke grondwaterstanden en inundaties hierbij behoren, bij voorkeur op een grid van 25 x 25 m zodat de nauwkeurigheid vergroot wordt ten opzichte van dit onderzoek. Op deze manier kunnen verschillende gradaties van bodemdaling met elkaar vergeleken worden en tijdig worden ingegrepen indien de daling te nadelige effecten heeft. Tevens kan deze module gebruikt worden om effecten van menselijke ingrepen behapbaar te maken. Van iedere ingreep kan een globale kaart met beoogde maaiveldhoogte en gewenste ecotooptype worden gemaakt, waarmee kan worden bepaald of de plannen in toekomstige condities aangehouden kunnen worden. Dit kan het risico op kapitaalvernietiging in relatie tot (mislukte) ruimtelijke interventies helpen verminderen.



## Referenties

- Buijse, A.D., H. Coops, M. Staras, L.H. Jans, G.J. van Geest, R.E. Grift, B.W. Ibelings, W. Oosterberg & F.C.J.M. Roozen (2002). Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology* 47: 889-907
- CPB en PBL (2015). *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Nederland in 2030 en 2050: twee referentie scenario's*. Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau, Den Haag, PBL-publicatienummer: 1689.
- De Gruijter, J.J., J.B.F. van der Horst, G.B.M. Heuvelink, M. Knotters en T. Hoogland, 2004. *Grondwater opnieuw op de kaart. Methodiek voor de actualisering van grondwaterstands-informatie en perceelsclassificatie naar uitspoelingsgevoeligheid voor nitraat*. Wageningen, Alterra rapport 915.
- De la Haye, M., De Swart, E., Jans, L. & Duijn, P. (2016). *Assetmanagement KRW-arealen; RWS Oost Nederland voor de IJssel*. Sweco projectnummer: SWNL-0184942.
- De Lange, H. J., Maas, G. J., Makaske, B., Nijssen, M., Noordijk, J., Van Rooij, S. Vos, C. C. (2013). *Fauna in het rivierengebied. Knelpunten en mogelijkheden voor herstel van terrestrische en amfibische fauna*. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, rapport nr. 2013/OBN175-RI. Den Haag.
- Dorenbosch, M., M. Kooiman, S. Ploegaert, M. Vos & J. Kranenbarg (2020). *Visgemeenschappen in drie Nederlandse overstromingsvlakten*. Rapport 2017.057, RAVON, Nijmegen.
- Eekelder, P. en Kurstjens, G. (2020). *Meerjarenoverzicht 2017-2019*. Flora- en Faunawerkgroep Gelderse Poort.
- Elton, C. S. (2001). *Animal ecology*. University of Chicago Press.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries, 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma* 123 (2004), p 23 - 39.
- Górski, K., Buijse, A. D., Winter, H. V., De Leeuw, J. J., Compton, T. J., Vekhov, D. A. & Nagelkerke, L. A. J. (2012). Geomorphology and flooding shape fish distribution in a largescale temperate floodplain. *River Research and Applications*, 29(10), 1226-1236.
- Górski, K., Winter, H. V., De Leeuw, J. J., Minin, A. E. & Nagelkerke, L. A. J. (2010). Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature. *Freshwater Biology*, 55(7), 1509-1519.
- Haslam, S. M. (2006). River plants, the macrophytic vegetation of watercourses.
- Heinis F. (2010). *Passende Beoordeling Boomkorvisserij in de Voordelta*. Versie 7.0 eindconcept 25 juni 2010.
- Hunink, J., Hegnauer, M. (2015). *Update Deltascenario's Nationaal Water Model*. Deltares, project 1220056-000, pp. 32.
- Hunink, J., Delsman, J., Prinsen, G., Bos-Burgering, L., Mulder, N., Visser, M. (2018). Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het National Water Model. Deltares rapport 11202240-009-ZWS. Utrecht, oktober 2018.
- Junk, W.J. & K.M. Wantzen (2004). The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications-an update. In Second international symposium on the management of large rivers for fisheries (pp. 117-149). *Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific*.
- Kurstjens, G., Nijssen, M., van Winden, A., Dorenbosch, M., Moller Pillot, H., van Turnhout C., & Veldt, P. (2020). *Natte overstromingsvlakten in het rivierengebied. Ecologisch functioneren en ontwikkelkansen*, rapport 2020/OBN237-RI. VBNE, Driebergen.





Marijs, L. B., Achterkamp, B., Collas, F. P. L., De la Haye, M., Dorenbosch, M., Liefveld, W. M., Maathuis, M., Van Geest, G. & Van Kessel, N. (2020). *KRW Leidraad Rijkswaterstaat*.

Petts, G. E., & Amoros, C. (1996). The fluvial hydrosystem. In *The Fluvial Hydrosystems* (pp. 1-12). Springer, Dordrecht.

Dorland, E., Pinggen, J., Kusters, J. & Ex, J. (2017). *PAS-gebiedsanalyse 038 Rijntakken*.

Rademakers, J.G.M. en H.P. Wolfert (1994): *Het Rivier-Ecotopen-Stelsel: Een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied*. Publicaties Ecologisch herstel van Rijn en Maas nr 61-1994, RIZA, Lelystad.

Rijksoverheid (2020). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor de Milieueffectrapportage voor het programma Integraal Riviermanagement*. Rijkswaterstaat, RIZA. Lelystad. RIZA Nota nr. 96.050.

Rijkswaterstaat. (2018). *Waterkwaliteit biologisch - Ecotopen Rijkswateren - vlakken vijfde cyclus (RWS)* [Dataset]. Dataregister Rijkswaterstaat. <https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/apps/geonetwork-dataportaal/srv/dut/catalog.search?node=geonetwork#/metadatas/8a2sa797-915t-mn3s-pwnr-va1luhr81fos?tab=relations>

Schoor, M. M., Greijdanus, M., Geerling, G. W., Van Kouwen, L. A. H. & Postma, R. (2011). *Een nevengeul vol leven, handreiking voor een goed ecologisch ontwerp*. Rijkswaterstaat.

Sloff, K. (2019). *Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050. Trends voor scheepvaart en waterbeschikbaarheid*. Deltares rapport.

Spurna Wieland, F., Hegnauer, M., Bouaziz, L. Beersma, J. (2015). *Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse. Comparison with earlier scenario studies*. Deltares, project 12200042-000, pp. 73.

Stoffers, T., Collas, F. P. L., Buijse, A. D., Geerling, G. W., Jans, L. H., Van Kessel, N., ... & Nagelkerke, L. A. J. (2021). 30 years of large river restoration: How long do restored floodplain channels remain suitable for targeted rheophilic fishes in the lower river Rhine?. *Science of the Total Environment*, 755, 142931.

Van de Haterd, R.J.W., Torenbeek, R., van Gogh, I. (2020). *Evaluatie ecologisch modelinstrumentarium Rijkswaterstaat. Inventarisatie en analyse van de informatiebehoefte en de beschikbare ecologische modellen voor de Rijkswateren*. Bureau Waardenburg rapportnr. 20-291. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Van der Molen, D. T., Pot, R., Evers, C. H., Van Herpen, F. C., Van Nieuwerburgh, L. L. (2018). *Referentie maatlatten natuurlijke wateren*. STOWA.

Van der Sluis, T., Pedrol, B., Woltjer, I., Van Elburg, E., & Maas, G. (2020). *Uitwerking PAGW Natuuropgave Hotspots Grote Rivieren; Eindrapport*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.

Van Geest, G. J., & Teurlincx, S. (2014). Invloed van peilfluctuaties op waterplanten in de hoofdstroom en permanent verbonden wateren langs de Rijn. *De Levende Natuur*, 115(3), 90-95. <http://www.delevendenatuur.nl/themanummers.php?editie=11204>

Van Geest, G., Altena, W., de Keizer, O. (2019). *Natuureffectmodule voor de grote rivieren. Eerste analyse van het effect van lage afvoeren op natuur in Maas, Waal, Nederrijn/Lek en IJssel*. Deltares, 29-05-2019.

Van Geest, G., de Rijk, S., Altena, W. (2020). *Rivieren en Klimaat – PAGW. Effecten van lage rivierpeilen op de vochttoestand van uiterwaarden langs de Rijn en Maas – Tweede herziene versie*. Deltares, 16-06-2020.

Van Heusden, W., Tijnagel, M., Sluiter, H., Vercruisje, W., Zuidhof, A. (2021). *Ecologische systeemopgave PAGW-rivieren. Naar klimaatbestendige robuust riviernatuur in 2050*. Intern document, concept.



Van Walsem, T., Mens, M., Minnema, B., de Jong, J. (2020). *Gevoeligheidsanalyse: Impact van Bodemverandering Rijntakken op Zoetwatervoorziening 2050* [MEMO]. Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 02-10-2020.

Verhaal van de Rivier (2020).

Wageningen Environmental Research (WEnR) (2020). *Afwegingskader Ooibossen in Winterbed*. Opgehaald van <https://geodesk.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=846011e868924ac0afdb2df4b1c41156>

Wageningen Environmental Research (WEnR) (2021). SynBioSys NL. Syntaxonomisch Biologisch kennisSysteem. Versie 3.4.8, 09-01-2021. <https://www.synbiosys.alterra.nl/synbiosysnl/>

Willems, D., J. Bergwerff en N. Geilen (2007). *Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels: Terrestrisch*, RIZA rapport 2007.030, Lelystad.

Winemiller, K. O. (2004). Floodplain river food webs: generalizations and implications for fisheries management. In Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries (Vol. 2, pp. 285-309). *Food and Agriculture Organization & Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific*.

Wolfert, H.P. (1996). *Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels; uitgangspunten en plan van aanpak*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal.

Wolters, H. A., Van den Born, G. J., Dammers, E., Reinhard, S. (2018). *Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017*, Deltares, Utrecht

Ylla Arbos, C. Blom, A., Van Vuren, S., Schielen R. M. J. (2019). *Bed level change in the upper Rhine Delta since 1926 and rough extrapolation to 2050*. Research report. Delft University of Technology. Delft.



## Bijlage 1. Ecologische verklarende woordenlijst

Amfifyten	Planten die zijn aangepast aan wisselende omstandigheden, vaak met land- en watervormen.
Biomassa	Stof van organische oorsprong, geproduceerd door organismen (planten of dieren).
Cyanobacteria	Blauwalgen (prokaryoot)
Detritivoren	Afvaaler dat leeft van vast dood organisch materiaal (detritus)
Detritus	Dood organisch materiaal
Diadroom	Vis die zowel stroomopwaarts- als stroomafwaarts migreert (zoals Aal en Bot)
Diatomee	Kiezelwieren; eencellige algen met een exoskelet van kiezel. Het zijn eukaryote algen.
Droogtestress	Vochtigheidstoestand waarbij vegetatie verdroogt, ofwel het aantal dagen dat de vochtspanning in de bovengrond dichtbij of op het verwelkingspunt zit.
Ecotoop	Het kleinste, ecologisch nog onderscheidbare gebied in een ecologisch classificatiesysteem van landschappen. Het vertegenwoordigt een relatief homogene, ruimtelijke gebiedseenheid met eigenschappen voor het meten en vastleggen van de gebiedsstructuur, functie en verandering. Ecotopen worden ingedeeld naar een combinatie van wisselwerkingen tussen biotische en abiotische factoren, zoals vegetatie, bodems, waterhuishouding en andere factoren.
Epifyton	Eencellige planten die op levende planten groeien zonder hieraan voedingsstoffen te onttrekken.
Eukaryoot	Alle organismen waarvan iedere cel een celkern bevat (meestal ook organellen)
Eurytoop	Soorten voorkomend op een grote verscheidenheid aan plaatsen/ecotopen (zoals Brasem en Snoekbaars). Deze soorten zijn niet kritisch ten aanzien van de abiotiek.
Fotoautotroof	Zelfvoorzienend in organische voedingsstoffen
Fytoplankton	Eencellige planten die voor de energievoorziening afhankelijk is van fotosynthese (ook: algen).
Helofyten	Moerasplanten, waarvan vele zich hebben aangepast aan droge periodes afgewisseld met periode van gedeeltelijke of volledige onderdompeling.
Heterotroof	Een organisme dat zijn organische celmateriaal opbouwt uit voedingsstoffen die het betreft uit organische stoffen, afkomstig van andere organismen.
Hydrofyten	Planten die zijn aangepast aan een tijdelijk of continue standplaats geheel of grotendeels onder water.
K-strategen	Soorten die de dichtheid voortdurend dicht bij de draagkracht van het terrein houden, waarbij ze optimaal gebruikmaken van voedsel en ruimte waardoor uitsterven wordt voorkomen. Het zijn langlevende soorten met relatief weinig nakomelingen.
Limnofiel	Aquatische soorten met een voorkeur voor stilstaand water (zoals

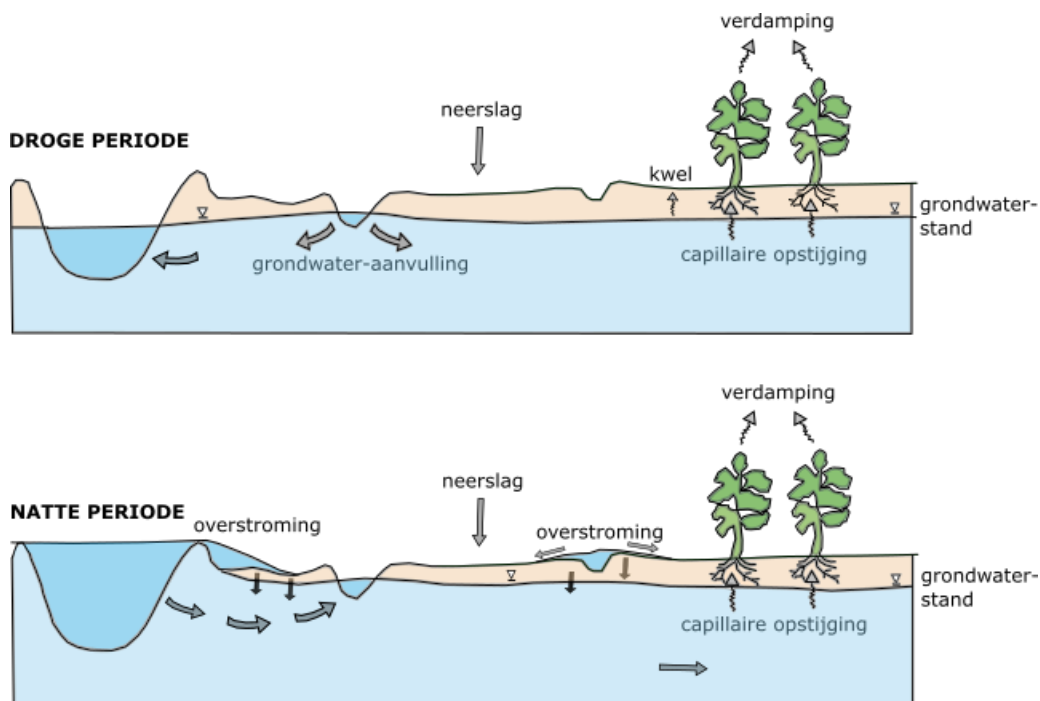


	Bittervoorn, Ruisvoorn en Zeelt)
Litoraal	Ondiep waterzone, de zone waarin plantengroei mogelijk is. In de regel wordt hiermee het water tot een diepte van 2 meter mee bedoelt (zoet). De zone die ligt tussen de gemiddelde hoog- en laagwaterlijn (zout).
Macrofauna	Verzamelnaam voor ongewervelde dieren die met het 'blote' oog te zien zijn, de zogenaamde macro-invertebraten.
Macrofyten	Verzamelnaam voor de wat grotere planten (geen algen - wieren) die je ziet in het water en op de oever.
Mesofyten	Planten die aan een matig vochtig milieu zijn aangepast door de vorming van grotere en dunnere bladeren. Ze komen voor in warme, vochtige en gematigde klimaten.
Microbe	Micro-organisme (eencellig of meercellig) dat te klein is om met het blote oog te zien.
Organellen	Een gespecialiseerd onderdeel met een bepaalde functie dat kan worden vergeleken met organen binnen meercellige organismen.
Perifyton	Kleine wieren levend op grotere waterplanten en andere ondergedoken voorwerpen
Pioniersvegetatie	Type begroeiing dat als eerste een nieuw ontstane plek begroeit. Pioniersvegetaties staan aan het begin van een reeks van vegetatietypen die elkaar opvolgen (successie).
Prokaryoot	Eencellig organisme zonder celkern (in tegenstelling tot eukaryoten)
Reofiel	Stroomminnende soorten (zoals Brasem en Snoekbaars)
r-strategen	Soorten die door hoge reproductie de dichtheid snel kunnen laten groeien, waarbij de maximaal gebruik maken van voedsel en ruimte om uitsterven te voorkomen. Er zijn zeer veel nakomelingen met een lage overlevingskans (bijv. insecten en vissen).
Struweel	Vegetatie van struiken van 1 tot 5 meter hoog. Struweel is dikwijls goed ontwikkeld als "mantel" aan de rand van een bos, op open plekken en in houtsingels.
Transpiratiestress	Tekort aan water voor vegetatie om te transpireren.
Xerofyten	Planten die zijn aangepast aan omstandigheden waarin weinig vocht beschikbaar is.
Zoöplankton	Een verzameling van in water zwevende of drijvende heterotrofe organismen (consumeren andere organische stoffen), bijvoorbeeld watervlooien.
Zuurstofstress	Tekort aan zuurstof voor vegetatie om te respireren.
Voedselweb	Een gedetailleerd onderling verbonden diagram dat de algehele voedselrelaties tussen organismen in een bepaalde omgeving laat zien.



## Bijlage 2. Hydrologische verklarende woordenlijst

Capillaire opstijging	Een proces waarbij water in de bodem vanuit de grondwatertafel tussen poriën en openingen tussen de bodemdeeltjes omhoog wordt gezogen (zie Figuur B1).
GVG	Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand; De grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.
GLG	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand; De drie laagste grondwaterstanden per hydrologische jaar (1 april t/m 31 maart), gemiddeld over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.
GHG	Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand; De drie hoogste grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart), gemiddeld over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.
Kwel	Grondwater dat onder druk boven maaiveld uit komt (zie Figuur B1).
Wegzijging	Het doorsijpelen van water oor de bodem naar het grondwater (ook wel infiltratie of inzijging) (zie Figuur B1).



Figuur B1. Belangrijke processen en hun onderlinge interactie in uiterwaarden tijdens droge en natte periodes. Gebaseerd op Refsgaard et al. (1998).

Figure B1. Important processes and their mutual interaction in floodplains during dry and wet periods. Adapted from Refsgaard et al. (1998).



## Bijlage 3. Beschrijving natuurontwikkelingsprojecten

*Tabel B1. Locaties, projectdetails en fase van de belangrijkste natuurontwikkelingsprojecten in de Gelderse Poort.*

*Table B1. Locations, details and status of the most important nature development projects in the floodplains of the Gelderse Poort.*

Project	Locatie	Projectdetails	Fase
Buiten Ooij, Oude Waal en Vlietberg <sup>11</sup>	Ooij	Ontwikkeling rietmoeras (25 ha) en vochtig grasland (15 ha) door maaiveldverlaging. Daarnaast komt er een natuurlijke zonering om voldoende rust te waarborgen voor moerasvogels en watervogels. Ca. 20 ha grasland blijft onvergraven droger ruig grasland. Mogelijkheid tot natuurlijke ontwikkeling van begraasd hardhoutoobos en stroomdalgrasland.	Gerealiseerd
Herinrichting Angerensche en Doornenburgsche Buitenpolder <sup>2</sup>	Angeren	Ontwikkeling rietmoeras en hardhoutoobos grenzend aan een ontzanding.	Initiatief
Herinrichting Huissensche Waarden <sup>1,12</sup>	Huissen	Uiterwaardvergraving met een grote zandwin-plas in het centrale deel van het gebied. Vergroten van de rivierdynamiek door verlegging van de zomerkade, herontwikkeling strangen waardoor een laagdynamisch moerasmilieu ontstaat, aanplanting bos, aanleg amfibieën poelen.	Gerealiseerd
Herinrichting Millingerwaard <sup>1,2,3</sup>	Millingen	Verruiming van de uiterwaard (met 265 ha), aanleg nieuw geulenpatroon dat uitstroomt in de Kaliwaal, introduceren halfwilde grote grazers (Ruimte voor de Rivier + NURG).	In realisatie/ Gerealiseerd (oplevering 2021)
Inrichting Gendtsse Waard-West <sup>5</sup>	Gendt	Gericht op het planten van meer oobossen, de realisatie van meer water met slikkige oevers en bloemrijke graslanden. Door de aanleg van een nieuwe waterplas en zandige eilanden in de bestaande plassen en het deels verplaatsen van de	In realisatie (oplevering 2027/2029)



		zomerkade wordt er ruimte gemaakt voor (dynamische) natuurontwikkeling, zoals verruiging, ontwikkeling van struweel en (hardhout)ooibos. Daarnaast wordt er gestreefd naar de inzet van grote grazers.	
Natuurontwikkeling Bemmelse Waard <sup>2</sup>	Bemmel	De natuurontwikkeling richt zich op weidevogels en grootschalige dynamische natuur. Waterplassen en ooibossen worden met elkaar verbonden, akkers worden omgezet naar natuur en er komen nieuwe wandelpaden, een ruiterroute en diverse rust- en uitzichtpunten.	Gerealiseerd
Natuurontwikkeling Rivierklimaatpark IJsselpoort (o.a. Havikerpoort, Velperwaard, Koppenwaard) <sup>2,10</sup>	IJsselpoort, Velp, Rheden en Giesbeek	Ontwikkeling riviermoerassen, creëren natuurvriendelijke oevers, herstellen open grazige uiterwaarden, herstellen broekbossen en -moerassen, versterken beekmonding, creëren natuurlijke oevers en dijken (deels gefinancierd door LIFE Nature)	In realisatie
Ontwikkeling Gendtse Waard-Oost <sup>1,2</sup>	Gendt	Verlaging van de Suikerdam, aanleg van een meestromende nevengeul, vergraving van de uiterwaard en de inrichting van natuurvriendelijke Waaloevers (combinatie Ruimte voor de Rivier, NURG, KRW) heeft geleid tot een realisatie van 125 ha nieuwe natuur.	Gerealiseerd
Ontwikkeling Oosterhoutse Waarden <sup>2,6</sup>	Oosterhout (GLD)	Uiterwaard afgegraven in het verlengde van de nevengeul, waardoor er een waterrijk overganglandschap is ontstaan. Hoog-dynamische natuuroevers in plassen worden ingericht.	In realisatie (oplevering in 2023)
Rijnstrangen (o.a. Kleine Gelderse Waard) <sup>2,9</sup>	Zevenaar/Aerd	Ontwikkeling (riet)moeras met nieuwe ondiepe plassen, verhoging minimum waterpeil om verdroging tegen te gaan d.m.v. twee stuwen, introduceren grote grazers.	Deels gerealiseerd/ In realisatie
Rijnwaarden (o.a. Geitenwaard, Lobberdense Waard) <sup>2,5,8</sup>	Pannerden	Landbouwgrond omvormen naar haverhooiland en hardhoutooibos (onderdeel NURG), creatie van een geïsoleerde strang, verlaging zomerkades, inrichting hoogwatervrije vluchtplaatsen, introductie grote grazers,	Gerealiseerd





		aanleg nevengeul, inrichting natte natuur met natuurvriendelijke oevers en de aanleg van een langsdam.	
Stadswaard Nijmegen <sup>2,7</sup>	Nijmegen	Uiterwaardverlaging, aanleg eenzijdig aangetakte geul	Gerealiseerd
Uiterwaardvergraving Doorwerthsche Waarden <sup>1</sup>	Doorwerth	Uiterwaardvergraving. Door het verlagen van de oeverzone en de verleging van de kade komt het laaggelegen gedeelte van de uiterwaard beschikbaar voor extra afvoer in natte tijden.	Gerealiseerd
Uiterwaardvergraving Meinerswijk <sup>1</sup>	Meinerswijk	Uiterwaardverlaging	Gerealiseerd

1. Programmadirectie Ruimte voor de Rivier (2010). Samenwerken aan een veiliger en mooier riviereengebied. Overzicht maatregelen Ruimte voor de Rivier.

2. Intern Excel document

3. Website Staatsbosbeheer (<https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/projecten/gelderse-poort-herinrichting-millingerwaard>)

4. Website Staatsbosbeheer (<https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/projecten/gelderse-poort-inrichting-gendste-waard-west>)

5. Website Staatsbosbeheer (<https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/projecten/gelderse-poort-nieuwe-natuur-geitenwaard>)

6. Waalweelde projecten

(<https://waalweelde.gelderland.nl/WaalWeelde+-projecten/Projecten+in+uitvoering/Oosterhoutse+Waarden/346721.aspx?t=Werkzaamheden-laagdynamische-deel-afgerond>)

7. Waalweelde projecten

(<https://waalweelde.gelderland.nl/WaalWeelde+-projecten/Projecten+in+uitvoering/De+Stadswaard+bij+Nijmegen/Meer+informatie+over+De+Stadswaard/default.aspx>)

8. Rijnwaarden (<http://www.rijnwaardenseuiterwaarden.nl/pages/projectenkaart.html>)

9. Rijnstrangen (<https://www.k3.nl/projecten/reversweert>)

10. Natuurmonumenten IJsselpoort

(<https://www.natuurmonumenten.nl/projecten/rivierklimaatpark-ijsselpoort/projectbeschrijving>)

11. Kurstjens, G., Overmars, W., Van Winden, A. (2008). Inrichtingsplan Buiten Ooij, Oude Waal en Stadswaard bij Nijmegen. Staatsbosbeheer, rapport 2008.02.

<https://www.geldersepoort.net/publicaties/Oude%20Waal%20Inrichtingsplan%20Buiten%20Ooij.pdf>

12. [http://web.lingewaard.nl/ruimtelijkeplannen/IMRO2008/NL.IMRO.1705.25-ON02/tb\\_NL.IMRO.1705.25-ON02\\_Bijlage1.pdf](http://web.lingewaard.nl/ruimtelijkeplannen/IMRO2008/NL.IMRO.1705.25-ON02/tb_NL.IMRO.1705.25-ON02_Bijlage1.pdf)



## Bijlage 4. Beschrijving van de ecotootypen

De onderstaande beschrijvingen van ecotoopgroepen zijn grotendeels ontleend aan het Rapport Natuurverkenning Grote Rivieren (Zuidhof, 2019), de Uitwerking PAGW Natuuropgave Hotspots Grote Rivieren (Van der Sluis et al., 2020), Peters (2008) en de RWES-rapporten van Willem et al. (2007), Lorenz & Van der Moolen (2001) en Van der Molen (2000).

### **Nat grasland**

In laagdynamische vochtige uiterwaarden met kwelwaterinvloed vanuit de rivier of soms vanuit het achterland, komen natte graslanden voor. Het gaat dan om lager-gelegen kommen relatief ver van de rivier, maar met een mesotrofe en/of venige bodem en zonder zware kleiafzettingen. Voor de botanisch waardevolste natte graslanden is een continu hoge grondwaterstand, gevoed door stromend, zuurstof-en/of ijzerrijk grondwater nodig.

In de huidige situatie van het rivierengebied vinden we deze graslanden – vaak hooilanden – nog slechts in oude maasmeanders (Zandmaas). Tussen de winterdijken van de Rijntakken is waarschijnlijk nauwelijks meer kans op de ontwikkeling van deze vegetaties. Er is weinig sprake van een stabiele, ondiepe grondwaterstand met kwelstromen en er treden sterke schommelingen in de grondwaterstanden op. Graslanden op overstromingsvlakten zijn over het algemeen te weinig overstroomd en hebben te lage grondwaterstanden voor typische natte graslanden. Betere mogelijkheden bestaan er in de oude Maasgeulen aan de oostflank van de Zandmaas. Binnendijs liggen vermoedelijk kansen in poldergebieden van het westelijk rivierengebied en de Gelderse Poort (kwelmoeras Ooijpolder, Rijnstrangen). Hier kan door verbetering van peilbeheer en verminderde instroom van landbouw- en overstortwater, gekoppeld aan moerasontwikkeling, mogelijk resultaat geboekt worden.

Natte hooilanden zijn rijk aan insectensoorten en vormen belangrijke habitats voor vogelsoorten als Kwartelkoning, Grutto, Tureluur, Kievit en Gele kwikstaart. Het zijn tevens belangrijke opgroei- gebieden voor vissen en amfibieën en vormen zo een belangrijke voedselbank voor reigerachtigen, ooievaars en lepelaars.

### **Droog grasland**

Droog onbemest grasland kan zich tot stroomdalgrasland ontwikkelen: bloemrijke open grasland- vegetaties op rivierduintjes, hoge oeverwallen, kronkelwaardruggen en dijken in het buitendijkse rivierengebied. Voor deze studie scharen we onder dit vegetatietype zowel de 'echte' stroomdal- graslanden van het Sedo-Cerastion-verbond als de glanshaverhooilanden (*Arrhenatherion elatioris*). Stroomdalgraslanden komen voor op weinig bemeste, kalkhoudende zandige tot zavelige bodems en verdragen maximaal 10-20 dagen overstroming in het groeiseizoen. Morfodynamiek waarbij kalkhoudend zand met hoogwater op de oeverwal of door de wind in duintjes wordt afgezet, is belangrijk voor de instandhouding en ontwikkeling van stroomdalgraslanden.

Kenmerkende plantensoorten van het stroomdalgrasland zijn onder andere: Gewone agrimonie, Wilde averuit, Voorjaarszegge, Cipreswolfsmelk Steenanjer, Zachte haver, Kaal breukkruid, Kattendoorn, Kleine bevernel, Voorjaarsganzerik, Kleine pimpinel, Duifkruid, Overblijvende hard- bloem, Zacht vetkruid, Tripmadam, Kleine ruit, Grote tijm, Kleine tijm, Liggende ereprijs en Lathyrus- wikke. Glanshaverhooilanden zijn met soorten als Goudhaver, Roodzwenkgras, Veldsalie, Gele morgenster, Groot streepzaad, Glad walstro, Gewone hoornbloem, Karwijselie en Oosterse morgenster iets minder soortenrijk.

Bloemrijke vegetaties zijn vaak zeer rijk aan insecten. De Veldparelmoervlinder is een van de vele vlindersoorten die zich hier voortplant. Daarnaast zijn soortenrijke vegetaties van belang voor grondbroedende vogelsoorten als Patrijs, Kievit,



Goudplevier, Veldleeuwerik en Gele kwikstaart en is het een geliefd biotoop voor kleine zoogdieren, zoals de Rosse vleermuis en de Das.

### **Hardhoutooibos/struweel**

Hardhoutooibossen zijn buitendijkse rivierbegeleidende bossen die niet door wilgensoorten of Zwarte populier worden gedomineerd. De paar fragmenten hardhoutooibos die Nederland (nog) rijk is, liggen hoog in het rivierlandschap op oeverwallen en hoge uiterwaarden, plekken die jaarlijks maximaal tien dagen overstroomd worden. Recente, spontane bosontwikkeling in uiterwaarden duidt erop dat hardhoutooibos niet beperkt blijft tot alleen de hogere delen van de uiterwaarden, maar dat ook de lagere uitwaardvlakte, waarvan de inundatieduur ook langer is, een geschikte groeiplaats vormen. De spontane ontwikkeling van hardhoutooibos start met de vestiging van besdragers: Eenstijlige meidoorn, Sleedoorn en Gewone vlier. De zaden worden door de rivier, maar vooral door vogels verspreid. Het uitgangspunt van de hardhoutooibos-ontwikkeling kan variëren: diverse typen korte vegetatie, struweel en zachthoutooibos.

Het hardhoutooibos is een structuurrijk bos, met een goed ontwikkelde struiklaag en een weelderig ontwikkelde bodemflora. De boomlaag bestaat onder andere uit Zomereik, Es, Gladde iep, Spaanse aak, Winterlinde, Gewone esdoorn en Witte abeel. In de struiklaag zijn Eenstijlige meidoorn, Sleedoorn, Rode kornoelje en Wilde kardinaalsmuts te vinden. Kenmerkend voor dit bostype zijn de vele klim- en slingerplanten: Bosrank, Besanjer, Warkruid en Hop zijn daar voorbeelden van. In de kruidlaag komen daarnaast veel geofyten voor, waaronder (bijzondere) soorten als Slangelook en Gewone vogelmelk.

De grote variatie in structuur en een hoge mate van natuurlijkheid is van groot belang voor de fauna. Voor vogels als Zeearend, Zwarte Wouw, Wespandief en Zwarte ooievaar vormen hardhoutooibossen een geschikte broedbiotoop, maar ook soorten als de Kleine en Middelste bonte specht, Blauwe reiger, Kwak, Appelvink, Boomklever, Zomertortel en Wielewaal vinden er een broed- en rustgebied. Ook voor (kleine) zoogdieren, amfibieën en (bodem)insecten, waaronder Ree, Das, Rosse vleermuis en Ruige dwergvleermuis is het hardhoutooibos een geschikt leefgebied.

Ook in de struwelen is een 'zachthout' en een 'hardhout'-type te onderscheiden, waarbij de tweede de eerste opvolgt in de successie. Omdat hardhoutooibos van nature structuurrijk is, is er in deze studie van uitgegaan dat een mozaïek van hardhoutooibos en struweel kenmerkend is voor het rivierecosysteem.

De periodiek overstroomde doornstruwelen bestaan uit soorten uit de struiklaag van het hardhoutooibos, zoals Eenstijlige meidoorn, Sleedoorn, Kardinaalsmuts, Gewone vlier, Lijsterbes, Hondсроos en Dauwbraam. De kruidlaag van doornstruwelen is soortenarm, met onder andere Duinriet, Akkerdistel, Grote brandnetel en Kropaar. Struwelen zijn waardevol voor vogels als de Grauwe klauwier, Grasmus, Braamsluiper, Geelgors, Roodborsttapuit, Nachtegaal en Bosrietzanger en roofvogels als de Slechtvalk en Torenvalk. Ze zijn van belang voor tal van insecten, waaronder vlindersoorten (Kleine ijsvogel- vlinder, Sleedoornpage) en bieden een schuil- en overwinteringsplaats aan amfibieën (Kamsalamander, Boomkikker), kleine zoogdieren (Das, Wezel, Hermelijn) en reptielen (Ringslang, Levendbarende hagedis).

### **Zachthoutooibos/struweel**

Zachthoutooibossen worden gedomineerd door wilgensoorten of Zwarte populier. Botanisch gezien zijn zachthoutooibossen niet soortenrijk, maar met wilgen als Bittere wilg, Amandelwilg en met name Schietwilg is de vegetatie wel karakteristiek. Vaak ontwikkelt zich een struiklaag. Lianen als Haagwinde en Bosrank zijn veelvoorkomend, terwijl in de kruidlaag ruigtekruiden domineren als Reuzenbalsemien, Fluitenkruid, Grote engelwortel en Grote brandnetel.

Reigersoorten (Kleine zilverreiger, Blauwe reiger), Kwak, Zomertortel, Aalscholver, Nachtegaal, Buidelmees en Wielewaal slapen en broeden hier, de Otter schuilt er. De Visarend en Zeearend kunnen de ecotoop gebruiken als rustplaats. In en op zachthoutooibossen komt een grote rijkdom aan macrofaunasoorten voor,



waaronder de Muskusboktor. Omdat zachthoutooibossen vaak langs geulen en strangen staan, zijn deze bossen belangrijk leef- en foerageergebied voor de Bever.

Zachthoutooibos vormt in veel gevallen niet het eindpunt van de successie, maar kan doorontwikkelen naar hardhoutooibos. Dit betekent dat de reeds aanwezige fragmenten ouder zachthoutooibos in het buitendijkse gekoesterd moeten worden. Omdat zachthoutooibos idealiter ontstaat uit struweel en door erosie ook weer kan verdwijnen, is er in deze studie van uitgegaan dat een mozaïek van zachthoutooibos en struweel kenmerkend is voor het rivierecosysteem. Het onderscheid tussen bos en struweel ligt bij de gemiddelde planthoogte: hoger dan 5 m spreken we van bos, lager van struweel. Op de oeverwal is er veelal sprake van zachthoutstruweel.

Zachthoutstruweel kenmerkt zich door de dominantie van struikwilgen als Katwilg, Amandelwilg en Bittere wilg. Vaak komen ook jonge Schietwilgen en Zwarte populieren voor. De kruidlaag is vaak spaarzaam en bestaat uit pionieruigtekruiden als Gele waterkers en Brandnetel. De struwelen bieden foerageer- en broedgelegenheid aan kleine zangvogels als Tjiftjaf en Buidelmees.

### **Riet/moerasruigte**

*Riviermoerassen* komen voor in de oeverzone van geïsoleerde en eenzijdig aangesloten geulen, plassen en laaggelegen kleikommen in de uiterwaardvlakte. De vegetatie wordt gedomineerd door hoge, snelgroeiende ruigtekruiden met een vermogen tot sterke, vegetatieve uitbreiding. Riet kan ook in riviermoerassen voorkomen, maar zal op de langere termijn verdrongen worden door de ruigtekruiden.

Ruigtesoorten ontwikkelen zich op stikstofrijke plaatsen, zoals aanspoelingsgordels, die tijdens het groeiseizoen boven de waterlijn komen te liggen. De zaailingen en volwassen planten zijn minder bestand tegen hoge waterstanden in het groeiseizoen dan echte moerassoorten als Riet, grote zeggen- soorten en lisdodde. Overstroming in de winter kunnen deze ruigtesoorten goed doorstaan. De vochtigheidszone, waar moerasruigtes voor kunnen komen, ligt dan ook hoger dan die van de echte rietmoerassen. Er kan successie optreden van ruigte naar bos, waardoor riviermoerassen doorontwikkelen van zachthout struweel naar oobossen.

Veel voorkomende ruigtesoorten zijn Harig wilgenroosje, Grote brandnetel, Akkerdistel, Haagwinde, Moeraspirea, Rivierkruiskruid, Groot hoeblad, Akkerdistel en Moerasandoorn. Moerasruigtes zijn broedgebieden voor watervogels zoals de Fuut, eendachtigen en ral- en reigerachtigen, zoals de Waterral en de Grote zilverreiger. Daarnaast zijn riviermoerassen habitat voor roofvogels, zoals de Bruine en Blauwe kiekendief en kleinere vogels, zoals Baardmannetje, Snor, Kleine en Grote karekiet, Blauwborst, Rietgors en Rietzanger. Riviermoerassen fungeren als paai-, rust- en schuilgebied voor amfibieën en insecten en vormen broed-, foerageer- en rustgebied voor de Otter.

In *rietmoerassen* domineren helofytensoorten, zoals Riet, Mattenbies, Liesgras, Rietgras, grote zeggesoorten en Lisdodden. Rietmoerassen komen voor in de benedenrivieren met getij en binnen- gedijkte verlande geulen. De hydrodynamiek beïnvloedt sterk de vitaliteit van de helofyten. Een natuurlijk peil, waarbij de waterstand tot ver in de zomer boven maaiveld staat en daarna kan uitzakken, of een natuurlijke getijslag, is het beste voor de vitaliteit van riet en de soortenrijkdom.

Bij een onnatuurlijk (stabiel) peil zal riet moeite hebben om zich op de lange termijn te handhaven, doordat door strooiselophoping op den duur verlanding kan optreden en riet door kieming van andere soorten verdrongen wordt. Daarnaast is er bij een onnatuurlijk peil een hogere kans op vorstschade en begrazing door watervogels.

Het Rietmoeras vormt het leefgebied voor moeras- en watervogels, zoals ganzen. De helofyten vormen een belangrijke voedselbron voor herbivore watervogels, zoals de Brandgans, Smient, Grauwe gans en Meerkoet. De laatstgenoemde twee soorten zijn zelfs in staat door begrazing de helofyten-ontwikkeling te sturen. Rietmoeras is het broedbiotoop voor vogelsoorten die alleen of bij voorkeur in vegetaties met riet broeden, zoals Grote karekiet en Kleine karekiet, Roerdomp, Rietgors, Lepelaar,



Waterral, Bruine kiekendief en de Kleine en Grote Zilverreiger. Oeverzones met riet vormen een geschikt nest-, foerageer- en leefgebied voor kleine zoogdieren als de Otter en Noordse woelmuis.

### **Bebouwd/verhard**

Bestrate en verharde terreinen en gebouwen in de uiterwaarden zijn vaak gerelateerd aan historische steenfabrieken en liggen over het algemeen op de hogere delen van de uiterwaarden. Deze terreinen vervullen vaak een belangrijke rol als hoogwatervluchtplaats voor zoogdieren en amfibieën.

### **Kale oever**

Verschillende typen kale oevers zijn gekarteerd: (1) rivierstrandjes en rivierduinen, (2) grindbanken en platen en (3) slikken. Zij hebben onderscheidende kenmerken naar gelang het riviergedeelte waar zij voorkomen.

#### *Rivierstrandjes en rivierduinen*

Hiertoe behoren alle kale of slechts met pioniervegetatie begroeide zandstranden en -duinen langs het zomerbed en in nevengeulen, met een overstromingsduur van rond de 50 dagen per jaar. Rivierstranden behoren als gevolg van de sterk wisselende waterstanden en stroming tot de meest dynamische terrestrische zones van het riviersysteem. Deze morfodynamiek zorgt ervoor dat het substraat voortdurend in beweging is en alleen pioniersoorten zich hier kunnen vestigen. Rivierstranden en -duinen komen voor in de midden- en benedenloop van rivieren met natuurlijke oevers en rivieren waarvan de oevers met kribben zijn verdedigd. In gestuwde rivieren komen minder zandstranden voor, omdat de peildynamiek daar gering is. In Nederland komen de meeste zandstranden voor langs de Waal (Merwede) en in mindere mate de Zandmaas en de Nederrijn-Lek. Ook in de benedenrivieren kunnen, mits het getij voor voldoende dynamiek zorgt, zandstranden voorkomen. Rivierduinen ontstaan door verstuiwing van hoge zandige oeverwallen of door opwaaiend zand over brede, droogvallende rivierstanden. In Nederland vindt actieve duinvorming nu vrijwel alleen plaats langs de Waal.

In de ondiepe oeverzone van het strand groeien bij voldoende lichtinstraling bentische algen en kiezelwieren die als voedsel dienen voor macrofauna soorten, zoals dans- en vedermuggen. Daarnaast is het paai- en opgroeihabitat van rheofiele vissoorten als Barbeel, Kopvoorn, Serpeling, Sneep, Rivierdonderpad en Winde. Zandstranden en duinen vormen het leefgebied voor zich ingravende amfibieën, spinnen en insecten, zoals de Knoflookpad, de Grindwolfspin, loop- en kortschildkevers en oeverwantsen. Deze macrofauna-soorten vormen het voedsel voor vissen en vogels. De kale zandoevers en -banken zijn foerageer- en broedgebied voor sterns en steltlopers, zoals de Kleine plevier en zwem-eenden, zoals de Slobeend, Pijlstaart en de Smient.

#### *Grindbanken en platen*

Grindbanken komen vooral voor in de middenloop van een rivier, waar door de sterke stroming een zeer sterke dynamiek heerst. In Nederland geldt dit alleen voor de Grensmaas en mogelijk in de Rijn bovenstrooms van Lobith. Grindbanken bestaan uit kaal grind en zand met pioniersoorten die zeer frequent (minimaal 100 dagen per jaar) worden overstroomd. Ze komen voor als eilanden in de ondiepe grindbedding of vormen (brede) platen met oppervlakkige geulen langs de oever.

Grindplaten hebben een schraal en droog karakter, doordat er door het substraat een snelle uitspoeling van voedingsstoffen plaatsvindt en de bodem geen water kan vasthouden. Op en tussen het grindmateriaal kunnen zich algen en macrofauna-soorten vestigen. De ondiepe, onder water staande delen zijn belangrijk voor rheofiele vissen.

Deze ecotoop vormt een paaiplaats voor zalmachtigen, zoals Zalm en Zeeforel en is het leefgebied voor de Barbeel, Kopvoorn, Sneep en Rivierdonderpad. Grindbanken kennen een specifieke flora en fauna met typische pioniersoorten als Maasraket, Zandweegbree, Kleine rupsklaver, Riempjes en Klein viltkruid. Ook kan de Grindwolfspin zich hier vestigen. Grindbanken worden als nestplaats gebruikt door de Visdief en Kleine plevier en als foerageer- en broedplek voor de Grote gele kwikstaart en de Oeverloper. Het is een rust- en verblijfplaats voor vogels, zoals de



Aalscholver, eenden en sterns en voor zoogdieren, zoals de Waterspitsmuis, indien de grindbank niet door water is omringd.

### *Slikken*

Slikken komen voor in de benedenloop van rivieren en in het zoetwatergetijden-gebied, zoals in de Lek, de Beneden-Merwede en de Biesbosch. De slikkige bodem ontstaat door sedimentatie en erosie van slib, als gevolg van een tweemaal daagse overstroming en droogval door getijdenwerking of als gevolg van zeer langdurige overstromingen. Vooral langs rivieren met een getijslag van 1,00 m en meer komt slikvorming voor. De morfodynamiek is minder sterk dan bij zandstranden, zodat transport en sedimentatie van slib overheersen.

De macrofaunagemeenschap van slikken is vergelijkbaar met die van de zandstranden en platen (dans- en vedermuggen), maar er komen meer soorten voor en de abundantie is hoger dan bij zandplaten. Verder zijn slikken over het algemeen meer begroeid met pioniervegetatie dan zandplaten. Een kenmerkende soort van slikkig substraat is de Schildersmossel. Slikken zijn door hun grote primaire productie een belangrijke voedselbron voor steltlopers. Dit geldt voor zowel broed- als trekvogels, zoals Tureluur, Scholekster, Kluut, Bontbekplevier en Kleine plevier.

### **Productiegrasland/bouwland**

De productiegraslanden in het tussen de dijken gelegen rivierengebied zijn in het algemeen soorten- rijker dan de binnendijkse graslanden, maar door bemesting vertegenwoordigen ze meestal geen grote biodiversiteit. Ze worden gebruikt voor beweiding door jongvee of schapen. Indien de mestgift matig is, kan een intensief bodemleven ontstaan, vol wormen en insecten die dienen als voedsel voor vogels. In dat geval kunnen de graslanden een grote betekenis hebben als foerageer- en broedgebied voor weidevogels. Bij een behoorlijke omvang heeft de ecotoop een belangrijke functie als foerageergebied voor overwinteraars als ganzen (Kolgans, Brandgans en Grauwe gans), zwanen (Kleine zwaan en Knobbelzwaan) en de Goudplevier.

Op akkers in de uiterwaarden wordt vrijwel uitsluitend mais verbouwd; deze teelt heeft door intensieve bemesting een minimale biodiversiteitswaarde. Bij een relatief extensief beheer van akkerland, waarbij ruimte is voor overstaande randvegetaties en verlaten hoekjes kunnen de Gele kwikstaart, Veldleeuwerik, Patrijs en Kwartelkoning in lage aantallen aangetroffen worden. Daarnaast komen langs de onbedijkte Maas ook kwekerijen voor (zoals rozen- en bessenkwekerijen).



## Bijlage 5. Randvoorwaarden van aquatische ecotootypen en soortengroepen

Deze bijlage beschrijft de hydrologische en hydraulische randvoorwaarden die door zowel de aquatische als de terrestrische ecologie in uiterwaarden aan haar omgeving worden gesteld. Het volgen van deze richtlijnen in besluitvorming rondom natuurontwikkeling en -behoud zal het ecologisch functioneren van uiterwaarden verbeteren. De verdeling van soortengroepen en ecotootypen, zoals beschreven in sectie 4.2, zullen hiervoor worden aangehouden.

### Waterplanten

De ontwikkeling van waterplanten wordt sterk beïnvloed door fluctuaties in rivierpeil (Haslam, 2006). Deze relatie geldt in mindere mate voor geïsoleerde plassen, waardoor onderstaande tekst voornamelijk geldt voor de overige drie watertypes. Voor de bedekking van waterplanten zijn verschillende parameters van belang die samenhangen met deze peilfluctuaties (Van Geest & Teurlincx, 2014):

1. De waterdiepte tijdens de start van het groeiseizoen;
2. De tijdsduur dat in het groeiseizoen water aanwezig is;
3. De mate van uitdroging van de standplaats bij droogval;
4. De maximale peilstijging tijdens het groeiseizoen;
5. De stabiliteit van bovengenoemde factoren gedurende achtereenvolgende jaren.

Van Geest & Teurlincx (2014) hebben hierbij grenswaarden opgesteld waaraan moet worden voldaan om de waterplantengroei te ondersteunen (Tabel 6).

*Tabel 6. Grenswaarden waterplanten in rivieren en aangetakte wateren. Gebaseerd op Van Geest & Teurlincx (2014).*

*Table 6. Boundary conditions of water plants in rivers. Based on Van Geest & Teurlincx (2014).*

Parameter	Beschrijving	Randvoorwaarden
Waterdiepte tijdens de start van het groeiseizoen (mei)	Max. diepte tot 1,90 meter, in verband met lichtdoorlatendheid naar grotere diepte <sup>1</sup>	Min: 0,3 m <sup>2</sup> Max: 1,90 m
Mate van uitdroging van de standplaats bij droogval	Groeiplaats in mei niet meer dan 50 cm boven het gemiddeld rivierpeil <sup>1</sup>	Min: - Max: waterstand in mei + 50 cm
Tijdsduur dat in het groeiseizoen water aanwezig is	Min. 3 maanden (startend vanaf mei). Wanneer de groeiplaats in mei droog staat, dan moet water aanwezig zijn in de periode juni t/m augustus <sup>1</sup>	Min: 3 maanden Max: -
Stabiliteit van factoren	Voldoen aan bovenstaande factoren in min. 8 van de 10 aaneengesloten jaren <sup>1</sup>	Min: 8 jaar (uit 10) Max: 10 jaar
Meestromen nevengeul	Ten minste van mei tot en met juli <sup>3</sup>	

<sup>1</sup> Van Geest & Teurlincx (2014), <sup>2</sup> De la Haye (2016), <sup>3</sup> Van Geest et al. (2011).

Daarnaast dienen strangen en nevengeulen een bepaald aantal dagen per jaar aangetakt te zijn. Op potentiële groeiplaatsen moet tot juli water staan, omdat anders het groeiseizoen te kort is voor succesvolle vestiging, handhaving en uitbreiding van waterplanten. Hiervoor moeten nevengeulen tenminste van mei tot en met juli meestromen (Van Geest et al., 2014).





### Stroomminnende vis en macrofauna (reofiel)

Voor het ecologisch functioneren van de meeste stroomminnende vissoorten zijn meerdere aspecten van belang (De la Haye, 2016):

1. Vis moet de geul/strang in kunnen trekken in de periode februari tot april;
2. In de paaiperiode april, mei en juni moet de geul in verbinding staan met de rivier;
3. Juveniele en volwassen vissen moeten de rivier kunnen bereiken, bij voorkeur in juli tot augustus.

Daarnaast moet de geul of strang watervoerend zijn en dus enige waterdiepte hebben. Hiervoor geldt dat er het liefste een variërende waterdiepte tussen de 0,5 en 2,0 meter moet aangehouden in de periode dat het water dienst moet doen als paai- en opgroeigebied (De la Haye, 2016).

Om de ecologische kwaliteit te garanderen mogen geulen maximaal eens in de 10-20 jaar gebaggerd worden. De frequentie hiervan is afhankelijk van de ligging van geulen en de snelheid waarmee ze opslibben (De la Haye, 2016). Dit sluit aan bij het onderzoek van Stoffers et al. (2021), waarin wordt gesteld dat de optima voor stroomminnende vissoorten gemiddeld 13 tot 14 jaar na ingreep wordt behaald. Hierna neemt het ecologisch functioneren weer af door het dichtslibben van de geul. Bovenstaande vereisten zijn samengevat in Tabel 7 voor vissoorten met hoge connectiviteit met de rivier.

*Tabel 7. Algemene randvoorwaarden voor (rheofiele) vissen in geulen en strangen. Gebaseerd op De la Haye (2016).*

*Table 7. General boundary conditions of (rheofile) fish in side rivers. Based on De la Haye (2016).*

Parameter	Beschrijving	Randvoorwaarden
Verbinding met rivier	Bij voorkeur tussen februari en augustus	Geulafhankelijk
Waterdiepte	0,5 - 2,0 m tussen april en augustus	Min: 0,5 m Max: 2,0 m
Stroomsnelheid	0,1 – 1,6 m/s voor de meeste soorten	Min: 0,1 m/s Max: 1,6 m/s
Habitatheterogeniteit	Bij voorkeur aanwezigheid waterplanten, hard substraat (dood hout), variërende stroomsnelheden en waterdiepte	Geulafhankelijk
Baggeren	Maximaal eens in de 10-20 jaar	Min: Max: 1x / 10-20 jaar

### Vis en macrofauna met een voorkeur voor stilstaand water (limnofiel)

De tweede groep vissoorten volbrengen hun gehele levenscyclus in de uiterwaard-wateren, waarbij zij periodes met hoogwater gebruiken als dispersiemechanisme. Hier zijn zij echter niet afhankelijk van. Er kunnen zeer hoge visdichtheden voorkomen in geïsoleerde uiterwaardwateren. Deze soorten profiteren vaak van de relatief hoge dichtheid van waterplanten en zijn relatief goed bestand tegen de hoge watertemperaturen die hier kunnen voorkomen (Dorenbosch et al., 2020). Enkele vissoorten, zoals de Grote modderkruiper en Kroeskarper, zijn zelfs in staat tijdelijke droogval te overleven door zich in te graven in de modderlaag van een droogvallende plas met extreem lage concentraties zuurstof (Dorenbosch et al., 2020).



De productiviteit van de visgemeenschap in geïsoleerde uiterwaardwateren wordt gestuurd door andere variabelen dan hierboven beschreven. Jaren met hogere voorjaarsgrondwaterstanden, en dus een langere overstromingsduur, resulteren in hogere visdichtheden dan jaren met beperkte grondwaterstanden (Dorenbosch et al., 2020). Net zoals de vissoorten met hoge connectiviteit met de rivier is deze groep ook gebaat bij habitatheterogeniteit, met name de aanwezigheid van watervegetatie en hard substraat (bijv. dood hout) hebben een positief effect op de dichtheden en soortsamenstelling van de visgemeenschap (Buijse et al., 2002; Górski et al., 2012). Daarnaast resulteren grotere overstromingsvlakten van meerdere vierkante kilometers in een hogere visproductiviteit, terwijl kleinere overstromingsvlakten specialistische soorten herbergen (Dorenbosch et al., 2020; Górski et al., 2012). Doordat de meeste overstromingsvlakten in Nederland relatief klein zijn, komt droogval frequent voor. Deze tijdelijke droogval van sommige wateren is, net zoals (tijdelijke) isolatie, in enkele Nederlandse uiterwaarden een voorwaarde om als leefgebied in aanmerking te komen (Dorenbosch et al., 2020). De vereisten die visgemeenschappen in geïsoleerde uiterwaardwateren stellen aan hun omgeving is samengevat in Tabel 8.

*Tabel 8. Algemene vereisten visgemeenschap in geïsoleerde uiterwaardplassen.*

*Table 8. General boundary conditions of the fish community in isolated floodplains waters.*

Parameter	Beschrijving	Randvoorwaarden
Overstromingsduur	Absoluut minimaal 4 weken, bij voorkeur >8 weken	Min: 4 weken <sup>3</sup> Max: -
Habitatheterogeniteit	Bij voorkeur aanwezigheid waterplanten, hard substraat (dood hout), variërende stroomsnelheden en waterdiepte	Geulafhankelijk <sup>1</sup>
Overstromingsvlakte	Oppervlakte meerdere vierkante kilometers	Min: 2 km <sup>1</sup> Max: -
Verbinding met rivier	Niet noodzakelijk, bevordert dispersie	Niet noodzakelijk <sup>1</sup>
Stroomsnelheid	Lage stroomsnelheden tot stilstaand water	Min: 0,0 m/s <sup>2</sup> Max: 0,7 m/s <sup>2</sup>
Droogval	Niet noodzakelijk, matige droogval kan leefgebied bevorderen	Niet noodzakelijk <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dorenbosch et al. (2020), <sup>2</sup> Marijs et al. (2020), <sup>3</sup> Kurstjens et al. (2020)



## Bijlage 6. GIS Modellen

Twee modellen zijn opgesteld om de bewerkingen toe te kunnen passen op andere invoerbestanden. De voorbereidende bewerkingen zijn samengevat in het eerste model (Fig. B2) en de analyse in het tweede model (Fig. B3). Hieronder staat de workflow en de individuele bewerkingen besproken.

Voor de gebruikte GIS modellen is QGIS 3.16 (64 bit) gebruikt. Bij het gebruik van een andere versie zullen mogelijk kleine aanpassingen moeten worden gedaan om de bewerkingen correct uit te voeren. Indien QGIS 3.16 niet aanwezig is op de computer, installeer deze eerst. Voor het snel kunnen uitvoeren van de bewerkingen zal de 64 bit (in plaats van de 32 bit) moeten worden gedownload in verband met het beschikbare RAM geheugen. Volg na het installeren de volgende stappen:

### 1. Open QGIS

Bij het gebruik van NETCDF bestanden (.nc, zoals bij Basisprognoses), volg stap 2 t/m 5. NETCDF bestanden kunnen meerdere rasterbestanden bevatten, waardoor deze niet onafhankelijk kunnen worden geselecteerd in het model. Daarom moeten de NETCDF bestanden alvorens het openen van het model worden geopend. Indien losse raster bestanden worden gebruikt, sla stap 2 t/m 5 over.

### 2. Klik op Layer > Add layer > Add raster layer

### 3. Selecteer het NETCDF bestand en klik op OK

### 4. Een nieuw scherm opent. Selecteer hier de bestanden die betrekking hebben op de GVG, GLG en GHG. Klik op OK. De raster bestanden worden nu geopend.

### 5. Sluit de schermen af en ga terug naar het hoofdscherm van QGIS

Open het eerste model:

### 6. Klik op Processing > Graphical Modeler. Een nieuw scherm opent.

### 7. Klik op Model > Open Model en selecteer het model met de naam 'Preprocessing\_Ecotopenkaart\_final.model3'.

### 8. Het model opent (Fig. B2). Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de individuele bewerkingen en de aanpassingen die kunnen worden gedaan.

*Ecotopenkaart*: Invoerbestand. Hier hoeft nog geen bestand geselecteerd te worden. Dit wordt gespecificeerd bij het starten van het model. Als default wordt de aangepaste ecotopenkaart uit de PAGW hotspot analyse (Van Der Sluis et al., 2020) gebruikt. Indien alleen de originele ecotopenkaart beschikbaar is, zijn er twee opties: (1) een model toevoegen vóór dit eerste model, waarin de originele ecotopenkaart wordt aangepast, of (2) de originele ecotopenkaart gebruiken. Indien de laatste optie wordt gekozen, dient het model aangepast te worden in 'feature filter' (deze is gebaseerd op invoervelden die alleen beschikbaar zijn in de aangepaste ecotopenkaart).

*Tabel\_randvoorwaarden*: Invoerbestand. Het is van belang dat de waarden in 'Ecotoopgroep' in deze tabel overeenkomen met de ecotooptypen uit de ecotopenkaart, in de aangepaste ecotopenkaart is dit 'Klasse\_v3'.



*Buffer:* Deze bewerking wordt uitgevoerd zodat foutieve polygoenen worden opgezet in polygoenen die wel geldig zijn. Hier hoeft niets te worden aangepast.

*Feature filter:* In deze bewerking kunnen specifieke hotspots worden geselecteerd (default = Gelderse Poort). De andere opties zijn: Biesbosch, IJssel Vecht Delta, Grensmaas, laat leeg voor velden buiten de hotspots. Deactiveer deze filter om alle gebieden mee te nemen in de analyse (in Create Grid > selecteer 'Buffered from Buffer' in plaats van 'Filtered from Feature Filter').

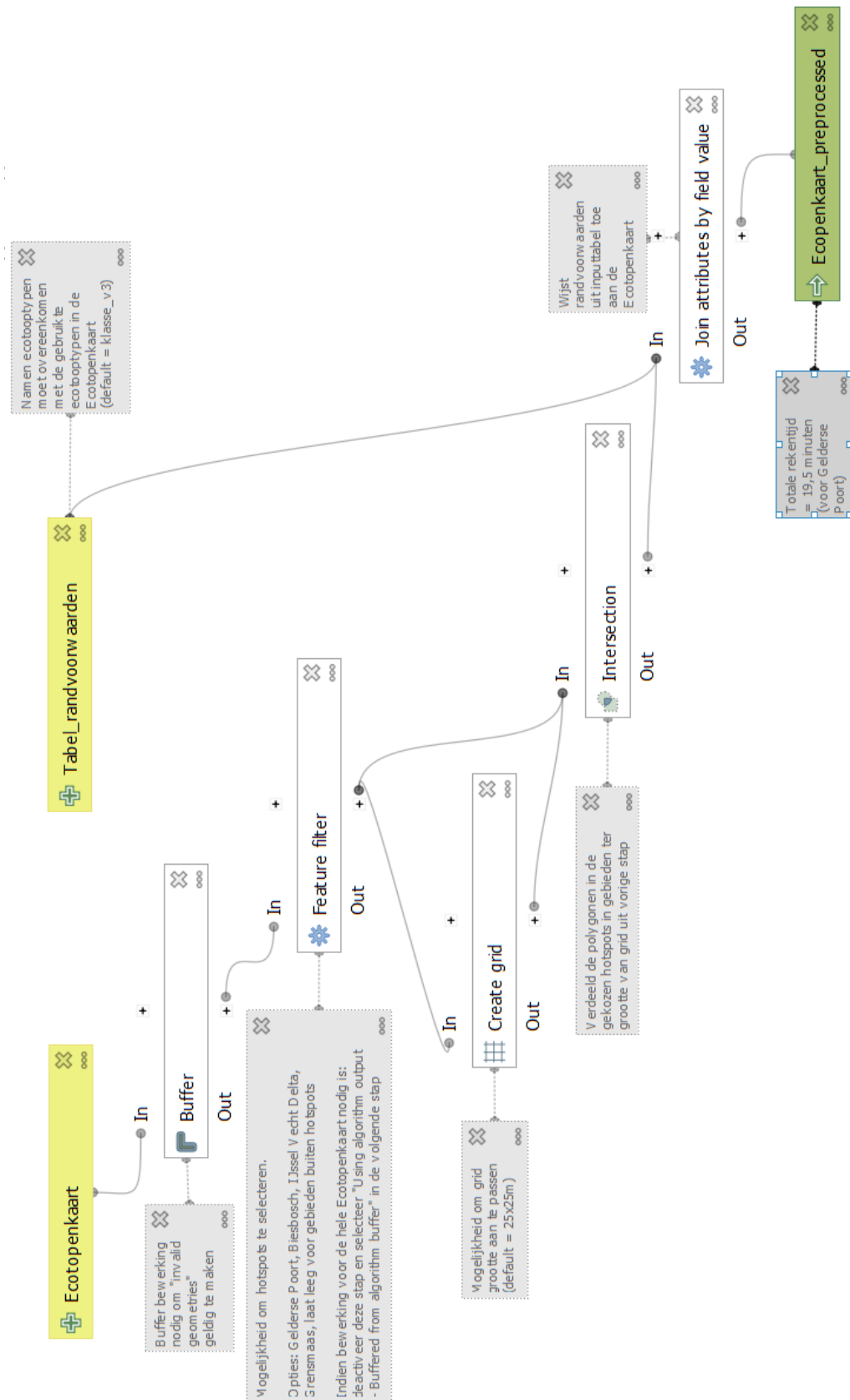
*Create grid:* Creëert een grid ter grootte van het gekozen gebied in Feature Filter. De grootte van de grid cel kan worden aangepast (default = 25 x 25 m).

*Intersection:* Combineert het gecreëerde grid met de gekozen hotspots uit de ecotopenkaart. Hierdoor ontstaat een bestand waarin de ecotopen in het gekozen gebied worden opgedeeld in polygoenen ter grootte van maximaal de gekozen grid cel grootte. Hier hoeft niets te worden aangepast.

*Join attributes by field value:* Deze bewerking schrijft de randvoorwaarden (uit Tabel\_randvoorwaarden) toe aan de ecotoopgroepen. Hier hoeft niets te worden aangepast.

*Ecotopenkaart\_preprocessed:* Uitvoerbestand. Het bestand weergeeft de ecotopen in het gekozen gebied (default = Gelderse Poort), met polygoenen ter grootte van maximaal de gekozen grootte (default = 25 x 25 m), waarin de randvoorwaarden zijn toebedeeld aan de ecotoopgroepen. Dit bestand vormt de input voor het tweede model.

- 9. Valideer het model (Model > Validate model) en repareer eventuele fouten.**
- 10. Run het model (Model > Run Model). Een nieuw scherm opent, waarin de invoerbestanden (Ecotopenkaart en Tabel\_randvoorwaarden) moeten worden gespecificeerd. Deze kunnen worden geselecteerd vanuit de geopende bestanden of vanaf een bestand op de computer. Daarnaast kan er bepaald worden wat er moet worden gedaan met het uitvoerbestand (default = openen als temporary scratch layer).**
- 11. Het model wordt uitgevoerd. Zodra deze klaar is, wordt het uitvoerbestand geopend. De rekentijd voor de Gelderse Poort met polygoenen van maximaal 25 x 25 m bedraagt 19,5 minuten. Het wordt hierdoor aangeraden dit model zo min mogelijk te draaien.**
- 12. Ga door naar Model 2.**



Figuur B2. Overzicht van model 1: de voorbereiding van de ecotopenkaart.

Figure B2. Overview of model 1: preprocessing the ecotope map.

resultaat van stap 2 t/m 5.



*Zonal statistics:* Deze bewerking berekent de gemiddelde grondwaterstand per polygoon op basis van de ingevoerde grondwaterkaart en voegt deze samen met de polygonen van de Ecotopenkaart. De benodigde rekentijd is afhankelijk van de grid cel grootte van de grondwaterkaart (default = 250 x 250 m, rekentijd = 2 minuten). Indien nodig kunnen andere statistische waarden (som, totaal etc.) worden toegevoegd.

*Field calculator:* Zet de berekende grondwaterstanden in meters om naar centimeters. Hier hoeft niets aan veranderd te worden.

*Field calculator 2:* Deze bewerking berekent of de grondwaterstanden binnen de (sub)optimale randvoorwaarden vallen. Hiervoor geldt:

- 0: water
- 1: slechte conditie (buiten de subcategorieën, te droog)
- 2: slechte conditie (buiten de subcategorieën, te nat)
- 3: acceptabele conditie, maar moet in de gaten worden gehouden (binnen de subcategorieën, droog)
- 4: acceptabele conditie, maar moet in de gaten worden gehouden (binnen de subcategorieën, nat)
- 5: goed
- 999: geen data of antropogene invloeden

*Set style for vector layer:* Deze bewerking stelt de weergave kleuren in die behoren tot de verschillende condities.

*Final\_map:* Uitvoerbestand. Het bestand geeft de condities van de ecotopen weer in het gekozen gebied (.shp).

*Export print layout as image:* Exporteert 'Final\_map' in de layout die is gedefinieerd als 'VeranderingEcotopen' (default) (.jpg).

*Exported\_map:* Uitvoerbestand. Een .jpg bestand met hierin de 'Final\_map' in de gedefinieerde opmaak.

**15. Valideer het model (Model > Validate model) en repareer eventuele fouten.**

**16. Run het model (Model > Run Model). Een nieuw scherm opent, waarin de invoerbestanden (Preprocessed Ecotopenkaart – uitvoerbestand Model 1 – en Grondwaterstanden) moeten worden gespecificeerd. Deze kunnen worden geselecteerd vanuit de geopende bestanden (stap 2 t/m 5 voor grondwaterstanden) of vanaf een bestand op de computer. Daarnaast kan er bepaald worden wat er moet worden gedaan met het uitvoerbestand (default = openen als temporary scratch layer).**

**17. Het model wordt uitgevoerd. Zodra deze klaar is, wordt het uitvoerbestand geopend. De rekentijd voor de Gelderse Poort met grondwaterstanden (grid 250 x 250 m) bedraagt enkele minuten.**



Figuur B3. Overzicht van Model 2: de analyse van vochtigheidscondities.

Figure B3. Overview of model 2: analysis of the groundwater levels.

