



Hydromorfologie KRW

Hydromorfologie als onderbouwing voor KRW doelbereik

Opdrachtgever



Hydromorfologie KRW



Hydromorfologie als onderbouwing voor KRW doelbereik

Eindrapport

Auteur(s)

Matthijs Gensen
Kris van den Berg
Michelle Rudolph

PR5029.10
februari 2024

Samenvatting

Onder de vlag van de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn de afgelopen jaren diverse ingrepen gedaan in de Rijkswateren. Voor de KRW wordt de chemie en ecologie van waterlichamen getoetst. De duiding van de relatie tussen de uitgevoerde ingrepen en de resulterende ecologie is voor verbetering vatbaar en lastig te kwantificeren. Een duiding van de beschikbare hydromorfologische monitoring in relatie tot de uitgevoerde maatregelen biedt hier wel kansen. Voorliggende studie is gericht op een kwantificatie en duiding van de hydromorfologische effecten van reeds uitgevoerde KRW maatregelen. De resultaten van deze studie vormen een potentiële bouwsteen voor de onderbouwing van het al dan niet behalen van de KRW doelen in 2027.

In deze studie zijn vier type maatregelen geanalyseerd: natuurlijker herinrichting van oevers, vergravingen in wetlands en uiterwaarden, de aanleg van nevengeulen en strangen, en streefpeilaanpassing. De analyse van iedere maatregel bestaat uit algemeen literatuuronderzoek, een gedetailleerde beschrijving van voorbeelden, een kwantificatie van relevante hydromorfologische parameters en de interpretatie van de resultaten door experts, zoals verkregen tijdens een expertsessie. De relevante hydromorfologische parameters per type maatregel volgen uit het literatuuronderzoek en de beschrijving van de voorbeelden.

Natuurvriendelijke oevers - Langs de Maas en de IJssel zijn de laatste jaren veel natuurvriendelijke oevers (NVO's) aangelegd en gemonitord. Langs de Maas lag de focus voornamelijk op het verwijderen van steenbestorting en een natuurlijke ontwikkeling van de oevers, terwijl langs de IJssel alle oevers ook direct zijn afgegraven in een flauwer profiel. De oeverhelling en oeverbekleding zijn belangrijke hydromorfologische parameters bij oevers en zijn ook van belang voor de morfologische en ecologische ontwikkeling van deze oevers. Uit de kwantificatie blijkt dat op de oevers langs de Maas er voornamelijk vegetatie is, en langs de IJssel voornamelijk zand. Het blijkt lastig om de oeverhelling nauwkeurig te bepalen. Waar dit wel mogelijk is, is bepaald dat ondanks de aanleg van NVO's de oeverhelling nauwelijks is veranderd. Uit de werksessie blijkt dat oevers te weinig ruimte krijgen voor een natuurlijke ontwikkeling met de daarbij horende oeverhellingen en vegetatietypen. Daarnaast zijn NVO's maatregelen met een relatief klein schaalniveau op de schaal van het waterlichaam. Enkele experts zeggen dat ze op waterlichaamniveau een te klein effect op hydromorfologie en mogelijk ecologie hebben. Voor het goed functioneren van NVO's zijn daarnaast nog (te) veel drukfactoren aanwezig. Star peilbeheer en scheepsgolven zorgen voor het suboptimaal functioneren van NVO's.

Vergravingen in wetland en uiterwaard - Vergravingen in wetland en uiterwaard bestaan veelal uit meerdere maatregelen. Meestal worden uiterwaarden verlaagd om de inundatiefrequenties en de variatie daarin te vergroten. De literatuurstudie naar de ontpoldering van de Noordwaard en de herinrichting van de Afferdensche en Deestsche waarden laat zien dat de maatregelen in dit type vaak grootschalig zijn en veelal voor meerdere doelen worden uitgevoerd. Het meekoppelen met andere programma's vergroot de uitvoerbaarheid van de maatregel. Het is echter onduidelijk in hoeverre de ingrepen hierdoor bijdragen aan het KRW doelbereik. De belangrijkste hydromorfologische parameters voor dit type maatregel zijn de ecotopenverdeling en inundatiekarakteristieken, waaronder inundatiefrequentie en -duur. Op het niveau van KRW waterlichamen hebben de uitgevoerde maatregelen slechts een klein effect gehad. Een groot deel van de uiterwaarden inundeert nog altijd onvoldoende als gevolg van de aanwezigheid van zomerdijken. Hetzelfde geldt voor de getijgedreven inundaties; enkel lokaal hebben de maatregelen bijgedragen aan verbeterde getijgedreven inundatie en kansen voor getijdenatuur.

Nevengeulen en strangen - Nevengeulen en strangen zorgen voor een diversiteit in stromingscondities en morfologische condities in het dwarsprofiel van een rivier. Met name de

aanwezigheid van ondiep stromend water in het dwarsprofiel is hierbij ecologisch relevant habitatgebied. De analyse licht de nevengeul in de stadsweide Roermond uit als voorbeeld. Deze geul kent een inlaatwerk en worden de stroomsnelheden volledig bepaald door de hoeveelheid afvoer die de geul in wordt gelaten. Voor geulen zijn meestroomfrequenties en stroomsnelheden belangrijke hydromorfologische parameters. Veel nevengeulen kennen echter suboptimale geulontwerpen. Een inlaatdrempel zorgt ervoor dat het water in de geul een groot gedeelte van het jaar volledig stil staat. Te grote dwarsprofielen zorgen voor te lage stroomsnelheden in de geulen. De zomerbederosie in de hoofdgeul zorgt ervoor dat geulen en strangen minder aangetakt raken en daardoor (nog) minder vaak meestromen. Ook scheepvaart is een belangrijke drukfactor voor het goed functioneren van geulen.

Aanpassing streefpeil - Bij een aanpassing in het streefpeil gaat het bijvoorbeeld om maatregelen als stuwinstellingen van de Maas of peilbeheer in de meren en delta. In het Veerse Meer is een streefpeilaanpassing gedaan. Deze zorgt ervoor dat een kleiner gebied droogvalt in de winterperiode. In de Zuidwestelijke delta zien we grote verschillen in inundatiekarakteristieken als gevolg van grote verschillen in getijslag en bathymetrie tussen de verschillende waterlichamen.

In deze studie zijn de hydromorfologische effecten van circa 150 uitgevoerde KRW maatregelen beschouwd. Ondanks beperkingen in de datakwaliteit en databeschikbaarheid heeft de studie kwantitatieve informatie opgeleverd voor deze uitgevoerde maatregelen. De hydromorfologie is op een uniforme wijze beschouwd voor alle maatregelen en op waterlichaamniveau, waardoor er inzichten zijn verkregen over de effecten van de maatregelen. Dit biedt mogelijk een manier om ecologische effecten (of het gebrek daaraan) van de uitgevoerde maatregelen beter te duiden. Meer inzicht in de effecten van drukfactoren op het hydromorfologisch en ecologisch functioneren van waterlichamen is noodzakelijk om te begrijpen binnen welke kaders ingrepen kunnen worden uitgevoerd en wat de maximaal haalbare effecten zijn, gegeven de invloed van deze drukfactoren. De invloed van scheepsgolven en peilbeheer zijn hierbij het meest relevant.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Kern van onze aanpak	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Maatregelen en hydromorfologie	4
2.1	Werkwijze selectie maatregelen en koppeling aan hydromorfologische parameters	4
2.2	Maatregelentypen en hydromorfologische parameters	4
3	Hydromorfologie bij oeverherinrichting	7
3.1	Introductie	7
3.2	Inzoomen: Natuurvriendelijke oevers langs de Maas versus de IJssel	7
3.3	Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen	10
3.4	Interpretatie in expertsessie	19
4	Hydromorfologie bij vergravingen in wetland en uiterwaard	21
4.1	Introductie	21
4.2	Inzoomen: 'Ontpoldering Noordwaard'	22
4.3	Inzoomen: 'Herinrichting Afferdensche en Deestsche Waarden'	26
4.4	Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen	32
4.5	Interpretatie in expertsessie	37
5	Hydromorfologie bij nevengeulen en strangen	39
5.1	Introductie	39
5.2	Inzoomen: Nevengeul Stadsweide Roermond	39
5.3	Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen	43
5.4	Interpretatie in expertsessie	50
6	Hydromorfologie bij aanpassing streefpeil	52
6.1	Introductie	52
6.2	Inzoomen: Peilaanpassing Veerse Meer	52
6.3	Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen	55
7	Discussie	58
7.1	Reflectie op de uitgevoerde maatregelen	58
7.2	Data en monitoring	59
7.3	Hydromorfologische stoorzenders	59

7.4	Kennishiaten	60
8	Conclusies en aanbevelingen	61
8.1	Conclusies	61
8.2	Aanbevelingen	66
9	Referenties	69
	Bijlagen	73
A	Niet beschouwde type maatregelen	73
B	Logboek hydromorfologische parameters	74
C	Bijlagen Natuurvriendelijke oevers	77
D	Figuren getijgedreven inundatie	104

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Hydromorfologische monitoring ondersteunt de interpretatie van het ecologisch functioneren van watersystemen. Hydromorfologie gaat om de karakterisering van waterbewegingen, fysieke barrières voor organismen en sediment, en om het materiaal, de vorm en structuur van oevers en bodem. Hydromorfologie vormt de basis (randvoorwaarde) voor het ecologisch potentieel van een waterlichaam. Hydromorfologische monitoring heeft een expliciete rol gekregen vanwege de Europese richtlijnen gesteld aan de waterkwaliteit in de Kaderrichtlijn Water (KRW).

De afgelopen jaren zijn diverse hydromorfologische ingrepen gedaan – en voor de KRW en de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) staan nog vele maatregelen in de planning. Deze maatregelen hebben een direct effect op de staat van het waterlichaam ('output'). Hierop volgt (mogelijk) het ecologische respons ('outcome'). De wettelijke toetsing van de KRW is hoofdzakelijk gebaseerd op de chemie en ecologie (Ecologische Kwaliteitsratio - EKR). De directe duiding van de relatie tussen ingrepen en de resulterende ecologie is voor verbetering vatbaar (Van der Lee et al., 2022). De oplossing om meer, frequenter en gericht te meten stuit op technische en financiële bezwaren. Een duiding van de beschikbare hydromorfologische monitoring in relatie tot de uitgevoerde maatregelen, dus via een tussenstap, biedt hier wel kansen.

Voorliggende studie is gericht op een duiding van de reeds uitgevoerde KRW maatregelen en een nadere uitwerking van relevante onderscheidende hydromorfologische parameters. We leiden deze parameters af en interpreteren deze voor de desbetreffende waterlichamen. We gaan hier zowel in op de kwantiteit (aantal en de schaal van maatregelen) als de kwaliteit (wat is het effect op de hydromorfologie en is dit de beoogde 'output' van de maatregel). De resultaten van deze studie vormen een bouwsteen voor de onderbouwing van het al dan niet behalen van de KRW doelen in 2027.

1.2 Kern van onze aanpak

Voor u ligt het resultaat van onze studie. Kernpunten uit onze aanpak waren:

Kwantificeren hydromorfologische toestand en dynamiek

Hydromorfologie heeft veel verschillende kanten met diverse relaties naar de ecologie. Het is daarom een complexe opgave om het effect van maatregelen in fysische processen te vangen die eenduidige ecologische interpretatie toelaat. Maatregelen kunnen ook zeer indirecte effecten hebben op het hydromorfologische functioneren van het waterlichaam. Deze relaties zijn echter dermate complex, dat een uitgebreidere studie nodig zou zijn. Daarom hebben we enkel de maatregelen beschouwd die direct ingrijpen op de hydromorfologie.

De kwantificering van hydromorfologie die we in deze studie uitgevoerd hebben, zullen zonder twijfel aan discussie en kritiek onderhevig zijn, met name omdat verschillende ecologische functies mogelijk anders reageren op eenzelfde verandering in een hydromorfologisch proces. De hier gepresenteerde resultaten dienen als een eerste poging om de hydromorfologische effecten van maatregelen te vangen in ecologisch betekenisvolle parameters, en de toekomst zal leren of op basis van beter begrip of andere beschikbare data onderdelen aangepast moeten worden.

Consistentie met Handboek Hydromorfologie 2.0 (Rijkswaterstaat, 2013) en Afleiding Hydromorfologie Rijkswateren (Arcadis, 2011)

In het Handboek Hydromorfologie 2.0 (Rijkswaterstaat, 2013) en Afleiding Hydromorfologie Rijkswateren (Arcadis, 2011) zijn vele ecologisch relevante hydromorfologische parameters afgeleid en beoordeeld. Wij namen de daar genoemde inzichten als startpunt voor de hier afgeleide hydromorfologische parameters. De veelvoud aan relevante en ook niet-relevante processen en parameters vroegen om een selectie van processen om een werkbare rekenmethodiek voor de beoordeling van de hydromorfologie van de maatregelen op te bouwen. Daarnaast leenden de definities uit het Handboek zich niet altijd voor een toepassing op maatregelen. Waar we hebben afgeweken van het Handboek Hydromorfologie en de Afleiding Hydromorfologie bij vergelijkbare hydromorfologische parameters, hebben we dit genoteerd in een logboek. Dit logboek is opgenomen in Bijlage B.

Stapsgewijze aanpak

In een stapsgewijze aanpak zijn we gekomen tot een kwantificatie en duiding van de hydromorfologische effecten van uitgevoerde KRW maatregelen. Als [startpunt](#) gebruikten we een lijst met uitgevoerde en geplande KRW-maatregelen. Deze lijst is beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat. Vanuit dit startpunt stelden we in overleg met Rijkswaterstaat een [lijst met te beschouwen maatregelen en hydromorfologische parameters](#) vast. De maatregelen zijn ingedeeld naar type. Voor ieder type maatregel bekeken we eerst of een maatregel op een directe wijze ingrijpt op de hydromorfologie. Als bepaalde type maatregelen geen effect hebben op een hydromorfologische parameter, lieten we de maatregel verder buiten beschouwing. Ten tweede selecteerden we enkel de maatregelen die volgens de toegeleverde lijst reeds zijn uitgevoerd. Ten slotte bekeken we of een afleiding van de relevante hydromorfologische parameters haalbaar is met de beschikbare data en binnen het gestelde tijdsbestek.

In de tweede stap hebben we een kwalitatieve en kwantitatieve analyse gedaan van de effecten van de uitgevoerde KRW maatregelen. Voor elk maatregeltipe hebben we in- en uitgezoomd. We [zoomden in](#) op een specifieke uitgevoerde maatregel wat ons de mogelijkheid gaf om de maatregel in meer detail te besturen en algemene lessen te trekken. Hiervoor voerden we een [literatuurstudie](#) uit. De literatuurstudie leerde ons over de totstandkoming, de oorspronkelijke inrichtingsplannen, de ideeën achter de maatregel, de verwachte effecten op hydromorfologie en ecologie en de uit monitoring vastgestelde effecten van een maatregel. Vervolgens hebben we [uitgezoomd](#) naar het niveau van KRW waterlichamen en brachten in beeld in hoeverre uitgevoerde maatregelen een effect hebben gehad op de hydromorfologie op deze schaal.

In de laatste stap hebben we de resultaat [geïnterpreteerd](#) en [geduid](#). Hiervoor hebben we een [expertsessie](#) georganiseerd. De experts zijn werkzaam bij verschillende afdelingen en regio's binnen Rijkswaterstaat en enkelen zijn extern. Met de experts hebben we besproken wat de hydromorfologische succesfactoren van individuele KRW maatregelen zijn. Op het niveau van waterlichaamniveau hebben we vervolgens besproken wat nog ontbrekende hydromorfologische factoren zijn waardoor de effecten op ecologie (en KRW doelbereik) niet waarneembaar of eenduidig waarneembaar zijn.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de selectie van maatregeltypen en de relevante hydromorfologische parameters. De geselecteerde maatregeltypen worden vervolgens ieder in een apart hoofdstuk belicht:

- Hoofdstuk 3: Natuurvriendelijke oevers
- Hoofdstuk 4: Vergravingen in wetland en uiterwaard
- Hoofdstuk 5: Nevengeulen en strangen
- Hoofdstuk 6: Aanpassing streefpeil

Binnen de hoofdstukken zoomen we steeds in op een aantal uitgevoerde maatregelen, waarna we uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen en alle relevante waterlichamen beschouwen. Hierna volgt de discussie in Hoofdstuk 7 en de conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 8.

2 Maatregelen en hydromorfologie

Het startpunt van de studie is een door Rijkswaterstaat toegeleverde lijst met uitgevoerde en geplande KRW maatregelen. De bron hiervan is het Waterkwaliteitsportaal. Daarnaast is ook een geografische weergave in de vorm van GIS-bestanden toegeleverd.

De lijst hebben we teruggebracht naar uitgevoerde maatregelen met een direct effect op hydromorfologische parameters. Paragraaf 2.1 beschrijft de werkwijze van de selectie en de koppeling met parameters. Op basis van de aard van de maatregel en het effect op hydromorfologie hebben we de maatregelen geclusterd, zodat deze vervolgens op eenzelfde wijze konden worden afgeleid. De uiteindelijke clusters beschrijven we in paragraaf 2.2. Van twee van deze clusters, 'Aanleg leefgebieden' en 'Overige inrichtingsmaatregelen' hebben we in overleg met Rijkswaterstaat vastgesteld dat deze een lage prioritering kennen in deze studie. Deze zijn uiteindelijk niet bestudeerd.

2.1 Werkwijze selectie maatregelen en koppeling aan hydromorfologische parameters

De oorspronkelijke maatregelenlijst bestaat uit 733 individuele maatregelen. De lijst bevat ook type maatregelen die niet direct ingrijpen op de inrichting en daarmee geen effect hebben op hydromorfologische parameters. Voorbeelden hiervan zijn onderzoeken, het uitvoeren van actief visstands- of schelpdierstandsbeheer (code BE01; codes volgen uit de Aquo-standaard) en het uitvoeren van vegetatiebeheer (BE02). Deze maatregelen worden niet beschouwd in de effectbepaling. 393 Maatregelen uit de lijst hebben een duidelijk effect op hydromorfologie. Daarvan zijn er 164 reeds uitgevoerd. Voor een gerichte aanpak clusteren we deze maatregelen naar type maatregel (zie paragraaf 2.2). Bijlage A bevat een volledige lijst met niet beschouwde maatregeltypen en de reden van uitsluiting.

De type maatregelen zijn gekoppeld aan hydromorfologische parameters. Deze zijn waar mogelijk gebaseerd op het Handboek Hydromorfologie (Rijkswaterstaat, 2013). Voor het bepalen van de effecten van maatregelen zijn de parameters zoals ze zijn gedefinieerd in het Handboek echter niet allemaal geschikt. Afwijkingen van het Handboek hebben we gelogd, zie Bijlage B.

2.2 Maatregeltypen en hydromorfologische parameters

We clusteren de maatregelen op basis van type maatregel, zodat een soortgelijke aanpak kan worden gevolgd om hydromorfologische effecten te kwantificeren, te kwalificeren en te duiden. In de volgende paragrafen beschrijven de geclusterde maatregeltypen. We geven aan op welke hydromorfologische parameters de maatregeltypen primair ingrijpen.

2.2.1 Oeverherinrichting (IN05 en IN07)

Oeverherinrichtingen kunnen diverse maatregelen bevatten, maar kennen een overeenkomst in de locatie van de ingreep: de overgang van land naar water. Het doel van een oeverherinrichting is een natuurlijker overgang, waarbij doorgaans aanpassingen in [oeverbekleding](#) en [oeverhelling](#) de boventoon voeren. Ook vooroevers en oevergeulen kunnen een onderdeel zijn van oeverherinrichtingsprojecten. Vanwege de verscheidenheid aan type maatregelen en variaties in ontwerpmogelijkheden (bijv. aanwezigheid steilranden of gedeeltelijke ontstening) binnen dit cluster is het belangrijk om het gehele oeverprofiel te beschouwen. Relevante hydromorfologische parameters uit het Handboek hydromorfologie, die betrekking hebben op oeverherinrichting, zijn de helling van de oever, het dwarsprofiel en de oeververdediging. Binnen dit cluster zijn 44 maatregelen uit de oorspronkelijke maatregelenlijst uitgevoerd. Deze vallen in de volgende typen:

- IN05: Verbreden (snel) stromend water/hermeanderen, NVO groter dan 3 m en kleiner dan 10 m
- IN07: Verbreden watergang/-systeem langzaam stromend of stilstaand: NVO kleiner dan 3 m

Ook typen IN06 (Verbreden (snel) stromend water/ hermeanderen, NVO groter dan 10 m) en IN08 (Verbreden watergang/-systeem langzaam stromend of stilstaand: NVO groter dan 3 m en kleiner dan 10 m) kunnen bij dit cluster worden ingedeeld. Er zijn echter geen uitgevoerde maatregelen met deze typen.

Oeverherinrichting wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 3.

2.2.2 Vergravingen in wetland en uiterwaard (IN10)

Bij dit type maatregelen worden bodemhoogtes verlaagd om afvoergedreven of getijgedreven [inundatie van buiten de hoofdstroom](#) en de variatie daarin te beïnvloeden. Hierbij hoort enkel maatregeltype IN10: "Verbreden watergang/-systeem: aansluiten wetland". Voor verschillende type wateren kan het gaan om een andere bron van inundatie, bijv. door rivierafvoer, kwel of getij. Daarom is het belangrijk de verschillende type wateren (afvoergedomineerd rivierengebied, overgangsgebied of getijgedomineerd gebied) te beschouwen. De relevante hydromorfologische parameters zijn de [inundatiekarakteristieken](#). De effecten van veranderde inundatiekarakteristieken zijn mogelijk zichtbaar in de [ecotopen](#). Ecotopen zijn daarom een indicatie voor veranderde hydromorfologie. Binnen dit cluster zijn 50 maatregelen uit de oorspronkelijke maatregelenlijst uitgevoerd.

Dit maatregeltype wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 4.

2.2.3 Aanleg nevengeulen (IN11)

De aanleg van nevengeulen heeft een duidelijk effect op de bestaande hydromorfologie. Nevengeulen zorgen voor een diversiteit in stromingscondities en morfologische condities in het dwarsprofiel van een rivier. Met name [ondiep stromend water](#) in het dwarsprofiel is hierbij ecologisch relevant habitatgebied. Relevante hydromorfologische parameters zijn het [dwarsprofiel](#) en [stroomsnelheden](#). Binnen dit cluster zijn 48 maatregelen uit de oorspronkelijke maatregelenlijst uitgevoerd. In het GIS-bestand zijn van enkele van deze maatregelen de locaties niet precies bekend (bijv. "NL04_0152: Realiseren meanders") of zijn meerdere maatregelen onder één

maatregel geclusterd (bijv. "RWS-Y3032: Aanleg nevengeul / smalle nevengeulen als NVO's (Leefgebied)").

Dit maatregeltype wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 5.

2.2.4 Aanpassing streefpeil (IN14)

Bij een aanpassing in het streefpeil gaat het bijvoorbeeld om maatregelen als stuwinstellingen van de Maas of peilbeheer in de meren en delta. Deze maatregelen hebben een duidelijk effect op hydromorfologie. Relevante hydromorfologische parameter zijn de [waterstand](#) en de [relatie tussen afvoer en waterstand](#). Binnen dit cluster zijn elf maatregelen aangeduid op de oorspronkelijke maatregelenlijst, waarvan er vier zijn uitgevoerd, maar er slechts twee een daadwerkelijk effect hebben gehad¹. Het gaat om een aanpassing van de stuwinstelling van stuw Lith in de Bedijkte Maas en het peilbeheer in het Veerse Meer.

Dit maatregeltype wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 6.

2.2.5 Aanleg leefgebieden (IN17 en IN18)

Bij vier uitgevoerde maatregelen zijn speciale leefgebieden voor vis (IN17) of voor flora en fauna (IN18) aangelegd. Het betreft veelal het plaatsen van [dood hout](#). Op de GIS-kaart met uitgevoerde maatregelen zijn veel meer locaties aangeduid waarin met dood hout is gewerkt. Deze zijn veelal [gekoppeld](#) aan andere maatregeltypen, zoals de aanleg van nevengeulen. Bij de aanleg van leefgebieden wordt vaak wel ingegrepen op de hydromorfologie, al is dit voornamelijk zeer lokaal. Het inbrengen van dood hout veroorzaakt bijvoorbeeld zeer lokaal een grote diversiteit in stroomsnelheden, bodemhoogtes, en morfodynamiek. Op waterlichaamniveau is dit echter niet kwantificeerbaar vanwege de kleine omvang van individuele maatregelen.

Dit cluster aan maatregeltypen is niet uitgewerkt.

2.2.6 Overige inrichtingsmaatregelen (IN20)

De overige inrichtingsmaatregelen zijn zeer divers. Het gaat om zomerdijkverlagingen, ontsteningen van oevers (wat beter past onder het maatregeltype 'oeverherinrichting') en de 'Herinrichting Zwarte Meer'.

Dit cluster aan maatregeltypen is niet uitgewerkt.

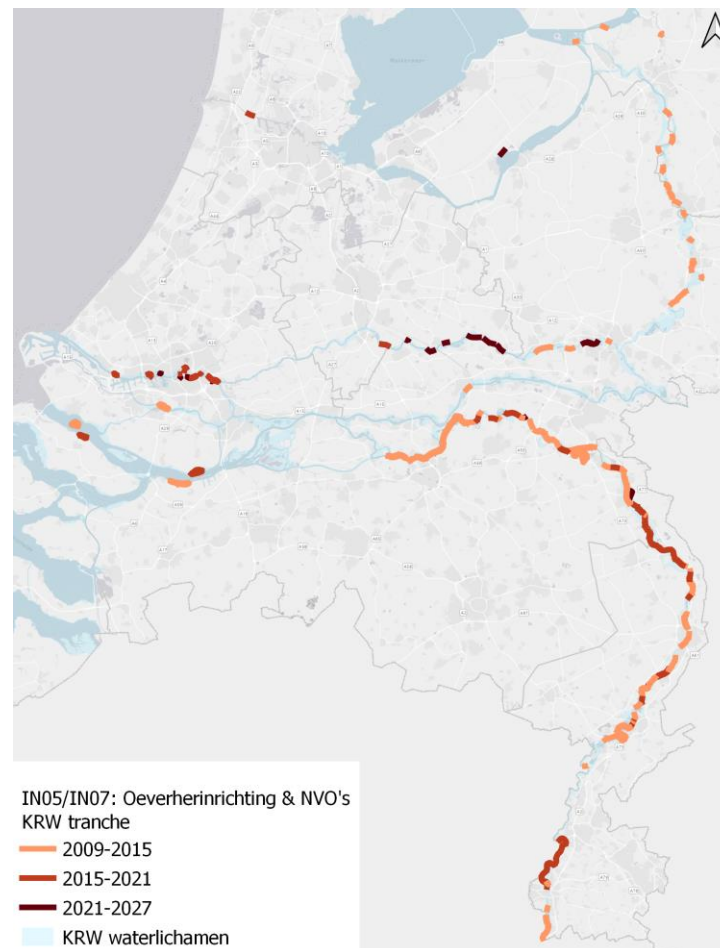
¹ De overige twee maatregelen betreffen de agendering van het fenomeen 'hydropeaking'. Dit zijn onnatuurlijke afvoerfluctuaties die worden veroorzaakt door het beheer van de stuwen en elektriciteitscentrales in Wallonië. De agendering heeft nog geen resultaat opgeleverd.

3 Hydromorfologie bij oeverherinrichting

3.1 Introductie

Natuurvriendelijke oevers (NVO's) hebben een geleidelijke overgang van water en land wat dieren en planten meer ruimte geeft en kunnen natuurlijke processen in grotere mate plaatsvinden. Diversiteit in oevers is hierin ook belangrijk, zoals de aanwezigheid van steilranden. Oeverherinrichtingen (kunnen) resulteren in NVO's. Het betreffen oevers langs waterwegen waar breuksteen en andere kunstmatige oeverbekleding (deels) verwijderd zijn en een geleidelijke overgang van water naar land is ontstaan. In het kader van KRW zijn natuurvriendelijke oevers aangelegd om de ecologische kwaliteit van de waterlichamen te verbeteren.

In dit hoofdstuk zoomen we eerst in op NVO's langs de Maas (paragraaf 3.2.1) en de IJssel (paragraaf 3.2.2). Voor deze trajecten zijn monitoringsstudies uitgevoerd die al een inzicht geven in de hydromorfologische veranderingen na aanleg van een NVO. Vervolgens zoomen we uit naar de schaal van KRW waterlichamen (paragraaf 3.3), waarbij we ingaan op hydromorfologische parameters voor alle waterlichamen. De meest relevante hydromorfologische parameters voor NVO's zijn oeverbekleding en oeverhelling.



Figuur 1: Kaart met maatregelen van type IN05 en IN07 met het moment van aanleg

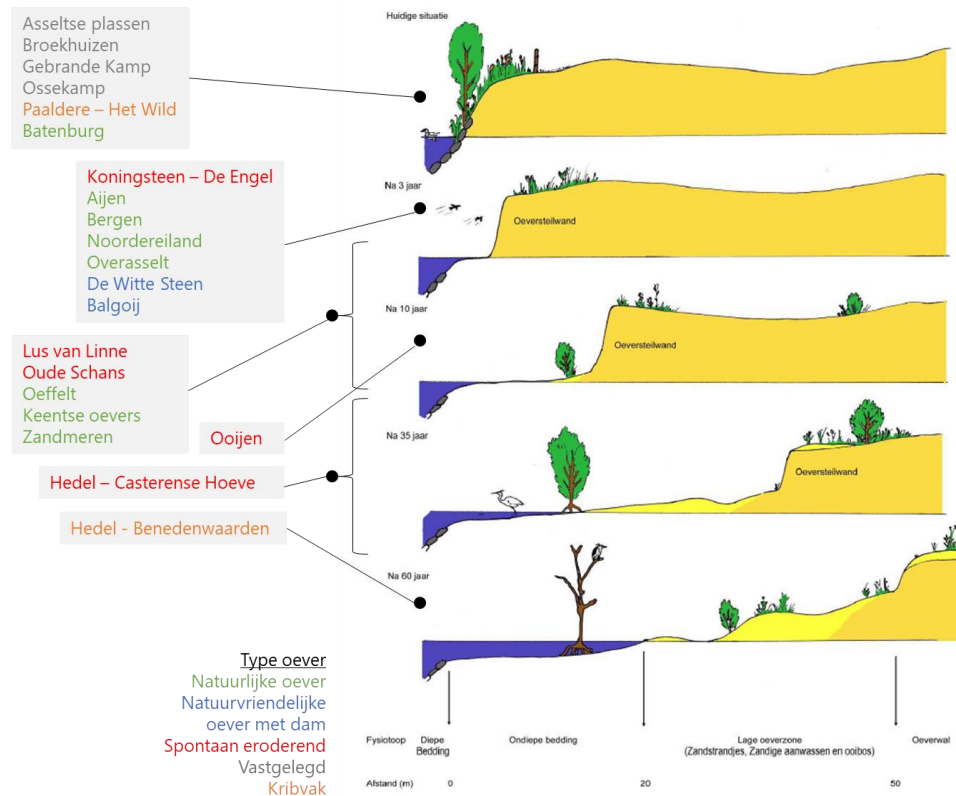
3.2 Inzoomen: Natuurvriendelijke oevers langs de Maas versus de IJssel

Langs de Nederlandse grote rivieren zijn natuurvriendelijke oevers ingericht in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Voor zowel de IJssel als de Maas hebben studies de ontwikkeling van aangelegde NVO's gevolgd. De belangrijkste resultaten presenteren we in de volgende paragrafen.

3.2.1 NVO's langs de Maas

Tussen 2008 en 2017 is meer dan 120 km oever langs de Nederlandse Maas natuurlijker ingericht (Buijse et al., 2019). Dit omvat meerdere trajecten: 4,5 km in de Bovenmaas, 10 km in de Grensmaas, 40,2 km in de Zandmaas, 26,9 km in de Bedijkte Maas en 36,7 km in de Benedenmaas (Buijse et al., 2019). Bij de meeste NVO's is er enkel ontsteend, bij enkelen is het profiel afgegraven.

Voorafgaand aan het herinrichten van de oevers is een streefbeeld opgesteld (Peters, 2005). Daarbij is uitgegaan van het verlagen van stortsteen tot ongeveer één meter onder stuwpeil. Het streefbeeld strekt zich uit over een periode van 60 jaar, waarbij de snelheid van het ontwikkelingsproces varieert afhankelijk van lokale omstandigheden. Figuur 2 (rechterzijde) geeft een overzicht van de verschillende ontwikkelingsfasen. In de eerste fase ontstaat een steile oeverwand die geleidelijk erodeert. Hierdoor ontstaat een ondiepe rivierbedding en uiteindelijk een lage oeverzone met zandstrand en ooibos. In het laatste stadium is geen steile oeverwand meer aanwezig.



Figuur 2: Ontwikkelingsstadium van de tussen 2008 en 2017 gemonitorde oevers t.o.v. het opgestelde streefbeeld voor NVO's langs de Maas (natuurlijke oever: oever waar kunstmatige oeverbekleding (deels) is verwijderd en natuur haar gang kan gaan; natuurvriendelijke oever met dam: oever waar een geleidelijke overgang van water naar land is ontstaan en een dam is aangelegd ter bescherming; spontaan eroderend: oever die gevoelig is voor erosie; kribvak: oever tussen twee kribben; vastgelegd: oever die is verstevigd, versterkt of vastgelegd om erosie tegen te gaan) (gebaseerd op Peters (2005) en Buijse et al. (2019)).

Om de ontwikkelingen van deze NVO's te onderzoeken, vond in dezelfde periode een monitoringsprogramma plaats. Daarbij zijn 21 verschillende type oevertrajecten gevolgd, waaronder NVO's, spontaan eroderende oevers, kribvakken en vastgelegde oevers. Bijlage C.1 geeft een overzicht van de gemonitorde oevers. Onder andere via luchtfoto's en inmetingen van steilranden is informatie verzameld over hydromorfologische parameters, zoals oeverontwikkeling, dwarsprofielen en bodemligging van het onderwaterprofiel (Buijse et al., 2019).

Op basis van deze gegevens is bepaald in welk ontwikkelingsstadium de gemonitorde oevers zich bevonden in 2017 ten opzichte van het opgestelde streefbeeld (Figuur 2, linkerzijde). Dit laat zien dat de meeste natuurvriendelijke oevers grotendeels nog in de beginstadia zitten. De oevers bij Hedel (Casterense Hoeve, Benedenwaarden) zijn het verste ontwikkeld en komen daarmee het dichtst bij een evenwichtssituatie en bieden daarmee mogelijk de grootste ruimte voor ecologische ontwikkelingen.

3.2.2 NVO's langs de IJssel

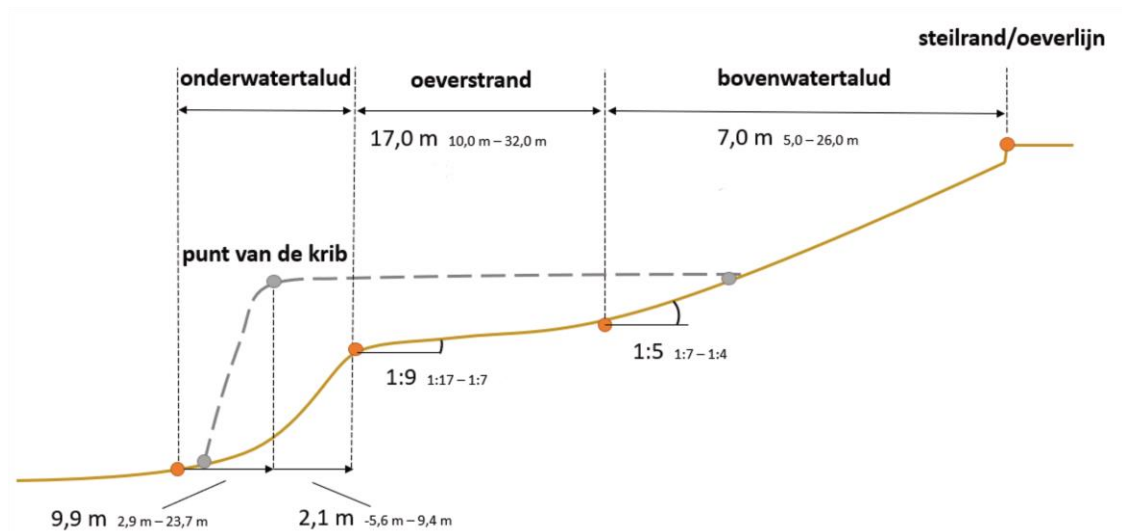
Ook langs de IJssel werden tussen 2016 en 2017 NVO's aangelegd als onderdeel van de KRW. De oevers zijn vrijgemaakt van stortsteen, waardoor de oeverlijn zich landwaarts kan verplaatsen.

In 2021 is een studie uitgevoerd waarbij NVO's op 24 locaties langs de IJssel zijn beschouwd (Duró en Schippers, 2021). Deze NVO's hebben een totale lengte van 16,1 km op een totale oeverlengte (inclusief aangetakte wateren) van ruim 600 kilometer. Bijlage C.2 geeft een overzicht van de locaties en aanlegjaren van deze NVO's. Oevers die eerder zijn ontsteend of nooit een bescherming hebben gehad worden pre-KRW NVO genoemd.

Anders dan langs de Maas, waar de focus voornamelijk lag op het verwijderen van steenbestorting, zijn langs de IJssel de oevers ontsteend en direct afgegraven in een vooraf opgesteld evenwichtsprofiel (tot de Middelbare Rivierstand, de gemiddelde stand in de maanden mei t/m oktober -1m ontsteend, dan geprofileerd 1:10, 1:7 en 1:3 tot niveau van uiterwaard) (Duró en Schippers 2021). De reden hiervoor was het voorkomen van problemen voor de scheepvaart door directe of indirecte sedimentatie² en daarmee onvoldoende vaardiepte, wat voor de gestuwde Maas geen of een beperkter probleem was. Als een oever geprofileerd is in een vorm die aansluit bij het evenwichtsprofiel, treedt na aanleg nog weinig erosie op en kan de scheepvaartfunctie worden gegarandeerd. Hoewel ongewenst voor de scheepvaart, is een eroderende oever voor de ecologie juist wenselijk.

Figuur 3 geeft afmetingen en hellingen van een typische doorsnede van de gemonitorde NVO's langs de IJssel weer. Het oeverstrand is over het algemeen het breedste deel van de oever (gemiddeld 17 meter breed) met een helling van 1:9. Rond de kribhoogte gaat het oeverstrand over in het bovenwatertalud. Het bovenwatertalud van de oevers is nog relatief steil met een helling 1:5. Steilranden komen relatief weinig voor en waar ze voorkomen zijn ze relatief laag.

² Directe sedimentatie betreft sedimentatie van materiaal dat erodeert van de oever en neerslaat in de vaargeul. Indirecte sedimentatie treedt op als stroomsnelheden in de vaargeul afnemen doordat de rivier ter hoogte van de NVO breder is geworden (Duró en Schippers, 2021).



Figuur 3: Afmetingen van de doorsneden van de gemonitorde NVO's langs de IJssel (eerstgenoemde waarde is de 50ste percentielwaarde, daarna komt de 10e en 90e percentielwaarde volgens Duró en Schippers (2021)).

In de IJssel heeft het bovenwatertalud een andere helling dan het oeverstrand. Dit is anders dan langs de Maas. Langs de Maas wordt de waterstandsvariatie door stuwwerking beperkt en wordt daarom steeds hetzelfde deel van het oevertalud blootgesteld aan golfbelasting. Onder deze omstandigheden hebben de NVO's langs de Maas geen duidelijk onderscheid tussen het oeverstrand en bovenwatertalud.

3.3 Uitzoemen naar de schaal van KRW waterlichamen

De hydromorfologie bij dit type maatregelen beschrijven we met drie parameters:

- Paragraaf 3.3.1: ontwikkeling van NVO's in de tijd
- Paragraaf 3.3.2: oeverbekleding
- Paragraaf 3.3.3: helling boventalud

3.3.1 Ontwikkeling van NVO's in de tijd

Een grote verscheidenheid aan parameters beïnvloedt de werking en ontwikkeling van NVO's:

- **Taludhelling:**
Flauwe taluds zijn gunstiger voor water- en oeverplanten dan steile taluds (De la Haye et al., 2011). Een flauw talud zorgt voor diversiteit in standplaatsen, waardoor meer verschillende plantensoorten kunnen voorkomen. Een taludhelling van 1:10 tot 1:20 geldt daarbij als optimaal voor oevernatuur. Echter is ook een talud van 1:5 of 1:6 al een grote verbetering in vergelijking met een talud van 1:3. Idealiter reikt het flauwe talud tot aan de bodem van de watergang.
- **Afvoer- en peilvariatie (waterstandsvariatie):**
Oeverstranden van NVO's zijn flauwer waar de waterstand minder varieert. Waterstandsvariatie wordt mede bepaald door stuwen en de locatie van de oever binnen een stuwgebied (Geerling, 2017). Direct bovenstrooms van een stuw is er onder gestuwde omstandigheden geen merkbare variatie in de waterstand, terwijl deze direct benedenstrooms doorgaans maximaal is. De hoogte van de basis van het oeverstrand correleert met de meest voorkomende en de

gemiddelde waterstand (zie Figuur 2 voor de definitie van een oeverstrand). Dat komt doordat de golfenergie op deze hoogte aangrijpt (Dúro en Schippers, 2021).

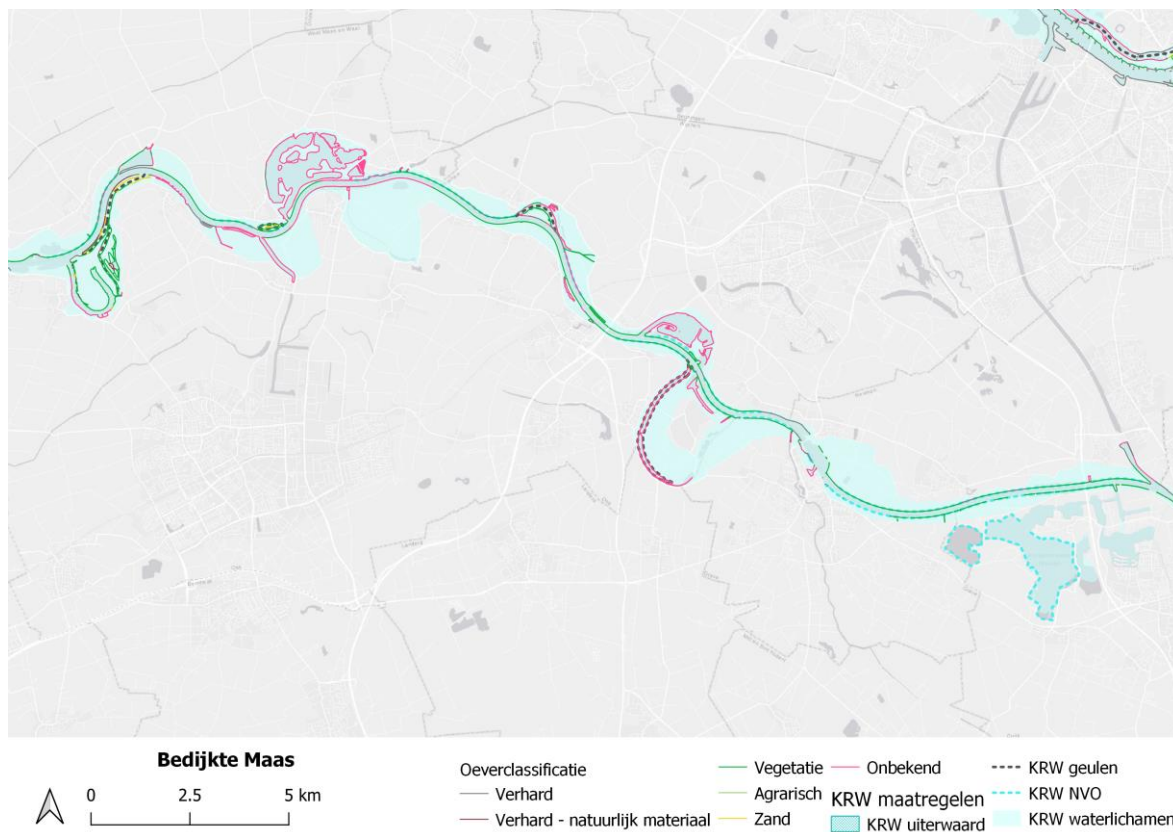
- *Substraattipe:*
Oevererosie wordt beïnvloed door het type substraat op de oevers. Zandige oevers eroderen relatief snel, terwijl de aanwezigheid van cohesieve lagen de erosie vertragen (Dúro en Schippers, 2021). Oevers onder invloed van scheepsgolven die cohesief materiaal bevatten, hebben over het algemeen een flauwer talud dan oevers die geen cohesief materiaal bevatten (Dúro en Schippers, 2021).
- *Oeverbescherming:*
Bij volledige ontstening van een oever kan het erosieproces doorgaan en leiden tot verondieping van de vaargeul. Dat kan problematisch zijn voor beroeps- en recreatievaart. Om deze reden worden oevers vaak slechts deels ontsteend en is vanaf een bepaalde diepte nog stortsteen aanwezig. Ook de aanwezigheid van een vooroever speelt een rol bij de ontwikkeling van NVO's (Buijse et al., 2019).
- *Golfslag:*
Golfslag wordt in de rivieren met name veroorzaakt door schepen. De intensiteit van scheepvaart speelt daarmee een rol voor de ontwikkeling van NVO's. Onder invloed van scheepvaart schrijdt de erosie voort tot het moment dat bij de gemiddelde waterstand de ondiepe bedding droogvalt (zie Figuur 2 voor wat wordt bedoeld met de ondiepe bedding) (Buijse et al., 2019). Het grote effect van scheepsgolven op de ontwikkeling van NVO's is bekend, maar oorzaak-gevolg relaties tussen passerende schepen en resulterende oeverprofielen zijn nog niet altijd goed te maken (Dúro en Schippers, 2021). In de meren is golfslag voornamelijk het gevolg van wind.

Andere factoren voor de hydromorfologische ontwikkeling van NVO's die in de literatuur zijn beschreven, maar waarover minder bekend is, zijn rivierbreedte, stroomsnelheid, ligging (binnenbocht, buitenbocht, recht traject), aanwezigheid en hoogte van kribben, begroeiing en afvoer- en peilvariatie (Buijse et al., 2019; De la Haye et al., 2011).

3.3.2 Oeverbekleding

Oeverbekleding voor alle oevers langs de KRW wateren leiden we af op basis van de Beheerkaart NAT (lagen oever_vlakken en water_vlakken). We volgen hiervoor de methodiek voor het afleiden van oeverclassificaties uit HKV (2023). De oeverlijn definiëren we hierbij als de randen van de water_vlakken. Het oevertype voor iedere locatie langs de oeverlijn is vervolgens vastgesteld op basis van de combinatie van deze oeverlijnen en de aangrenzende oevertypen uit de oever_vlakken. Deze aanpak neemt alleen oevervlakken in overweging die grenzen aan de hoofdgeul of aangetakt water. De rest is verwijderd. Een uitgebreidere beschrijving van de methode staat in HKV (2023).

Een koppeltabel (zie Bijlage C.3) classificeert het oevertype vervolgens in de volgende klassen: verhard, verhard – natuurlijk materiaal (bijvoorbeeld hout), vegetatie, agrarisch, zand en onbekend. De lengte van een bepaald type oeverbekleding als deel van de totale oeverlengte beschrijft de mate waarin natuurlijke processen, zoals gewenst in de KRW, kunnen plaatsvinden binnen het waterlichaam. Figuur 4 laat een voorbeeld zien van de KRW oeverclassificatie voor de Bedijkte Maas. Figuren voor de overige KRW wateren waarin NVO's zijn aangelegd staan in Bijlage C.4.

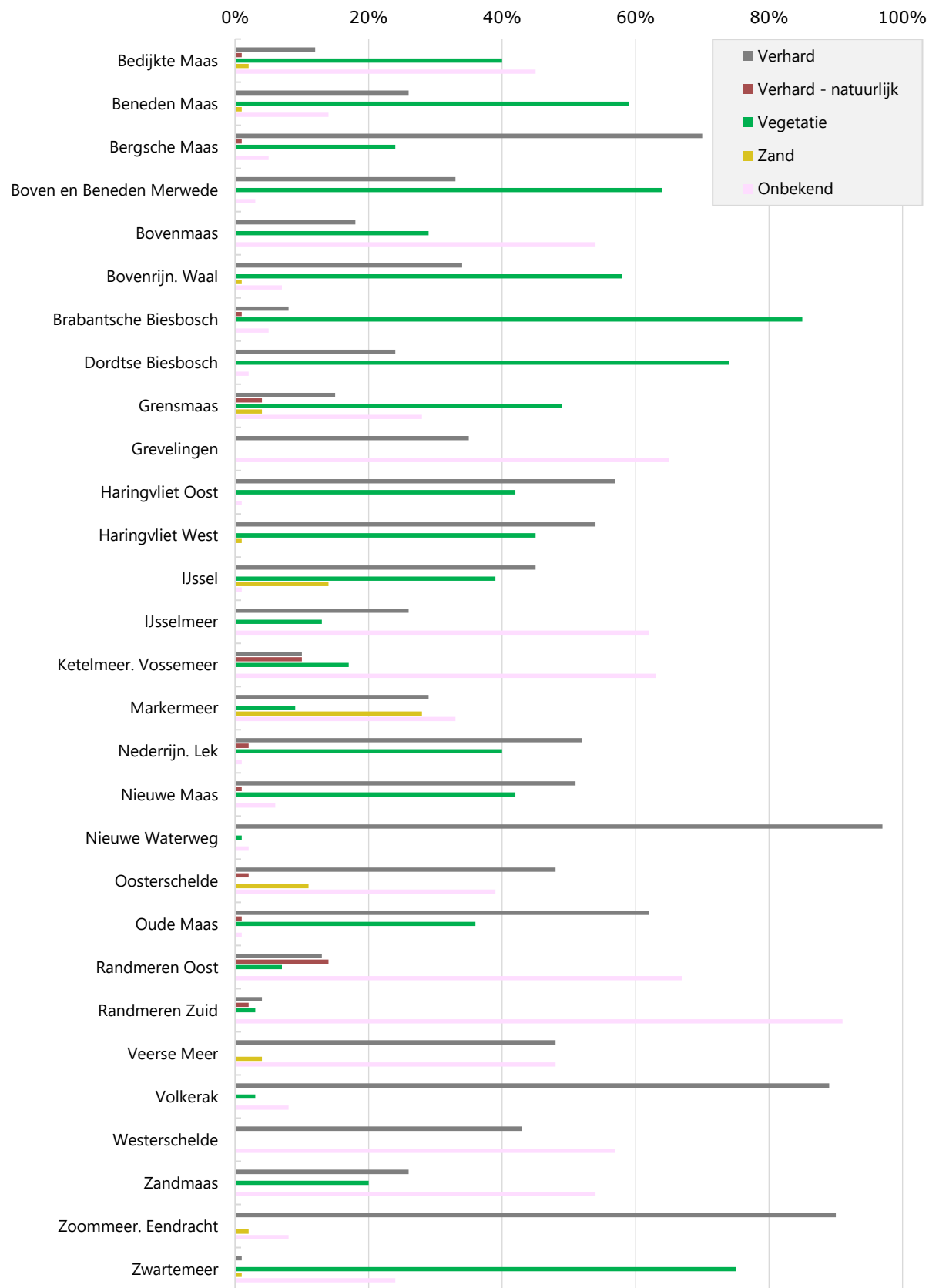


Figuur 4: KRW oeverclassificatie op basis van Beheerkaart NAT voor de Bedijkte Maas.

Figuur 5 geeft voor alle relevante KRW waterlichamen de verdeling van de verschillende oevertypen. Het grote aandeel oevers waarbij de classificatie 'onbekend' is, valt op. Veelal in de plassen en andere aangetakte wateren buiten de hoofdgeulen zijn de oevertypen onbekend. Langs de Maas zien we dat relatief veel oevers de klasse 'vegetatie' hebben. Dat geldt ook voor de Biesbosch. Ook langs de Rijntakken zijn vrij grote percentages oevers met 'vegetatie' te vinden. In tegenstelling tot de Maas waar we deze ook langs de hoofdgeul zien, vinden we de begroeide oevers langs de Rijntakken vooral in aangetakte geulen, strangen en plassen; dit leiden we af uit de figuren in Bijlage C.4. Langs de IJssel valt het relatief grote aandeel zandige oevers op (14%). Deze klasse komt in de andere waterlichamen relatief minder voor. Onze visuele inspectie leert dat we deze zandige oevers met name bij aangelegde NVO's zien. In de waterlichamen in de Zuidwestelijke delta zijn de oevers voornamelijk onnatuurlijk (klasse 'verhard').

Tabel 1 geeft de lengtes van de oevers waarin NVO's zijn aangelegd in de verschillende tranches. De grootste lengtes NVO zijn aangelegd langs de Maas in de eerste KRW tranche. Een deel van deze oevers is opnieuw opgevoerd in een latere tranche wanneer de NVO is verbeterd. In de Benedenmaas is bijvoorbeeld langs de gehele 41 kilometer aan NVO's uit tranche 1 de resterende oeverbestorting weggehaald.

Oeverclassificatie aangetakte wateren



Figuur 5: Oeverclassificatie voor oevers van de aangetakte wateren in de KRW waterlichamen. De klasse 'agrarisch' is vanwege de kleine percentages niet in de figuur opgenomen.

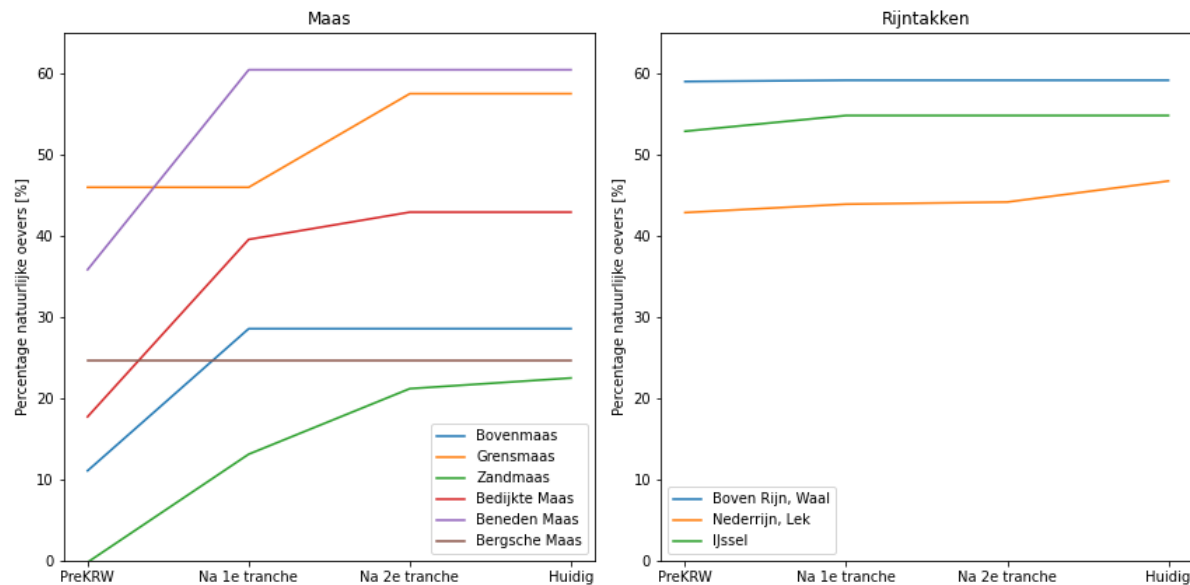
Tabel 1: Totale lengte van de oevers (beide zijde rivier, inclusief aangetakte wateren). De lengtes van de oevers waar onder KRW NVO's zijn uitgevoerd of onder KRW andere inrichtingsmaatregelen zijn getroffen. Bij de oeverlengtes KRW NVO's zijn voor enkele wateren getallen in grijs tussen haakjes genoemd. Dit betreft een nieuwe maatregel op een locatie waarin in een eerdere tranche al een NVO is aangelegd.

KRW waterlichaam	Totale lengte oevers [km]	Oeverlengtes KRW NVO's [km]				Schatting oeverlengtes andere KRW maatregelen [km]	
		2009-2015	2015-2021	2022-2027	Alle tranches	Alle tranches	
Bedijkte Maas	179	39	6	0	45	22	
Beneden Maas	167	41	0 (41)	0	41	5	
Bergsche Maas	68	0	0	0	0	0	
Boven en Beneden Merwede	251	0	0	0	0	5	
Bovenmaas	40	7	0	0	7	2	
Bovenrijn, Waal	650	1	0	0	1	88	
Brabantsche Biesbosch	737	0	0	0	0	283 ³	
Dordtse Biesbosch	217	0	0	0	0	14	
Grensmaas	156	0	18	0	18	31	
Grevelingen	183	0	0	0	0	0	
Haringvliet Oost	290	11	6	0	17	11	
Haringvliet West	114	6	2	0	8	0	
IJssel	619	12	0	0	12	89	
IJsselmeer	78	0	0	0	0	0	
Ketelmeer, Vossemeer	184	3	0	0	3	0	
Markermeer	253	0	0	0	0	0	
Nederrijn, Lek	386	4	1	10 (2)	15	38	
Nieuwe Maas	14	0	15	3 (4)	18	2	
Nieuwe Waterweg	47	0	1	0	1	0	
Oosterschelde	233	0	0	0	0	0	
Oude Maas	309	8	0	0	8	14	
Randmeren Oost	65	2	0	0	2	0	
Randmeren Zuid	10	0	0	0	0	0	
Veerse Meer	47	0	0	0	0	0	
Volkerak	55	0	0	0	0	0	
Westerschelde	296	0	0	0	0	0	
Zandmaas	459	61 ⁴	37	6	105	8	
Zoommeer, Eendracht	67	0	0	0	0	0	
Zwartemeer	28	0	0	0	0	0	

³ Betreft de Noordwaard

⁴ 12 km aan NVO's in plassen die we niet meenemen bij de oeverlijnen omdat deze niet permanent zijn aangetakt

In Figuur 6 hebben we een tijdlijn van 'natuurlijkheid' van oevers geconstrueerd. Onder natuurlijk beschouwen we hier alle oevertypen behalve het oevertype 'verhard' en 'onbekend'. Omdat er geen historische beheerkaart⁵ met oevertypen beschikbaar is, doen we de aanname dat oevers per definitie natuurlijker zijn geworden als er een NVO is aangelegd en dat deze voorheen niet natuurlijk waren (dus 'verhard'). Voor de rivieren zal dit doorgaans opgaan. We zien dat langs de Maas de NVO's in de Beheerkaart NAT met name geclassificeerd zijn als 'Vegetatie'. Langs de IJssel zijn de NVO's veelal gelegen in kribvakken. Een groot gedeelte van de oever (de kribben zelf) is hierdoor verhard gebleven (deels de 45% verharde oevers langs de IJssel verklarend). De oeverstranden tussen de kribben zijn veelal geclassificeerd als 'zand'.



Figuur 6: Schatting van de percentages natuurlijke oevers langs de Maas (links) en de Rijntakken (rechts).

Voor de zuidwestelijke delta, met name de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg, is de aanname van 'natuurlijkheid' na aanleg van NVO's niet correct. De in deze wateren aangelegde NVO's bestaan met name uit optimalisaties van oeververdedigingen en verflauwde oeverhellingen met de mogelijkheid van vegetatie op het boventalud.

3.3.3 Oeverhelling

Flauwe oevers zorgen voor een geleidelijke overgang van water naar land. Onnatuurlijke, verharde oevers kennen dikwijls steile hellingen. Natuurlijke oevers langs de hoofdgeul kennen een flauwere helling en ook meer variatie in de helling binnen het profiel en tussen profielen (Dúro en Schippers, 2021). Bij de aanleg van NVO's kan ervoor worden gekozen om enkel te ontsteden en de oever zich natuurlijk te laten verflauwen en vervormen, zoals bij de NVO's op de Maas voornamelijk gebeurt. Een alternatief, en dat wordt bij de NVO's op de IJssel veel gedaan, is het vergraven en verflauwen van de oever direct bij de aanleg.

We bepalen de oeverhelling voor dwarsprofielen langs de riviertakken. Oeverhellingen worden niet expliciet gemonitord. We gebruiken daarom het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland) omdat het AHN landelijke dekking en historische gegevens kent. Het nadeel van AHN is dat er onder water

⁵ We hebben geconstateerd dat historische ecotopenkaarten ook geen soelaas bieden. Veranderingen in opeenvolgende ecotopenkaarten zijn met name het resultaat van andere (nauwkeuriger?) classificaties en niet het gevolg van daadwerkelijke ecotoopveranderingen. Het gebruik van de historische ecotopenkaarten geeft daarom onvoldoende transparantie in de resultaten.

geen hoogtegegevens zijn⁶. Hoeveel van het water niet ingemeten kan worden, is daardoor afhankelijk van de waterstand op het moment van inwinning. Bij een hogere rivierwaterstand is een groter deel van de oever onbemeten. Dit betekent dat we enkel de helling van het boventalud kunnen afleiden.

Vanuit de rivieras van de Rijntakken en de Maas trekken we elke 100 meter dwarsprofielen. De resolutie binnen het dwarsprofiel is 0,5 meter. De hoogtegegevens verkrijgen we uit AHN2, AHN3 en AHN4. De bijbehorende periodes (in de te beschouwen waterlichamen) zijn respectievelijk 2008-2012, 2014-2018 en 2020-2022. Binnen een dwarsprofiel kan het inwinjaar van de rechteroever dus sterk afwijken van het inwinjaar van de linkeroever als de linker- en rechteroever niet in dezelfde provincie liggen.

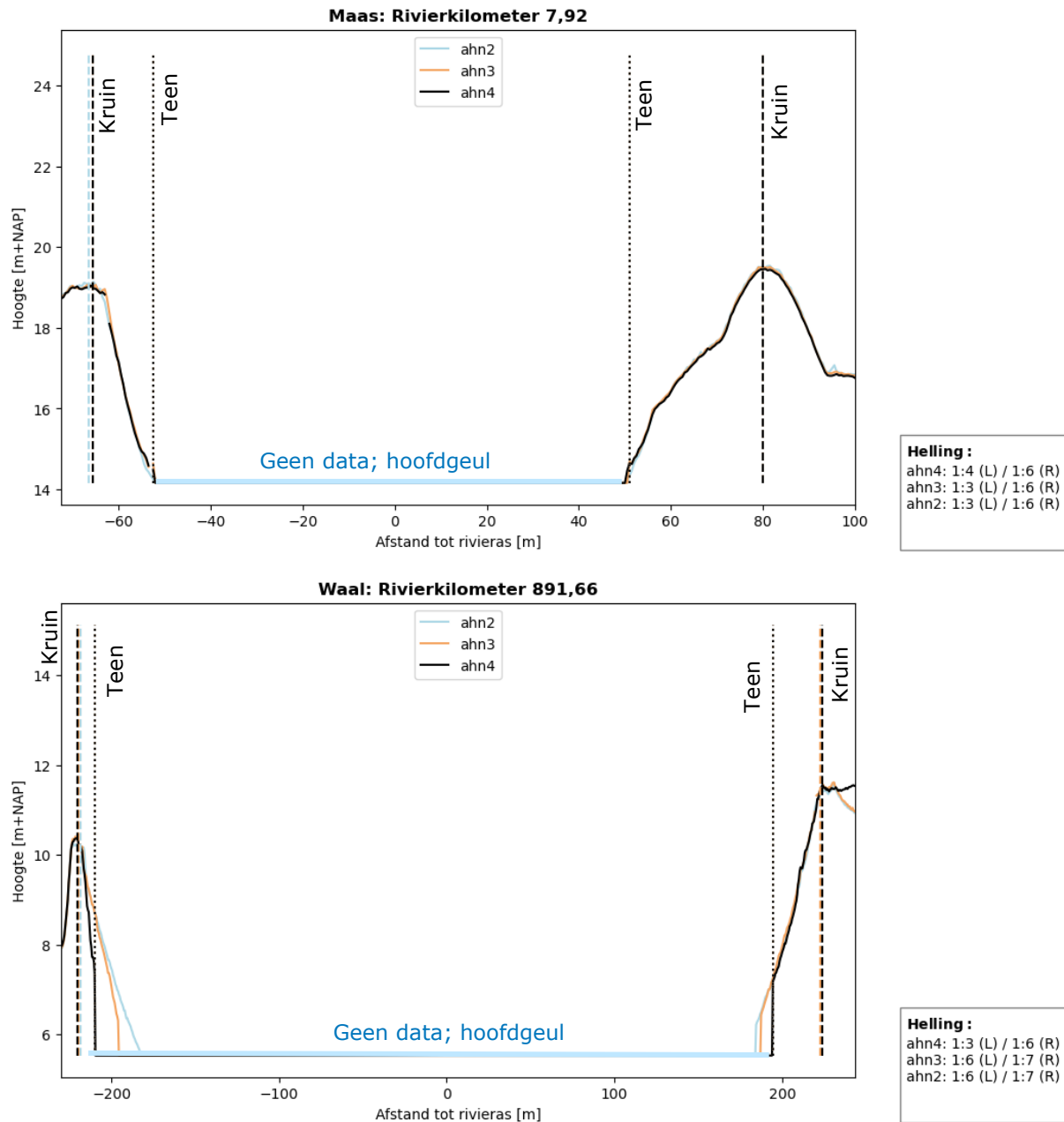
Voor de bepaling van de oeverteen en de oeverkruin maken we de volgende keuzes:

- Oeverteen: het eerste punt vanuit de rivieras gezien waar AHN2, AHN3 én AHN4 dekking bieden. De hoogte bepalen we uit een lopend gemiddelde hoogte om 'toevallig' hogere delen in de oeverprofielen niet als teenhoogte te krijgen. We middelen over 15 punten (à 0,5 meter), vergelijkbaar met Dúro en Schippers (2021). Er zijn twee alternatieven overwogen. Ten eerste kon worden gekozen om het laagste punt te relateren aan een waterstand met een bepaalde terugkeertijd (bijvoorbeeld de waterstanden bij mediane afvoeren). Dit betekent echter dat lagere delen per definitie niet worden meegenomen, ook al is daar wel dekking vanuit AHN. Anderzijds geeft het ook niet de garantie dat er dekking is in de drie versies van het AHN. Bijvoorbeeld, langs de Maas lijkt er in AHN4 voor bepaalde trajecten onvoldoende dekking rond de mediane afvoer. Bij de tweede optie kon worden gekozen om op basis van een bepaalde helling in het profiel de teen te definiëren (boventalud begint bij een helling boven de $\sim 1:11$), conform de aanpak in Dúro en Schippers (2021). Gezien de grote verschillen in oeverprofielen tussen de Maas en de IJssel geeft deze methodiek ook geen garantie dat oevers correct worden gedetecteerd, zoals ook eerder in HKV (2022a) is geconstateerd.
- Oeverkruin: het eerste punt vanuit de oeverteen waar de lopende gemiddelde helling lager is dan 1:20. De hoogte van de oeverkruin bepalen we uit de lopend gemiddelde hoogte. We kiezen voor het lopende gemiddelde om 'toevallige' lagere delen in de oeverprofielen niet als kruin te classificeren. We middelen over 15 punten (à 0,5 meter), vergelijkbaar met Dúro en Schippers (2021). We kiezen er niet voor om de 1:11 helling als grens aan te houden, zoals deze is gekozen in Dúro en Schippers (2021). Dit zorgt namelijk voor geen kruindetectie bij vele oevers, met name langs de Maas. De keuze voor een 1:20 helling komt voort uit de door ons uitgevoerde visuele inspectie van de profielen.

We sluiten oevers uit wanneer 1) geen hoogtedata beschikbaar is in AHN2, AHN3 en/of AHN4 (bijvoorbeeld de gehele linkeroever langs de Grensmaas omdat deze in België ligt), of 2) de gedetecteerde oeverteen- en kruin minder dan 15 punten (7,5 meter) uit elkaar liggen. Hierdoor kan de helling van slechts 40 à 50 procent van de oevers berekend worden.

Figuur 7 toont twee voorbeelden van dwarsprofielen met berekende oeverhellingen.

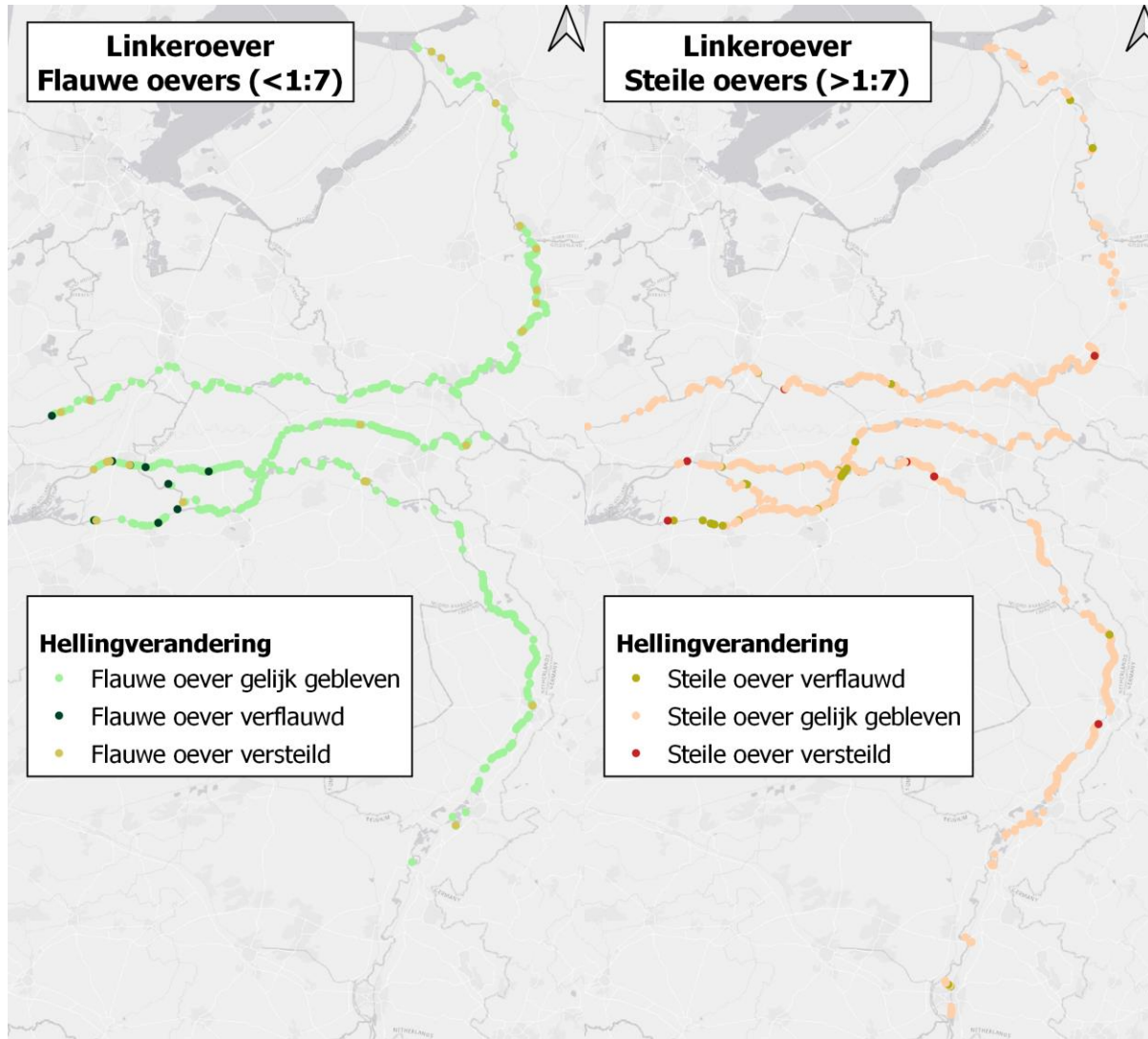
⁶ Het onderwatertalud wordt bij de aanleg van NVO's niet altijd meegenomen. In de IJssel worden oevers dikwijls ontstaan en in profiel gebracht vanaf het OLR (Overeengekomen Lage Rivierstand), welke gemiddeld 20 dagen per jaar wordt overschreden, of nog daarboven.



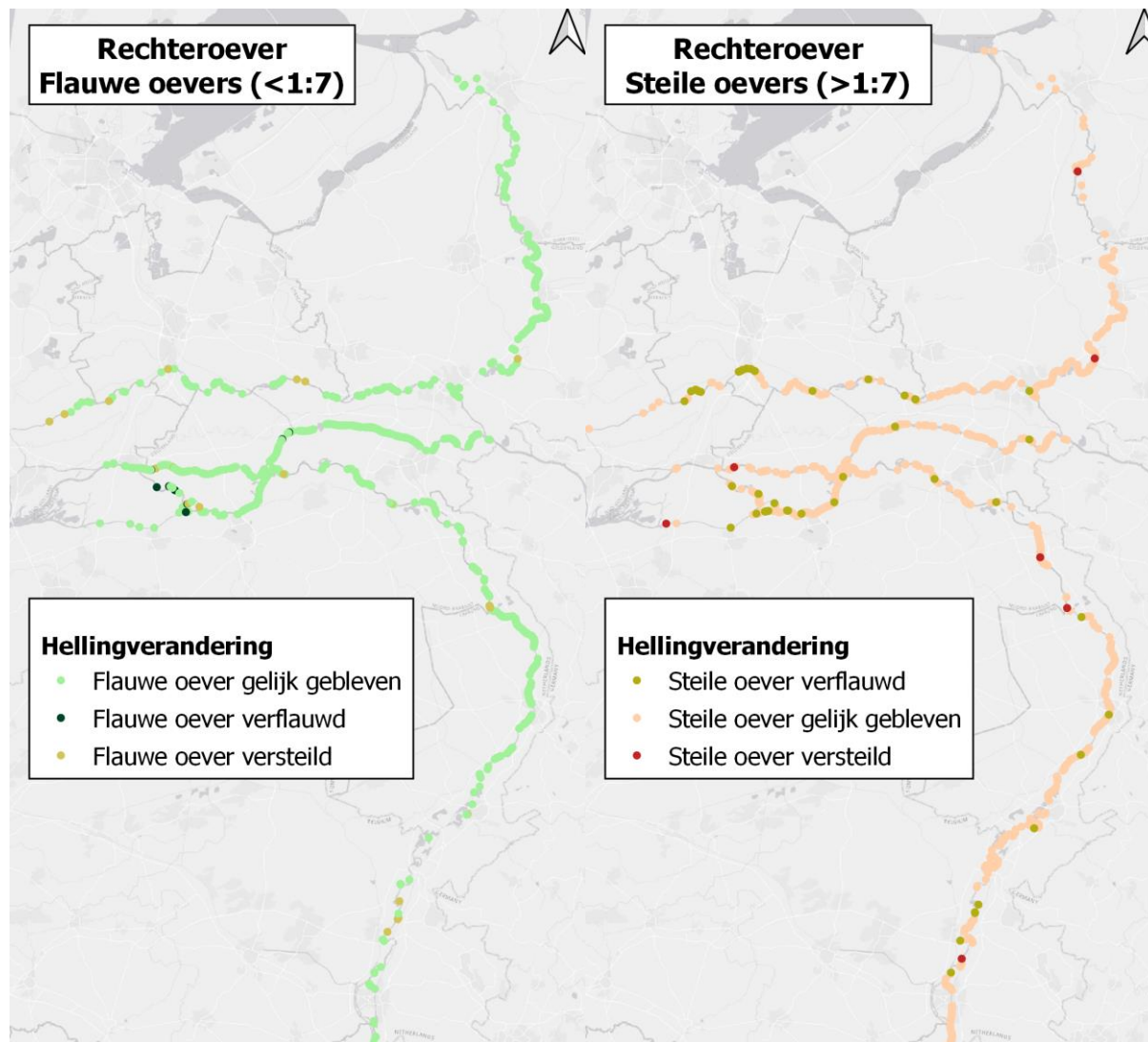
Figuur 7: Voorbeelden van geslaagde oeverdetecties bij de Maas rivierkilometer 7,9 en de Waal rivierkilometer 891,7. Bij het dwarsprofiel van de Waal is te zien dat AHN2 de meeste dekking in de hoofdgeul biedt, en AHN4 de minste.

Bijlage C.5 toont alle berekende oeverhellingen op basis van AHN2, AHN3 en AHN4. Figuur 8 en Figuur 9 tonen een geaggregeerde classificatie, waarbij de verandering in oeverhelling tussen AHN2 en AHN4 naar voren komt. We bekijken voor zowel flauwe als steile oevers of de helling ten minste 50% flauwer of steiler is geworden. De grens tussen flauw en steil ligt hierbij op een helling van 1:7. De figuren laten zien dat bij de beschikbare oeverhellingen weinig (significante) hellingveranderingen hebben plaatsgevonden tussen AHN2 en AHN4, ondanks de aanleg van NVO's langs de Maas en de Rijntakken. In totaal zou het gaan om slechts 10 km aan oevers die significant verflauwd zouden zijn. Hiervoor zijn hoofdzakelijk twee redenen mogelijk: (1) de verflauwde oevers worden slecht gedetecteerd met de methodiek of (2) oevers zijn daadwerkelijk weinig verflauwd. In Bijlage C.5 is hier een korte analyse naar gedaan. Bij de Maas zijn veel oeverhellingen daadwerkelijk niet erg verflauwd. We zien wel terugschrijdende erosie van NVO's,

maar dit levert niet automatisch een flauwere oever gemiddeld over het hele profiel op. We zien wel enkele voorbeelden van verflauwingen en versteilingen binnen het profiel, maar wat niet automatisch een geleidelijker overgang tussen land en water oplevert. Dit komt ook overeen met de literatuur (paragraaf 3.2.1). Langs de IJssel blijkt de gekozen methodiek en datakwaliteit de voornaamste reden waarom verflauwing nauwelijks wordt gedetecteerd. Omdat de oevers bij de herinrichting in profiel worden gebracht, kan gesteld worden dat het aandeel flauwe(re) oevers langs de IJssel is gestegen.



Figuur 8: Hellingverandering tussen AHN2 en AHN4 van de linkeroevers



Figuur 9: Hellingverandering tussen AHN2 en AHN4 van de rechteroevers

3.4 Interpretatie in expertsessie

Deze paragraaf is het resultaat van een werksessie met experts op het gebied van ecologie, asset management en hydromorfologie voornamelijk werkzaam binnen Rijkswaterstaat en een tweetal externen. We lichten de meest besproken onderwerpen uit en eindigen met een conclusie over de invloed op de hydromorfologische veranderingen door de uitgevoerde maatregelen op het KRW doelbereik. Onderstaande paragraaf is de interpretatie van de auteurs, waarvan de inhoud niet achteraf getoetst is bij de experts.

Resultaten

Langs grote delen van de Maas zijn maatregelen met de classificatie 'NVO' uitgevoerd, zie Figuur 1. In de beleving van experts zijn de oevers langs de Maas lang niet overal natuurvriendelijk, ondanks dat er mogelijk wel NVO's zijn uitgevoerd. De natuurlijkheid van de oevers langs de Maas wordt mogelijk overschat door de aanname dat KRW-maatregelen per definitie voor een natuurlijke oever zorgen. Grootschalige verflauwingen van de oevers kon bijvoorbeeld (mede vanwege hiaten in de data) ook niet worden aangetoond. De experts geven wel aan dat er langs de Maas op een aantal plekken mooie voorbeelden van oevers met steilranden te vinden zijn.

Inrichting van de maatregel

Veel oevers langs de Maas en Waal zijn ontsteend in de afgelopen decennia. Echter is daarna nog steeds te weinig ruimte voor een natuurlijke ontwikkeling met de daarbij horende (variatie in) oeverhellingen en (variatie in) oeversamenstelling. NVO's zijn idealiter breed en ondiep. Omdat bredere en diepere profielen zorgen voor het uitzakken van laagwaterstanden, extra scheepvaarthinder kunnen veroorzaken of in conflict kunnen komen met grondeigendommen, worden NVO's vaak smal en ondiep aangelegd. Ontsteende oevers zijn ten opzichte van verharde oevers beter voor de visstanden, maar voldoende ondiepe delen ontbreken om volledige ecologische winst te kunnen behalen. Enkel ontstenen is dus niet voldoende voor KRW doelbereik als oevers niet vrij mogen eroderen.

In de meren en in de delta is (in potentie) relatief meer ruimte voor de aanleg van NVO's. In de delta zijn diverse vooroevers aangelegd (deels in het kader van KRW). De waterdiepte achter de vooroevers is hier vaak te ondiep voor dagelijkse omstandigheden, waardoor visstanden hier geen mogelijkheid krijgen om te ontwikkelen. Dergelijke vooroeververdedigingen worden vaak mede uitgevoerd ten behoeve van het KRW doelbereik, echter zijn de maatregelen vaker gericht op het tegengaan van oevererosie. Oevererosie zorgt er enerzijds voor dat er geen stabiliteit in het systeem is, waardoor vegetatie niet kan doorontwikkelen. De erosie zorgt echter ook wel voor verversing van de oevers, en daarmee diversiteit in vegetatie en habitats. Het wordt met de beschikbare gegevens niet duidelijk hoe de oevers achter de oeverbescherming zich ontwikkelen.

In de IJssel bestond het plan om 30% van de oevers te ontstenen. Dit leverde echter veel kritiek op vanuit de scheepvaart, omdat dit zou leiden tot te veel scheepvaarthinder als gevolg van aanzanding in de hoofdgeul. Uiteindelijk zijn in plaats van een deel van de NVO's geulen met natuurlijke oevers aangelegd. Dit heeft waarschijnlijk een groter positief effect op ecologie rondom de rivieren dan enkel de NVO's, omdat er sprake is van ondiep stromend water in combinatie met geleidelijke overgangen tussen land en water.

Invloed op KRW doelbereik

Natuurvriendelijke oevers zijn maatregelen van relatief kleine omvang. Er zijn in het kader van KRW vele tientallen kilometers NVO's aangelegd. Daarom gaat het al met al toch om een grote schaal. Toch geven enkele experts zeggen dat ze op waterlichaamniveau een te klein effect op hydromorfologie en mogelijk de ecologie hebben. Dit heeft met name te maken met de kwaliteit van de NVO's (breedte, bekleding en helling) en de aanwezigheid van drukfactoren aanwezig. Vast peilbeheer en scheepsgolven zorgen voor het suboptimaal functioneren van NVO's.

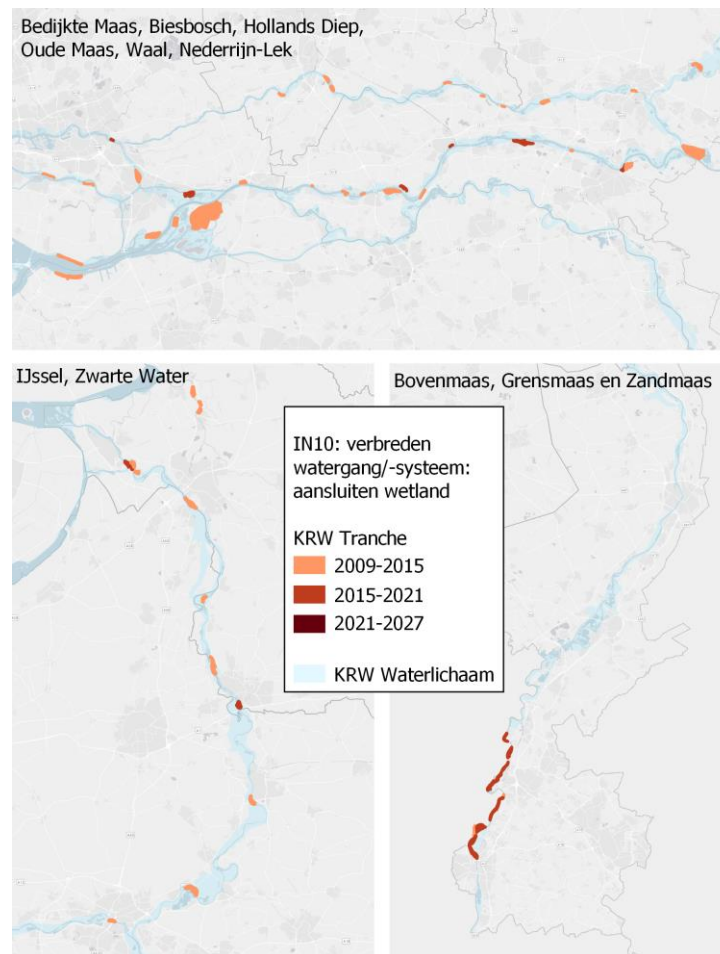
4 Hydromorfologie bij vergravingen in wetland en uiterwaard

4.1 Introductie

Vergravingen in wetland en uiterwaard kan bestaan uit meerdere maatregelen. Vaak worden bodemhoogtes verlaagd om inundatie buiten de hoofdgeul te vergroten en de variatie daarin te beïnvloeden. Het kan hier voor verschillende type wateren gaan om een andere bron van inundatie, bijv. door rivierafvoer, kwel of getij. Figuur 10 geeft een geografische weergave van de maatregelen in type IN10 met het moment van aanleg.

In dit hoofdstuk zoomen we eerst in op de ontpoldering van de Noorwaard (paragraaf 4.2) en de herinrichting van de Afferdensche en Deestsche waarden (paragraaf 4.3). Hiermee krijgen we een indruk van het type maatregel 'verbreden watergang/-systeem: aansluiten wetland'. We beschouwen de totstandkoming, de hoofd- en nevendoelestellingen uit de inrichtingsplannen en de hydromorfologie van de twee projecten. Vervolgens zoomen we uit naar de schaal van KRW waterlichamen (paragraaf 4.4),

waarbij we ingaan op hydromorfologische parameters voor alle uitgevoerde maatregelen binnen de waterlichamen. De relevante hydromorfologische parameters zijn de inundatiekarakteristieken zoals de voornaamste bron van inundatie (rivierafvoer, kwel of getij) en de frequentie van inundatie. Daarnaast geven ecotopen en ecotoopveranderingen door de tijd een indicatie van de natuurlijkheid van het systeem op de locatie van de ingrepen. De veranderde hydromorfologie (toename inundatie) kan een belangrijke oorzaak zijn van ecotoopveranderingen.



Figuur 10: Kaart met maatregelen van type IN10 (verbreden watergang/-systeem: aansluiten wetland) met het moment van aanleg

4.2 Inzoomen: 'Ontpoldering Noordwaard'

4.2.1 Beschrijving maatregel

De Noordwaard bevindt zich aan de zuidzijde van de Nieuwe Merwede tussen rkm 963 en 971 en is in het kader van de Ruimte voor de Rivier (RvdR) heringericht. De uiterwaard ligt ten noorden van het Nationale Park de Biesbosch en ten westen van Werkendam. In het oosten wordt het gebied begrensd door een oude rivierarm (het Steurgat).

Net als de gehele Biesbosch werd de Noordwaard door de Sint Elisabethsvloed in 1421 gevormd. De landbouwpolders die in die tijd aanwezig waren, veranderden toen in een intergetijdengebied (Hendriks et al., 2019). Onder invloed van eb en vloed is klei afgezet, zijn zand- en slibplaten gevormd en krekken uitgesleten. Aan het begin van de twintigste eeuw, rond 1905, werd de Noordwaard ingepolderd en door de aanleg van het Haringvliet in 1970 is de getijdenwerking bijna geheel verdwenen (Hendriks et al., 2019).

Tussen 2012 en 2015 werd de Noordwaard weer ontpolderd (Figuur 11) met als vertrekpunt de topografie van het oude krekensysteem in 1905. Deze ontpoldering, waarbij een deel van de Noordwaard is afgegraven en heringericht als doorstroomgebied, is het grootste project dat is opgenomen in RvdR. De maatregel heeft een omvang van 250 ha en is vastgelegd in het Stroomgebied beheerplan (SGBP) 2009 – 2015. Naast waterveiligheid (RvdR) was het bijdragen aan de KRW doelstellingen ook een onderdeel van het project. De ontpoldering zorgt voor extra afvoercapaciteit en daarmee voor het verlagen van de waterstand met 60 cm bij de instroomopening in Werkendam en 30 cm verder stroomopwaarts bij Gorinchem (rkm 955) (Rijkswaterstaat, 2010).

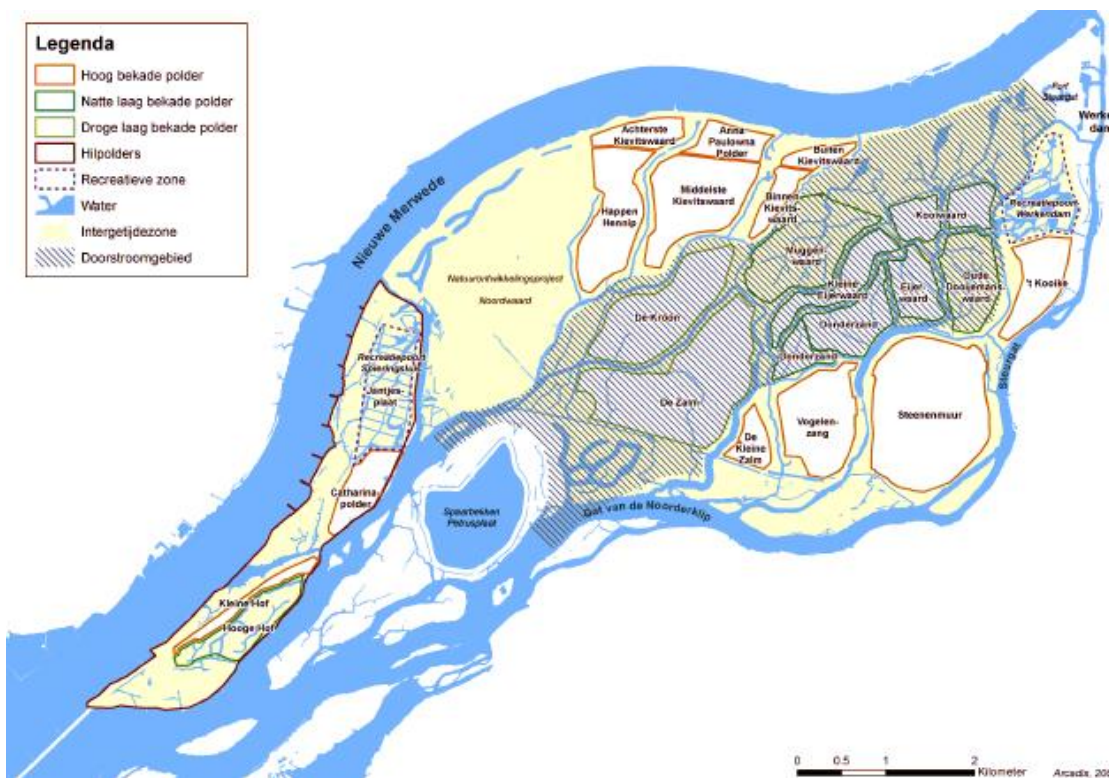


Figuur 11: Links: De Noordwaard voor ontpoldering, oktober 2007; Rechts: De Noordwaard na ontpoldering, luchtofoto 2013 (ESRI).

Verschillende werkzaamheden hebben plaatsgevonden in het gebied. Figuur 12 laat de inrichtingsmaatregelen volgens de ontwerpvisie zien. De dijken aan de rivierzijde zijn gedeeltelijk afgegraven. Daarmee is de dijkring verkleind en een gebied van 4500 ha doorstroombaar geworden. Bijna de gehele Noordwaard is op die manier veranderd in buitendijks gebied dat niet door een primaire waterkering wordt beschermd en kan overstromen bij hoogwater (Figuur 13).



Figuur 12: Inrichtingsmaatregelen bij de Noordwaard volgens ontwerpvisie (Bureau Noordwaard, 2007a).



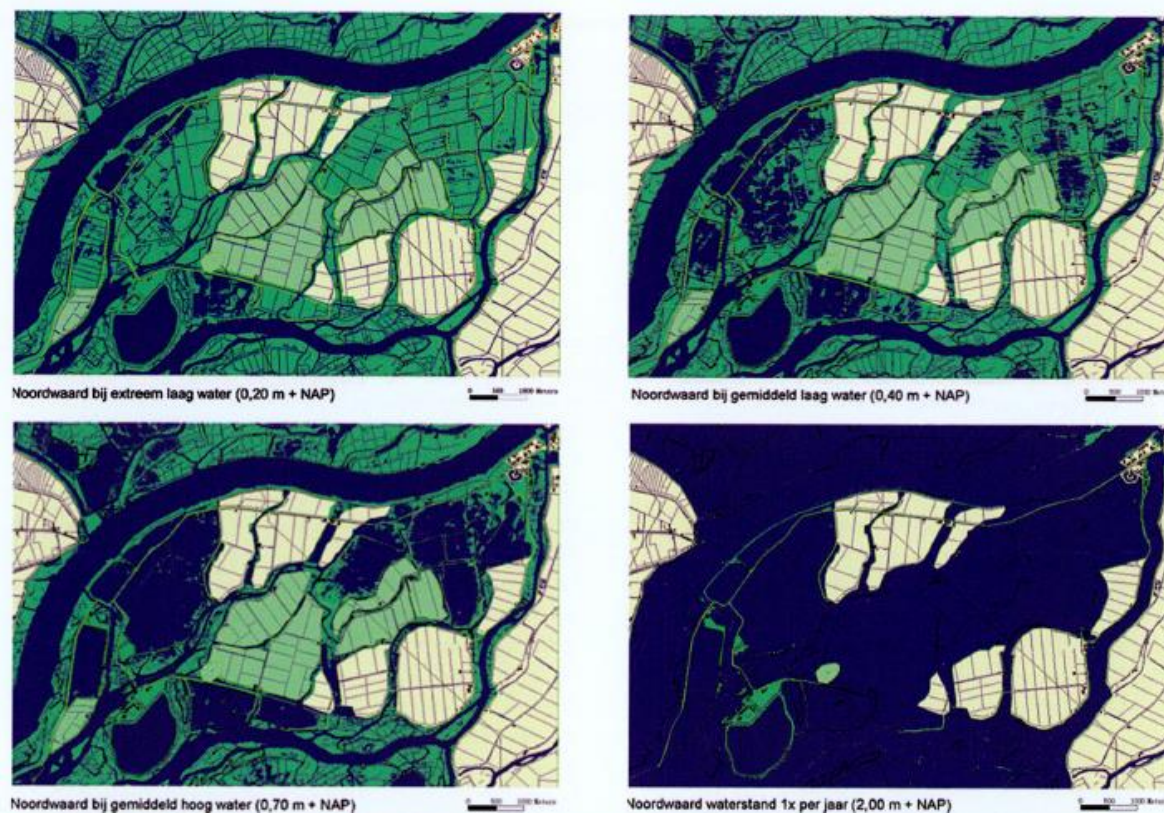
Figuur 13: Overzichtskaart van de ontpolderde Noordwaard volgens inrichtingsplan (Rijkswaterstaat, 2010).

4.2.2 Beschrijving hydromorfologie

Een deel van de Noordwaard functioneert als intergetijdengebied. Dit intergetijdengebied inundeert ongeveer tweemaal dagelijks bij vloed. Het getij stroomt vanuit het zuiden de Noordwaard in en kent daar een gemiddelde getijslag van circa 30 cm (Hendriks et al., 2019).

Bij hoogwater inundeert een veel groter deel van de Noordwaard en zorgt het voor berging (bij hoogwater vanaf zee) of voor afvoercapaciteit (bij hoogwater vanaf de Nieuwe Merwede). Aan de noordzijde ligt een drempel die inundatie bij lage afvoeren voorkomt. Deze overstroomt bij waterstanden in de Nieuwe Merwede van boven NAP+2,0 m. Om voldoende afvoercapaciteit te

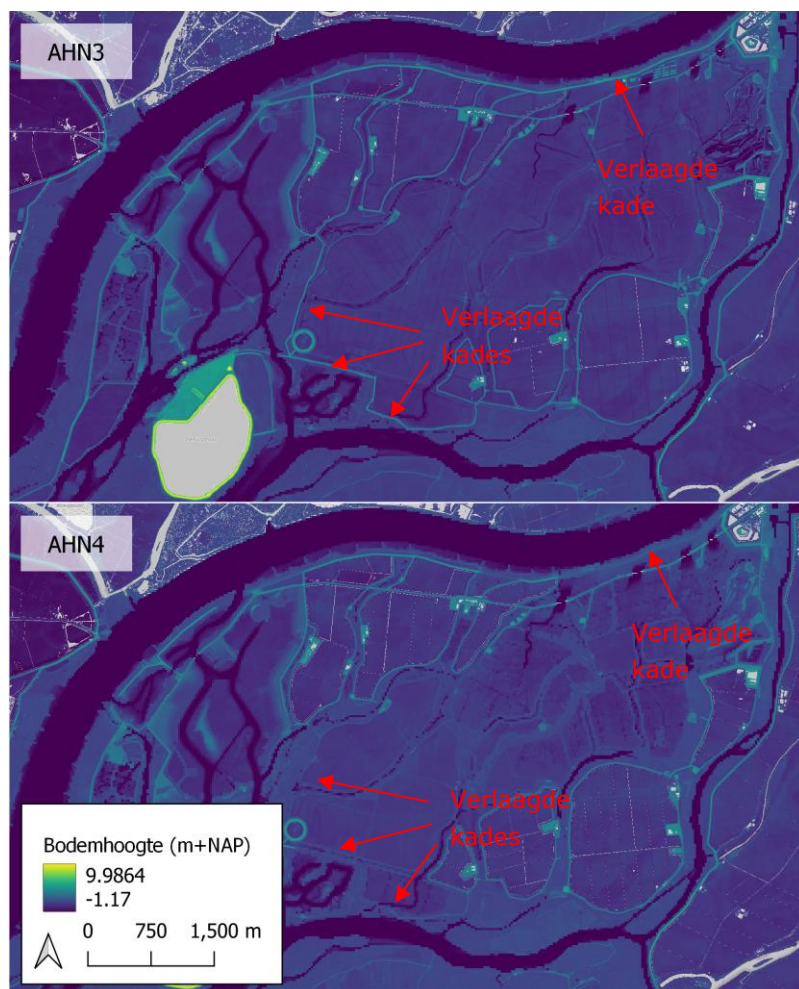
behouden, wordt de vegetatie in het najaar gemaaid om de vegetatierutheid laag te houden (Hendriks et al., 2019). Ten slotte zijn in de Noordwaard zeven afzonderlijke hoog omkade polders met akkerbouwgronden gerealiseerd (bodemhoogtes NAP +2 m en +3 m, maar nog hogere kades). Deze overstromen alleen bij hoog en extreem hoog water (1/100 jaar of 1/1000 jaar).



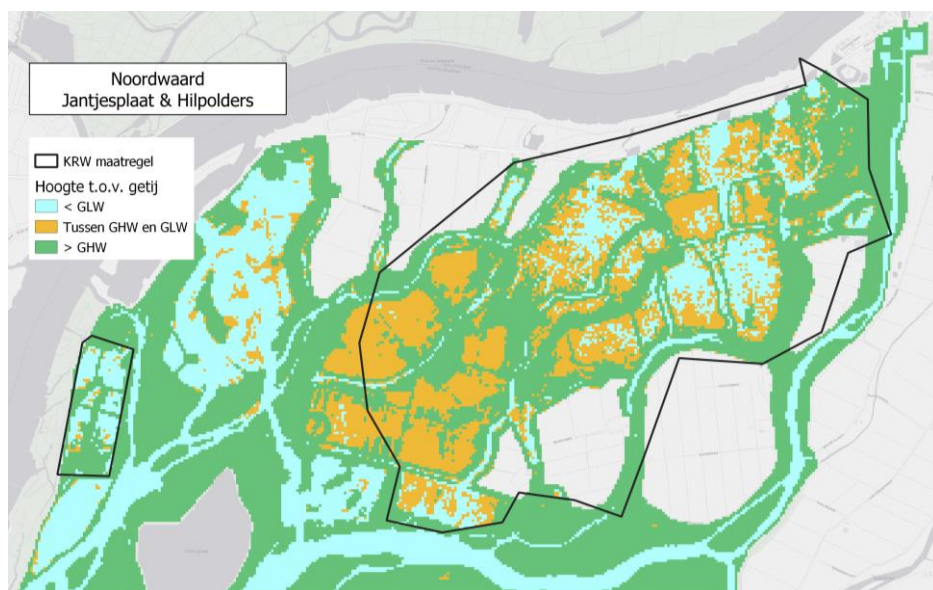
Figuur 14: Inundatie volgens ontwerpvisie: Vanaf een waterstand van NAP+2,0 m staat het gehele gebied onder water behalve de zeven afzonderlijke hoog omkade polders (rechtsonder) (Bureau Noordwaard, 2007b).

Figuur 15 laat de bodemhoogtes in de Noordwaard zien. De belangrijkste verschillen tussen AHN3 en AHN4 zijn gemarkeerd met de rode pijlen. Waar geen AHN beschikbaar is, is de meeste recente Baseline schematisatie gebruikt. AHN vertoont anders te veel locaties zonder data om de bodemhoogtes visueel te vergelijken. De omkading van de gehele waard is verdwenen en enkel een aantal kleinere waarden is conform het inrichtingsplan nog beschermd. Doorstroming kan nu plaatsvinden tijdens hoogwater, waar dit voor de invoering van de maatregel niet het geval was. In november 2023 is het gebied voor de tweede keer volledig volgestroomd vanuit de zijde van de Nieuwe Merwede. Het geïnundeerde gebied kwam ruwweg overeen met het overstromingsgebied in Figuur 14.

De meest recente bodemhoogtes (AHN en Baseline) zijn gebruikt om de (potentiële) intergetijdengebieden te kunnen bepalen. De gemiddelde getij hoog- en laagwaterstanden (GHW en GLW) zijn bepaald op basis van de waterstandsmetingen bij station Moerdijk. Deze zijn gebruikt om te bepalen welke gebieden kunnen inunderen tussen GHW (\sim NAP+0,73 m en GLW (\sim NAP+0,42 m). Het resultaat is te zien in Figuur 16. Hier wordt geen rekening gehouden met de eventuele aanwezigheid van zomerdijken. Dit zorgt ervoor dat met name in het zuidwesten van de Noordwaard het areaal intergetijdengebied niet goed wordt weergegeven. Deze gebieden zijn omringd door een zomerdijk ($>$ NAP + 1,0 m) en inunderen dus niet bij het gemiddelde getij, wat conform de inrichtingsplannen ook niet moet gebeuren (Figuur 12). Deze gebieden zijn wel een potentieel intergetijdengebied.



Figuur 15: Bodemhoogte in de Noordwaard volgens AHN3 (boven) en AHN4 (onder). In de tussentijd is het project uitgevoerd. De rode pijlen signaleren grote verschillen tussen AHN3 en AHN4.



Figuur 16: Getijgedreven inundatie in de Noordwaard. De oranje kleur geeft de gebieden gelegen tussen GLW en GHW. Er is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van zomerdijken.

4.3 Inzoomen: 'Herinrichting Afferdensche en Deestsche Waarden'

4.3.1 Beschrijving maatregel

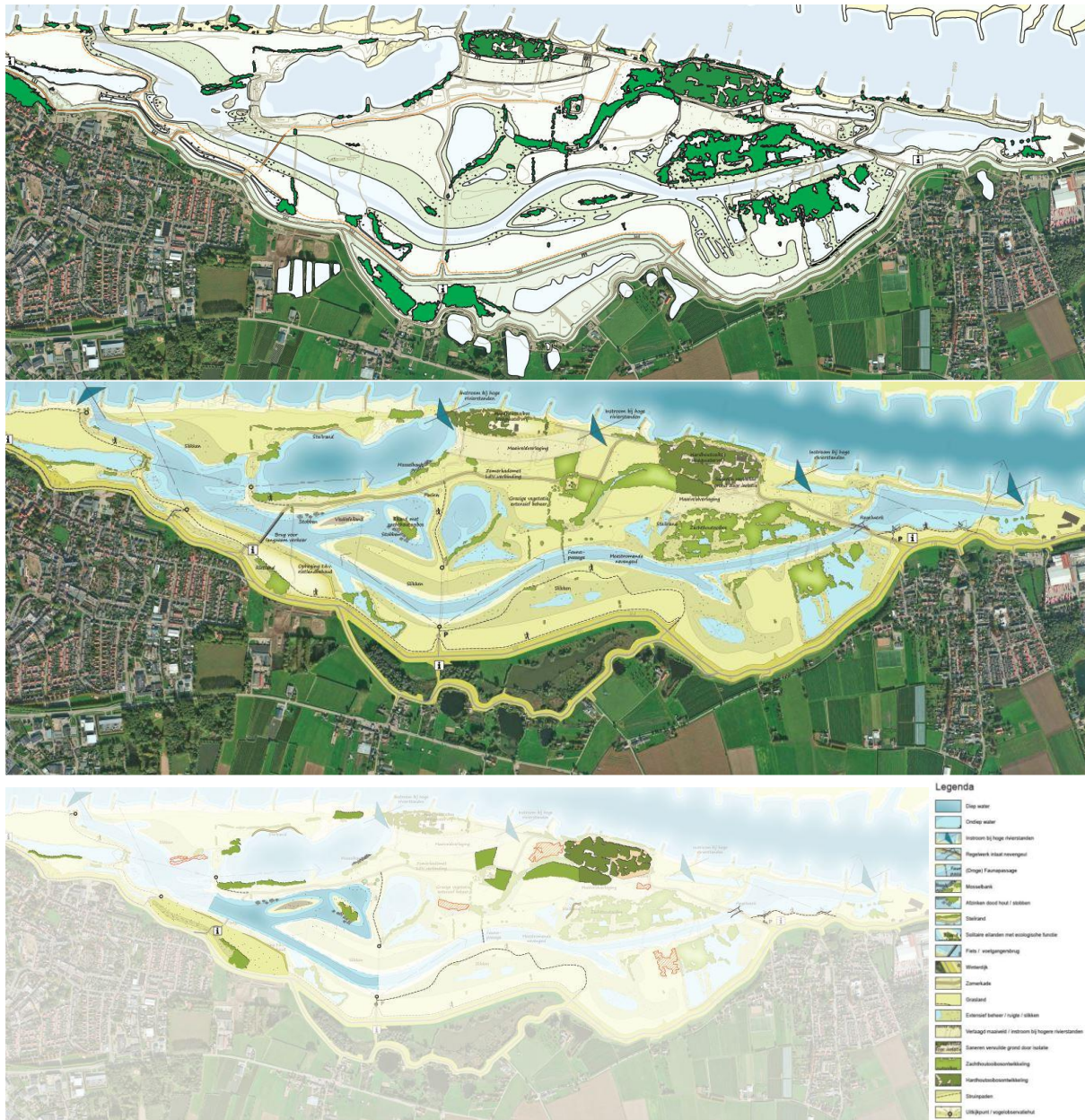
De Afferdensche en Deestsche Waarden bevinden zich zuidelijk van de Waal tussen rkm 899 en 903 (Schuurman, 2012). De waarden hebben een oppervlakte van 285 ha en zijn gelegen tussen Druten en Deest, en ten noorden van Afferden (provincie Gelderland). Ze liggen in hun geheel binnen de grenzen van het Natura 2000-gebied 'Uiterwaarden Waal' (Gemeente Druten, 2013). De bodem van het gebied bestaat uit een slechtdoorlatende deklaag van lichte klei of zavel op een zandpakket, afgewisseld met enige podzolgronden (De Boer, 2009).

In de Afferdensche en Deestsche Waarden is een nevengeul aangelegd en is de uiterwaard verlaagd in het kader van de KRW. Figuur 17 laat zien hoe het gebied is veranderd. Al in 1993 begon de gemeente met de planvorming voor de herinrichting van de Afferdensche en Deestsche Waarden (Gemeente Druten, 2013). Dat resulteerde in het eerste plan van 1996 dat zich richtte op het gedeeltelijk terugbrengen van dynamiek in het riviersysteem. Deze dynamiek was verdwenen door bedijking en normalisatie. Voorwaarde van de herinrichting was dat hoogwaterveiligheid en de functie voor scheepvaart te allen tijde gewaarborgd blijft. In het plan van 1996 was een meestromende nevengeul voorzien en het hele uiterwaardgebied was bestemd voor de natuur (Gemeente Druten, 2013).



Figuur 17: Boven: Afferdensche en Deestsche Waarden voor het verlagen van de uiterwaard en de aanleg van de gehele nevengeul, december 2005; Beneden: Afferdensche en Deestsche Waarden na de ingrepen (rode lijn: nevengeul), mei 2021 (Google Earth).

Naar aanleiding van de hoogwaters in 1993 en 1995 werd dit plan aangepast om nog meer ruimte voor de rivier te creëren. De focus lag dus naast natuur en recreatie ook op het verhogen van hoogwaterveiligheid. Dit resulteerde in het inrichtingsplan van 1999 met als onderdelen het uitgraven van de nevengeul en het verlagen van een aantal hogere delen. Volgens dit plan werd tot 2003 een deel van de nevengeul aangelegd en werd een gedeelte van de uiterwaard ontkleid ten behoeve van dijkversterking (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003). Het plan van 1999 werd uitgewerkt tot het Landschapsplan 2008 (ADW 1.0). Ten tijde van het Landschapsplan 2008 is KRW vanuit de Europese richtlijn als nationaal beleidsstuk geïmplementeerd (Boskalis, 2017). De doelstellingen die vanuit KRW zijn opgenomen voor de herinrichting zijn een 4,3 km lange permanent meestromende nevengeul (met zeer flauwe oevers) en 76 ha verlaagde uiterwaard (natte natuur) (Boskalis, 2017). De maatregelen zijn vastgelegd in het Stroomgebied beheerplan (SGBP) 2015 – 2021. Vanwege voortschrijdende inzichten, met name op het gebied van natuur, werd het Landschapsplan van 2008 aangepast en ontstond het Landschapsplan van 2016 (ADW 2.0). Figuur 18 laat de inrichtingsplannen van 2008 en 2016 zien, inclusief het verschil tussen deze twee plannen. Op basis van het Landschapsplan van 2016 is de rest van de werkzaamheden uitgevoerd (Boskalis, 2017). De uitvoering van de werkzaamheden werd vertraagd, omdat er meer tijd nodig was voor het oplossen van kwelproblematiek. In 2018 werden de werkzaamheden uiteindelijk afgesloten.



Figuur 18: Boven: Inrichtingsplan Afferdensche en Deestsche Waarden 2008 (ADW 1.0), Midden: Inrichtingsplan Afferdensche en Deestsche Waarden 2016 (ADW 2.0), Beneden: Verschillen tussen ADW 1.0 en ADW 2.0 zijn fel gekleurd (Boskalis 2017).

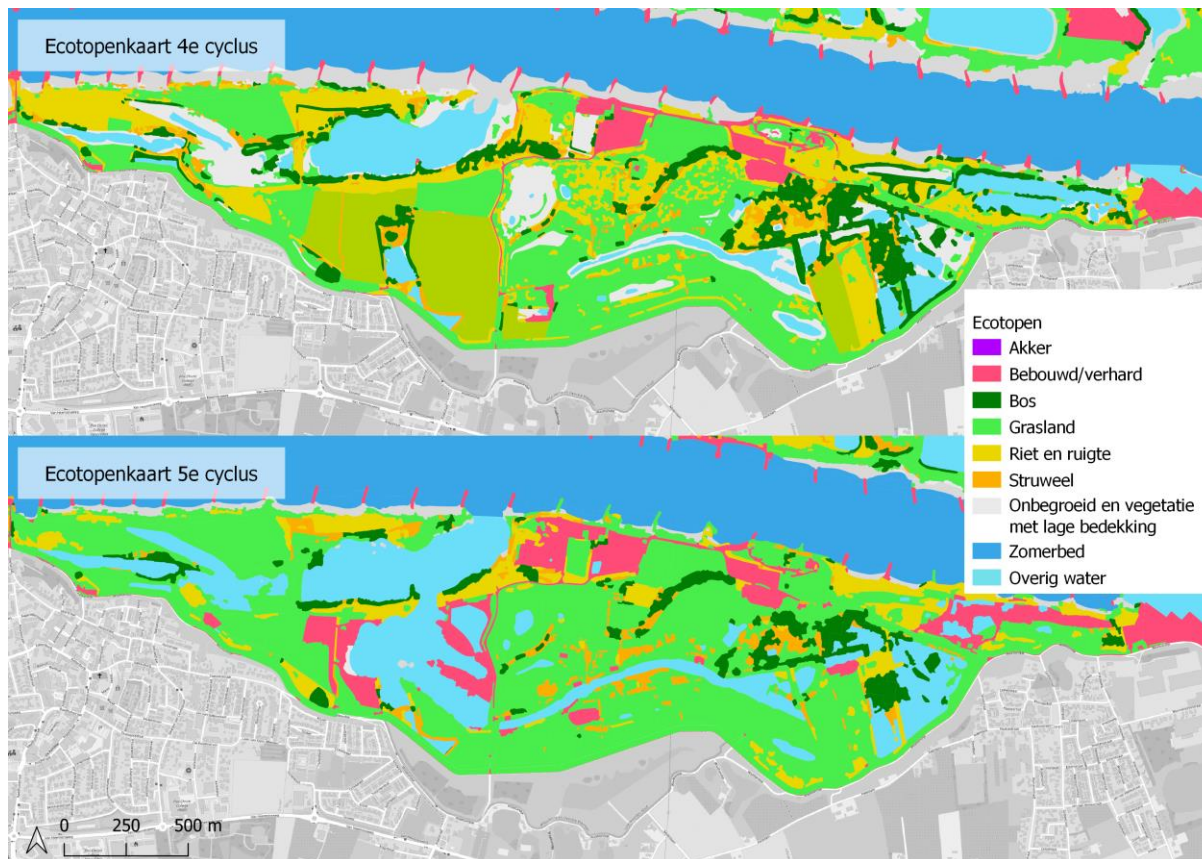
4.3.2 Beschrijving hydromorfologie

Bij de vergravingen in wetland en uiterwaard van de Afferdensche en Deestsche Waarden zijn grote hydromorfologische aanpassingen gedaan. Zo is een meestromende nevengeul aangelegd, zijn plassen gegraven en kades weggehaald.

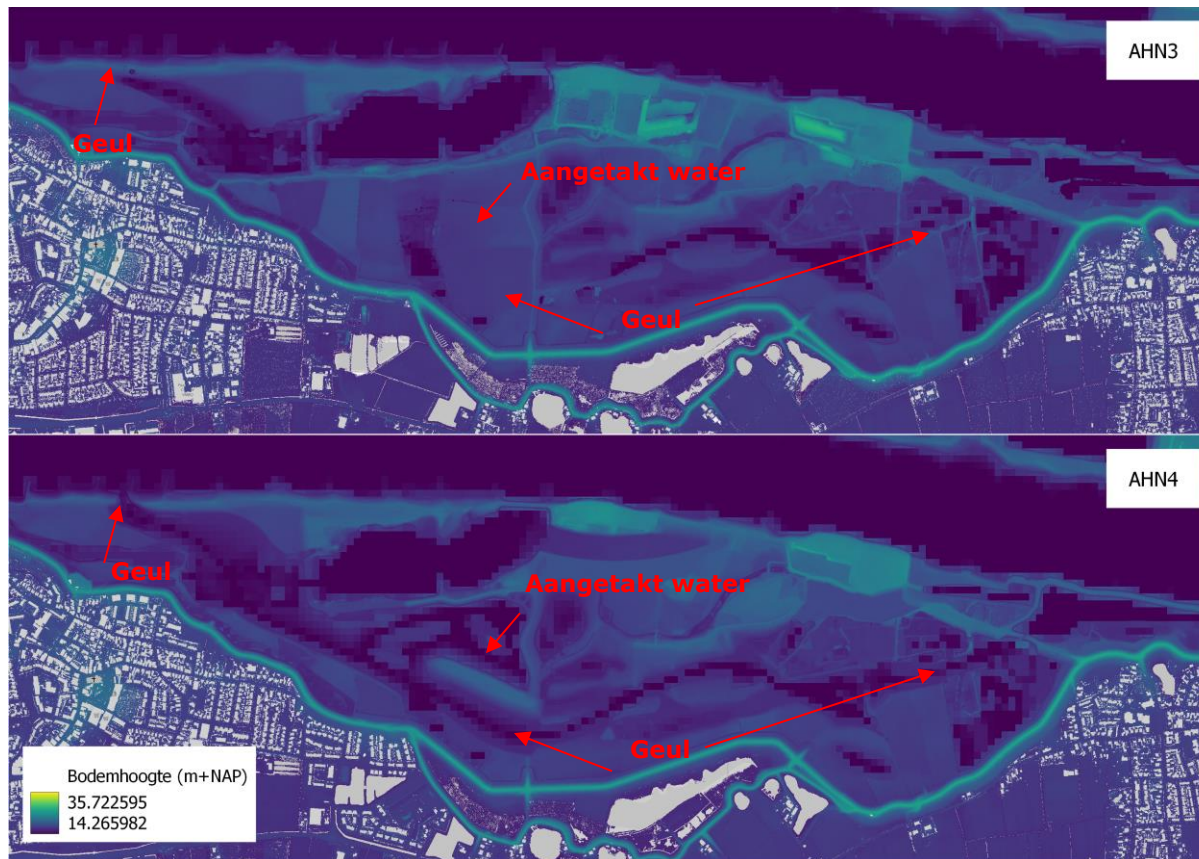
Volgens het ontwerpplan is bij het instroompunt van de nevengeul een regelwerk opgenomen om de afvoer door de nevengeul te sturen. Het afvoerregelwerk zorgt ervoor dat ongeveer 3% van de afvoer in de hoofdgeul de nevengeul instroomt. Dat geldt voor waterstanden tussen NAP+3,5 m en NAP+9,5 m bij rkm 898,6 (Waalafvoer bij NAP+9,5 m is ca. 3.600 m³/s) (De Boer, 2009). De maximale onttrekking van water uit de Waal voor de nevengeul is 5% (Gemeente Druten, 2013). Deze grenswaarde is opgelegd om aanzanding in het zomerbed te beperken. De waterstand van de

nevengeul fluctueert dus met de waterstand op de Waal. Hierdoor staan grote gebieden de ene periode onder water en vallen in de andere periode weer droog (HSRO, 2019).

Figuur 19 laat de ecotopen zien die volgens de ecotopenkaart 4^e cyclus (2012) en 5^e cyclus (2017) aanwezig zijn in de Afferdensche en Deestsche waarden. De ecotopen zijn geclusterd in hoofdcategorieën om een vergelijking mogelijk te maken. De figuur laat de veranderingen als gevolg van de herinrichting goed zien. Er is voornamelijk meer water in het gebied aanwezig, al is de aanleg van de nevengeul nog niet volledig afgerond.. Het is belangrijk om op te merken dat dit ook administratieve veranderingen, verkeerde classificaties en aanpassingen in beheer betreffen. Dit verklaart mogelijk waarom er in de 5^e cyclus meer van de ecotoop 'Bebouwd/verhard' aanwezig is.



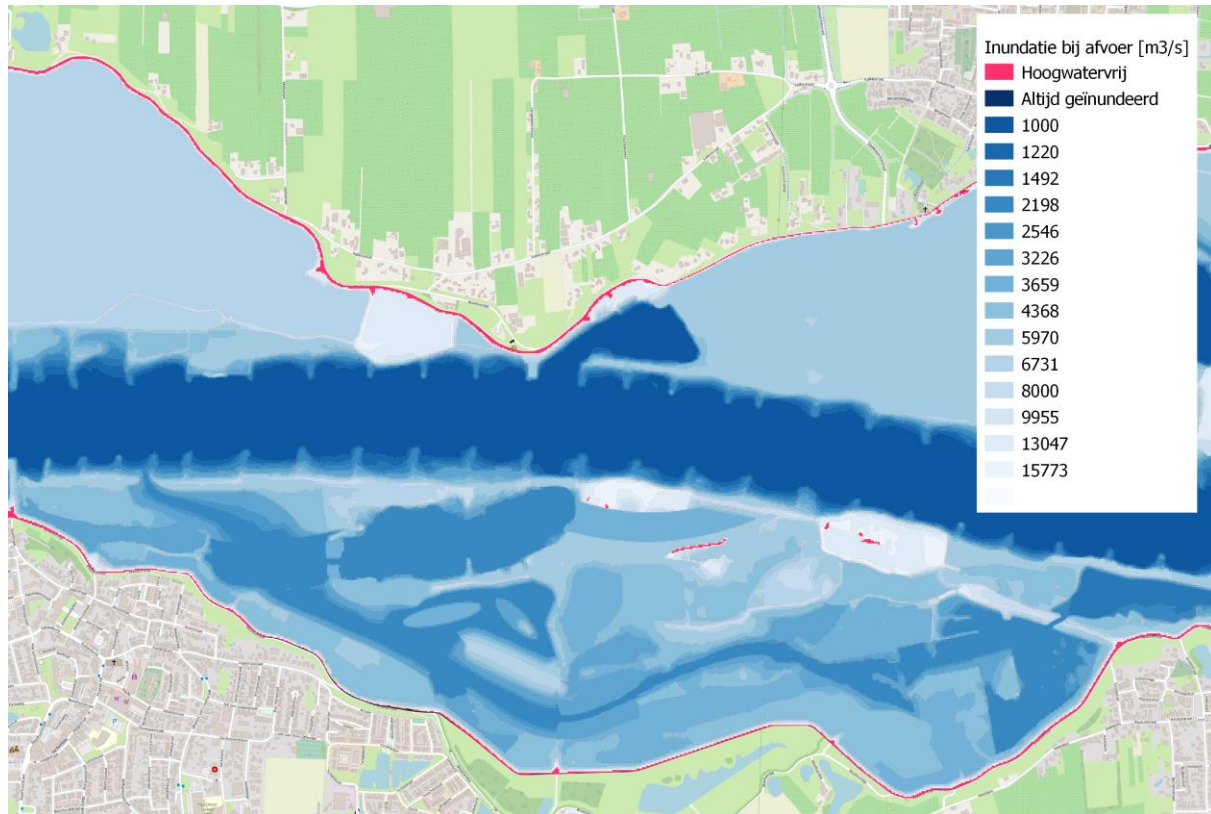
Figuur 19: Ecotopen in de Afferdensche en Deestsche waarden in de 4e cyclus en 5e cyclus. Hiertussen is een deel van de vergravingen in wetland en uiterwaard uitgevoerd.



Figuur 20: Bodemhoogtes voor de Afferdensche en Deetsche waarden vóór (boven) en na (onder) invoering van de maatregel. De grootste veranderingen als gevolg van de maatregel zijn gemarkeerd met de rode pijlen

Figuur 20 toont de bodemhoogtes volgens AHN3 en AHN4 in de Afferdensche en Deetsche waarden. Figuur 21 laat de huidige inundatiekaart van de Afferdensche en Deetsche waarden zien. In de figuren zijn de geul en de plassen duidelijk zichtbaar. De geul is aan de bovenzijde aangetakt bij afvoeren van 1492 m³/s bij Lobith. Volgens de inundatiekaart is echter de rest van geul pas stroomvoerend bij afvoeren van 2198 m³/s bij Lobith. Dit zou betekenen dat de geul meer dan de helft van de tijd niet stroomvoerend is, maar slechts eenzijdig aangetakt. Het is echter onwaarschijnlijk dat de meestroomfrequentie dermate laag is.

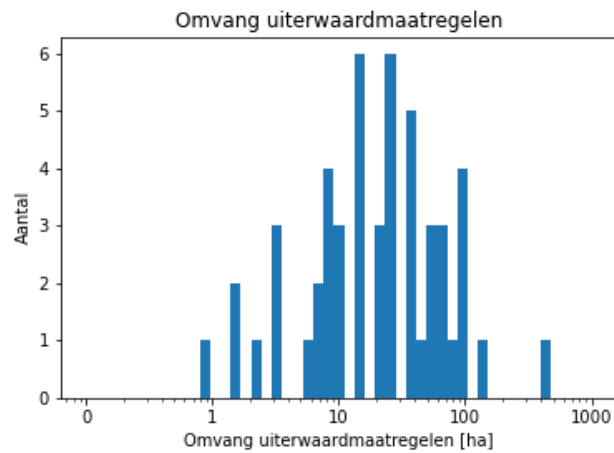
De rest van de uiterwaard laat een relatief grote verscheidenheid zien aan afvoerniveaus waarbij het inundeert. Dit staat in contrast met een groot deel van de Rijntakken en de tegenoverliggende uiterwaarden. Door de aanwezigheid van zomerdijken langs de Rijntakken is er veelal één moment waarop bijna de gehele uiterwaard instroomt. Dit gold net zo goed voor de Afferdensche en Deetsche waarden. Voor de uitvoering van het project zorgden de zomerdijken ervoor dat het gebied pas bij hoge afvoeren (> 5000 m³/s bij Lobith) en dus infrequent inundeert.



Figuur 21: Inundatiekaart bij de Affdensche en Deestsche waarden in de huidige situatie. Bron: Inundatiekaarten Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

4.4 Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen

De uitgevoerde uiterwaardmaatregelen kennen grote verschillen in omvang. Sommige richten zich slechts op het verlagen van het maaiveld direct achter de oevers, terwijl anderen invloed hebben op een groot areaal. Figuur 22 geeft een histogram van de arealen weer voor de maatregelen waarvan de locatie bekend is. Dit laat zien dat de omvang van uiterwaardmaatregelen over het algemeen variëren tussen de 1 en 500 ha. In totaal is het oppervlakte waar deze KRW maatregelen zijn uitgevoerd een kleine fractie (< 3%) van het totale buiten de hoofdgeul gelegen areaal binnen de KRW waterlichamen.



Figuur 22: Omvang van de uitgevoerde uiterwaardmaatregelen (let op: logaritmische schaal).

De hydromorfologie bij dit type maatregelen beschrijven we op twee manieren:

- Paragraaf 4.4.1: ecotopen
- Paragraaf 4.4.2: inundatiekarakteristieken

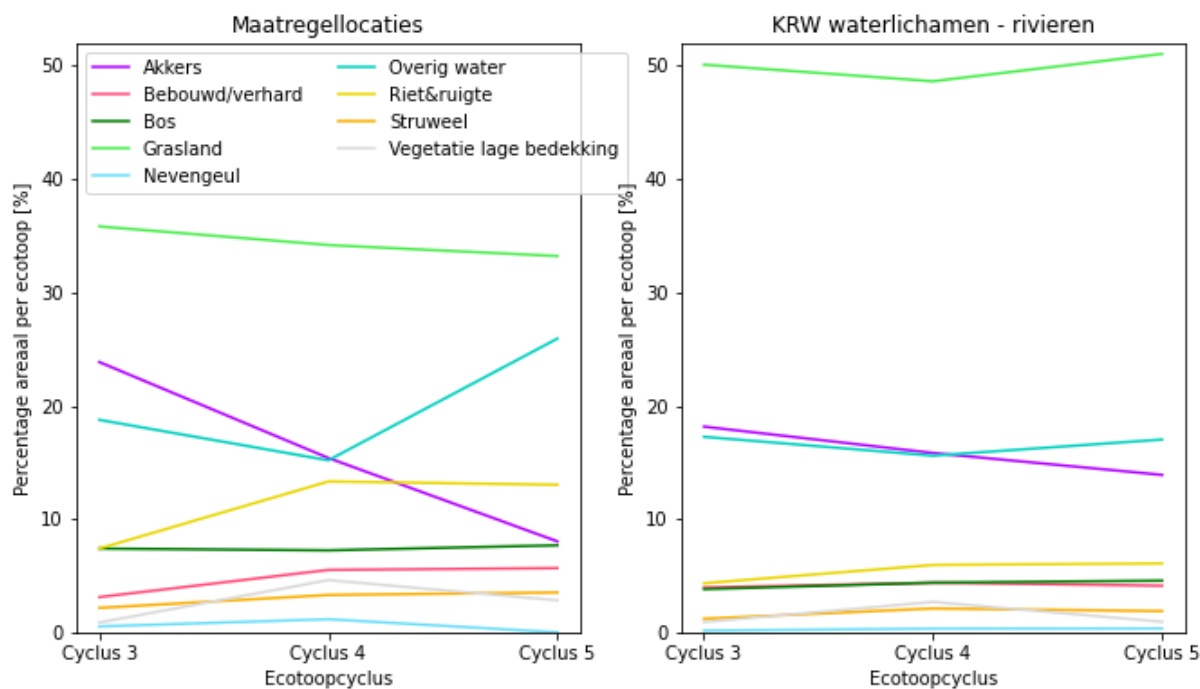
4.4.1 Ecotopen

De grootschalige vergravingen en herinrichtingen in de uiterwaarden en wetlands hebben zowel een directe als indirecte invloed op de ecotopen. Een voorbeeld van een directe invloed is de aanleg van een plas, strang of nevengeul. Een voorbeeld van een indirecte invloed is het creëren van de hydromorfologische condities voor het doen ontstaan van bepaalde types vegetatie, bijvoorbeeld riet en ruigte. Om een indruk te krijgen van de effecten van de KRW maatregelen berekenen we de percentages per ecotoopklasse⁷ binnen de maatregellocaties en voor de gehele KRW waterlichamen voor de ecotoopkaarten (c.q. cycli) 3, 4 en 5. Ecotoopcyclus 3 dateert van de periode 2008-2012, ecotoopcyclus 4 dateert van de periode 2012-2018 en ecotoopcyclus 5 is aangevangen in 2017 en is nog in uitvoering. Per waterlichaam kan het precieze inwinjaar sterk verschillen. Omdat ecotoopcyclus 5 voor de Rijn-Maasmonding nog niet is afgerond, beschouwen we de waterlichamen in de Rijn-Maasmonding niet.

Figuur 23 toont de resultaten van de analyse naar de ecotopen. We merken direct op dat veranderingen tussen de cycli ook het gevolg kunnen zijn van onnauwkeurigheden in de karteringen, administratieve aanpassingen en beheer; en dus niet per se het gevolg zijn van uitgevoerde maatregelen. Dit reduceert de zeggingskracht van het figuur. Alternatieve informatiebronnen zijn echter niet met dezelfde frequentie aanwezig. Voor de KRW

⁷ We passen een clustering toe voor de leesbaarheid van de figuren.

maatregellocaties valt de sterke afname van het percentage 'akkers' op. Deze zijn omgezet in de klasse 'overig water', waaronder strangen en plassen vallen, riet & ruigte en struweel. Tevens is een kleine toename van het areaal 'bebouwd' waarneembaar. Op waterlichaamniveau is de helft van het beschouwde areaal 'grasland', gevolgd door 'akkers' en 'overig water'. Ook op waterlichaamniveau is het aandeel 'akkers' dalende. Dit valt echter niet toe te schrijven aan de uitgevoerde KRW maatregelen. Deze hebben een te kleine omvang om de trend op waterlichaamniveau te verklaren. Wat deze trend op waterlichaamniveau wel kan verklaren is onduidelijk. Met voorzichtigheid kan gesteld worden dat de maatregellocaties natuurlijkere ('riet & ruigte', 'bos' en 'overig water') en meer diverse ecotopen hebben dan de waterlichamen waarin de maatregelen zijn genomen. De maatregellocaties hebben ten opzichte van de gehele waterlichamen minder 'grasland'.



Figuur 23: Percentages van de arealen per ecotoop voor de maatregellocaties (links) en de KRW waterlichamen (rechts) voor de drie beschouwde ecotoopcycli. De hoofdgeul is niet meegenomen. Enkel de Rijntakken en Maas zijn beschouwd, aangezien met name ecotoopcyclus 5 onvoldoende dekking geeft in de Rijn-Maasmonding en dit daardoor een discrepantie tussen de cycli oplevert.

4.4.2 Inundatiekarakteristieken

Inundatie van de nieuw ingerichte uiterwaarden kan via verschillende drijvende factoren. Voor 10 locaties is getijd de drijvende factor voor inundatie. Voor ten minste 3 locaties is kwel een belangrijke bron van inundatie. Bij de overige locaties is met name afvoer belangrijk.

Afvoergedreven inundatie

Voor de locaties waar inundatiedynamiek mogelijk wordt gemaakt door afvoerfluctuaties kijken we naar de beschikbare inundatiekaarten van de Rijn en Maas⁸. Deze inundatiekaarten houden rekening met de aanwezigheid van kades en andere hoogtes die inundatie verhinderen. De inundatiekaarten snijden we met de maatregellocaties om enkel de inundatiefrequenties op de maatregellocaties te verkrijgen. Figuur 24 geeft voorbeelden voor de Rijnwaardse uiterwaarden

⁸ Voor de Maas is in HKV (2023) een inundatiekaart opgesteld dat ook tot lage afvoeren rijkt.

(Bovenrijn) en de Maaswerken (Grensmaas). De Rijnwaardse uiterwaarden inunderen nog altijd pas bij hoge Rijnafvoeren (lichtblauwe kleuren) terwijl in de zuidelijke Grensmaas er veel areaal is dat inundeert bij lage afvoeren.



Figuur 24: Afvoeren waarbij er inundatie plaatsvindt op de maatregellocaties na uitvoering van de KRW maatregel; Links: Rijnwaardse uiterwaarden (KRW 1^e tranche) in de Bovenrijn; Rechts: Maaswerken in de zuidelijke Grensmaas (KRW 2^e tranche).

We aggregeren deze arealen tot een overzicht van arealen per afvoerklasse. Deze stellen we ook op voor de gehele Rijntakken en de gehele Maas. Figuur 25 geeft het cumulatief geïnundeerd oppervlak in relatie tot de afvoer voor beide rivieren weer. Het figuur laat dus zien hoeveel procent van het oppervlakte inundeert bij een bepaalde afvoer. Hierbij wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van (zomer)kades. De blauwe lijnen laat dit enkel voor de maatregellocaties zien. De oranje lijnen laat dit voor de gehele Rijntakken en de gehele Maas zien.

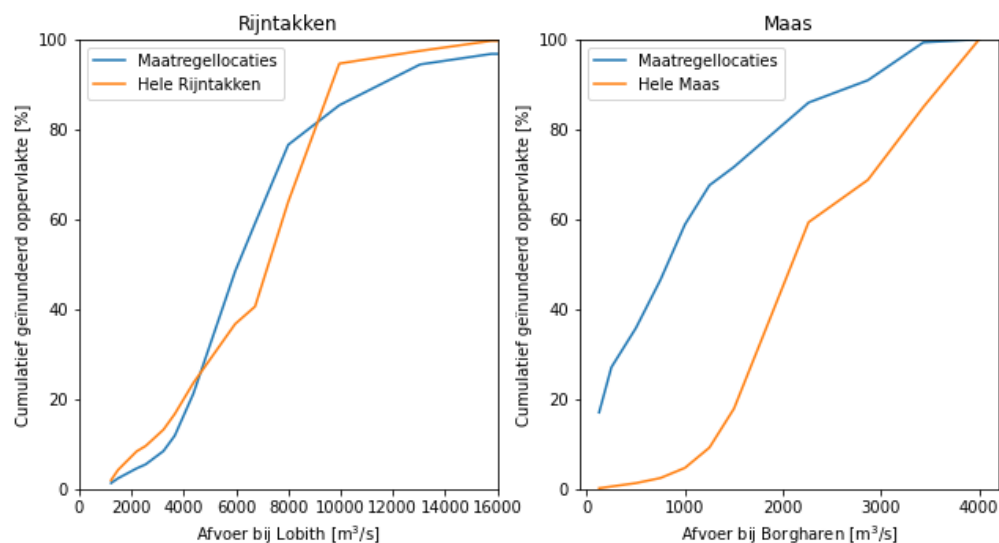
Voor de Maas valt op dat de maatregellocaties veel natter zijn dan het gemiddelde van de gehele Maas. Vooral bij de maatregellocaties dicht langs de rivier inunderen de gebieden bij zeer lage afvoeren (zie ook Figuur 24). Hoger gelegen gebieden, bijvoorbeeld de locatie Maaswerken bij Nattenhoven, inunderen pas bij hoge afvoeren. We merken op dat de uitgevoerde maatregelen⁹ enkel in de Grensmaas zijn genomen, wat voor een bias kan zorgen. Echter, ook de andere uiterwaarden langs de Grensmaas inunderen pas bij hogere afvoeren, waardoor we kunnen concluderen dat de maatregelen een relatief hoge inundatiefrequentie hebben veroorzaakt.

Bij de Rijntakken valt op dat de maatregellocaties juist helemaal niet sterk afwijken van het gemiddelde van de gehele Rijntakken. Ook hier merken we wel weer op dat er een bias kan zijn door de ligging van de maatregellocaties. Grote gebieden die inunderen bij lage afvoeren vinden we rondom geulen en strangen, bijvoorbeeld in de Afferdensche en Deestsche Waarden, Lexkesveer en de Duursche Waarden. Echter zijn er ook grote gebieden die pas bij relatief hoge afvoeren inunderen vanuit de hoofdgeul. Hieronder vallen onder andere enkele geïsoleerde plassen (bijv. in de Koppelerwaard) en gebieden die nog steeds relatief hoog liggen en bijna nooit inunderen (bijv. de Rijnwaardse uiterwaarden, Buitenoij).

Historische inundatiekaarten zijn niet beschikbaar (en niet gemaakt in dit project) en Figuur 25 kan daarom ook niet voor de Pre-KRW situatie worden gemaakt. Voor de maatregellocaties kan gesteld worden dat de inundatiefrequenties (veel) lager waren in de Pre-KRW situatie. Een voorbeeld

⁹ Ooijen-Wanssum in de Zandmaas is nog niet als 'uitgevoerd' geclassificeerd in de toelevering.

hiervan zijn de KRW-maatregelen in de Afferdensche en Deetsche waarden, zie paragraaf 4.3. Door de hoge zomerdijken inundeerde het gebied voorheen pas bij (veel) hogere afvoeren. Op het niveau van waterlichamen kan geen uitspraak worden gedaan over de inundatiefrequenties.

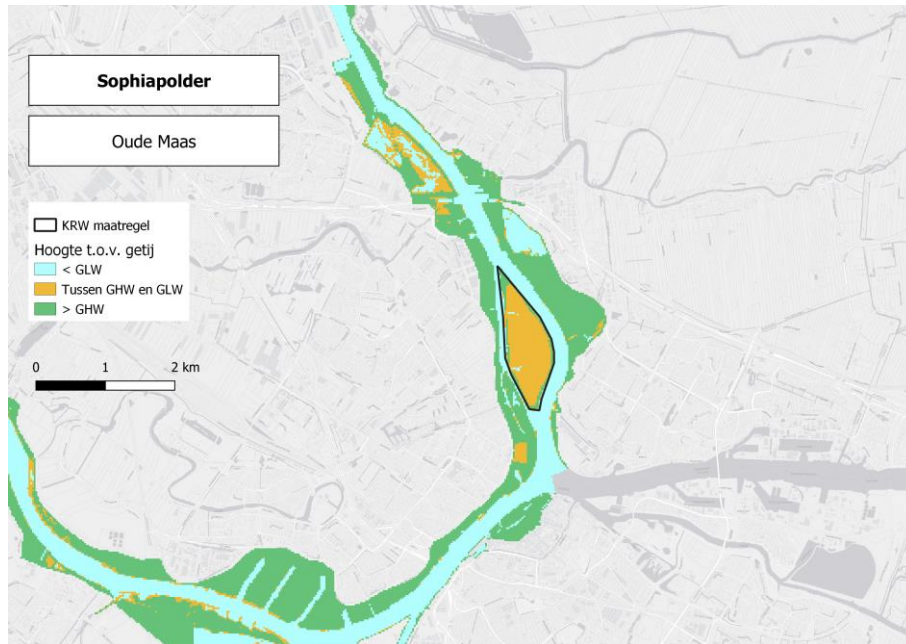


Figuur 25: Cumulatieve percentages geïnundeerd oppervlakte voor de Rijntakken (links) en de Maas (rechts) als functie van de afvoer. De blauwe lijnen geven dit aan voor enkel de maatregellocaties en de oranje lijn voor het gehele rivierengebied. De permanent geïnundeerde wateren zijn niet opgenomen in de percentages.

Getijgedreven inundatie

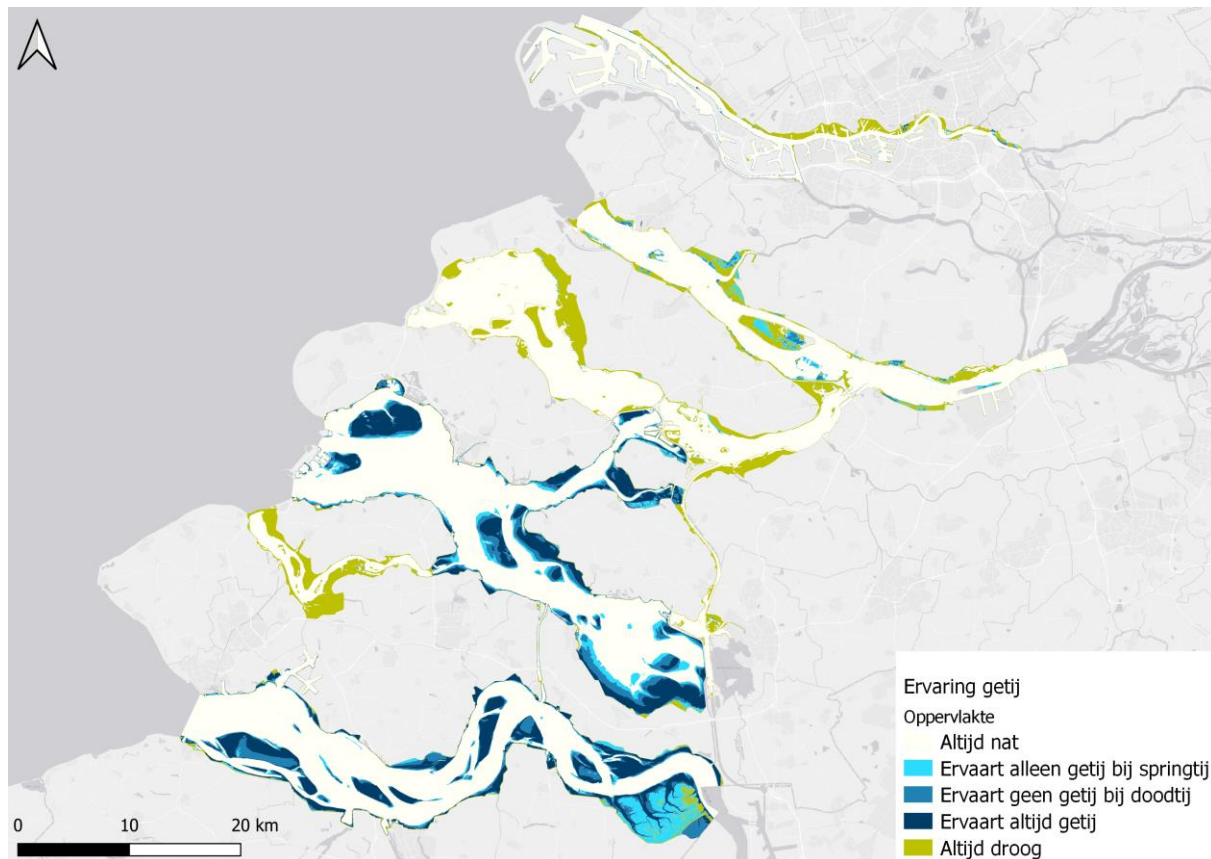
Bij 10 maatregelen in dit cluster is het getij de belangrijkste bron van waterstandsdynamiek en inundatie. Voor deze maatregelen brengen we de (potentiële) intergetijdengebieden in kaart. Dit doen we door de Gemiddeld hoogwater- en laagwaterstanden (GHW en GLW) te schatten per maatregellocatie. Vervolgens vergelijken we deze waarden met de beschikbare bodemhoogtes.

Naast de Noordwaard (zie paragraaf 4.2.2) zien we voornamelijk bij de Sophiapolder midden in de Oude Maas nog een groot gebied dat kan inunderen als gevolg van het dagelijkse getij (Figuur 26). Hier is in 2011 een dijk doorgestoken, waardoor het getij weer vrij in en uit de polder kan stromen.



Figuur 26: Getijgedreven inundatie in de Oude Maas. In zwart is de ligging van de maatregellocatie Sophiapolder aangegeven.

De andere maatregelen (zie Bijlage D) beslaan kleinere arealen die droogvallen en inunderen met het dagelijkse getij. Het betreffen voornamelijk getjidekreen waar stroming doorheen ontstaat met het intredende en uittredende getij. Inundatiedynamiek (droogval en inundatie) is er beperkt aanwezig. In HKV (2023) is een soortgelijke analyse voor de gehele Zuidwestelijke delta op waterlichaamniveau uitgevoerd, zie Figuur 27 voor het resultaat. Hieruit blijkt dat de Westerschelde en de Oosterschelde de enige wateren zijn met grote intergetijdengebieden. Deze wateren kennen een grote getijslag en grote gebieden rond de gemiddelde waterstand. De Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas kennen ook een grote getijslag. Desondanks zijn hier slechts weinig intergetijdengebieden, wat komt door de bathymetrie van deze watergangen met de hoge, steile oevers. De wateren met weinig of geen getijslag, zoals de Grevelingen en Haringvliet, kennen ook weinig intergetijdengebieden.



Figuur 27: Getijgedreven inundatie in de Zuidwestelijke delta per waterlichaam. Bron: HKV (2023).

4.5 Interpretatie in expertsessie

Deze paragraaf is het resultaat van een werksessie met experts op het gebied van ecologie, asset management en hydromorfologie voornamelijk werkzaam binnen Rijkswaterstaat en een tweetal externen. We lichten de meest besproken onderwerpen uit en eindigen met een conclusie over de invloed van de uitgevoerde maatregelen op het KRW doelbereik. Onderstaande paragraaf is de interpretatie van de auteurs, waarvan de inhoud niet achteraf getoetst is bij de experts.

Meekoppelen functies en schaal

Uiterwaardmaatregelen zijn vaak grootschalig, waardoor een combinatie van functies samenkomt in een gebied. Het meekoppelen van andere functies en programma's is gunstig voor de uitvoering van dergelijke projecten, omdat dit zorgt voor een gebied dat meerdere functies succesvol kan dienen en de functies dus ook minder beperkingen aan de uitvoering opleggen. De schaal waarop vergravingen in wetlands en uiterwaarden uitgevoerd worden, is belangrijk voor het hydromorfologisch en ecologisch functioneren van het projectgebied. Een voorbeeld van een succesproject is Ooijen-Wanssum⁹. Hier is naast het doel van hoogwaterreductie veel aandacht geweest voor natuur in het inrichtingsplan. Zo zijn er heuvels en stijlranden aangelegd en ontstaan, wat zorgt voor een diversiteit in hydromorfologische condities.

Zuidwestelijke Delta

In de Zuidwestelijke Delta zijn veel getijdengeulen aangelegd. Deze vallen onder de maatregel categorie IN10 'Verbreden watergang/-systeem: aansluiten wetland'. Het is echter onduidelijk of de aangelegde getijdengeulen goed functioneren ten opzichte van natuurlijk ontstane getijdengeulen in de delta. Een voorbeeld van een succesproject, met ook de gewenste ecologische effecten, is de

getijdenkreek 'Klein Profijt'. Dit project resulteerde in goed functionerend zoetwatergetijdengebied. Hiervan is in Nederland slechts zeer weinig areaal.

Invloed op KRW doelbereik

Op lokaal niveau hebben de vergravingen in wetlands en uiterwaarden voor aantoonbare verbeteringen in de hydromorfologie (en waar bekend ecologie) gezorgd. Op waterlichaamniveau is de schaal van de uitgevoerde maatregelen echter nog te klein om echte ecologische winst te behalen. Een groot deel van de uiterwaarden inundeert nog altijd zelden (zie paragraaf 4.4.2). Om op waterlichaamniveau voor voldoende inundatiedynamiek te zorgen, is het nodig om meer zomerdijken te verwijderen. Als gevolg van de aanwezigheid van zomerdijken variëren de inundatiefrequentie en -duur momenteel te weinig.

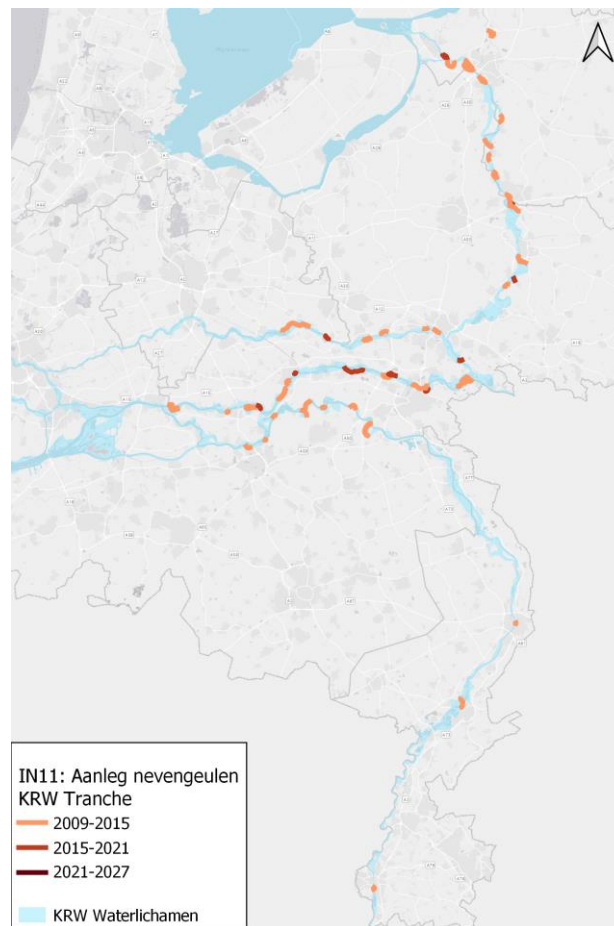
5 Hydromorfologie bij nevengeulen en strangen

5.1 Introductie

Nevengeulen zorgen voor een diversiteit in stromingscondities en morfologische condities in het dwarsprofiel van een rivier. Met name de aanwezigheid van ondiep stromend water in het dwarsprofiel is hierbij ecologisch relevant habitatgebied. Figuur 28 geeft een geografische weergave van de maatregelen in type IN11 met het moment van aanleg.

In dit hoofdstuk zoomen we eerst in op de Nevengeul in Stadsweide Roermond (paragraaf 5.2) om een indruk te krijgen van het type maatregel 'Aanleg nevengeul'. Deze nevengeul is de enige tweezijdig aangetakte, stuwpasserende nevengeul die in het kader van KRW langs de Maas is aangelegd. We beschouwen de totstandkoming, de doelstellingen uit het inrichtingsplan en de hydromorfologie van de geul. In paragraaf 4.3 van het vorige hoofdstuk is de geul in de Afferdensche en Deetsche waarden besproken. In paragraaf 5.3 kijken we naar alle uitgevoerde maatregelen en zoomen we uit naar het niveau van KRW-waterlichamen. We bepalen de hydromorfologische effecten van de aangelegde geulen en strangen in termen van stroomsnelheden en

meestroomfrequenties. Daarnaast tonen we de verscheidenheid in dwarsprofielen van de geulen en strangen. Ten slotte laten we op waterlichaamniveau zien in hoeverre de uitgevoerde maatregelen bij hebben gedragen aan de hoeveelheid luwe zones buiten de hoofdgeul.



Figuur 28: Kaart met maatregelen van type IN11 (Aanleg nevengeulen) met het moment van aanleg

5.2 Inzoomen: Nevengeul Stadsweide Roermond

5.2.1 Beschrijving maatregel

De Zandmaas heeft door kanalisatie en aanleg van stuwen veel van haar natuurlijke dynamiek verloren. Hierdoor ontstond noodzaak om de chemische en ecologische kwaliteit te verbeteren

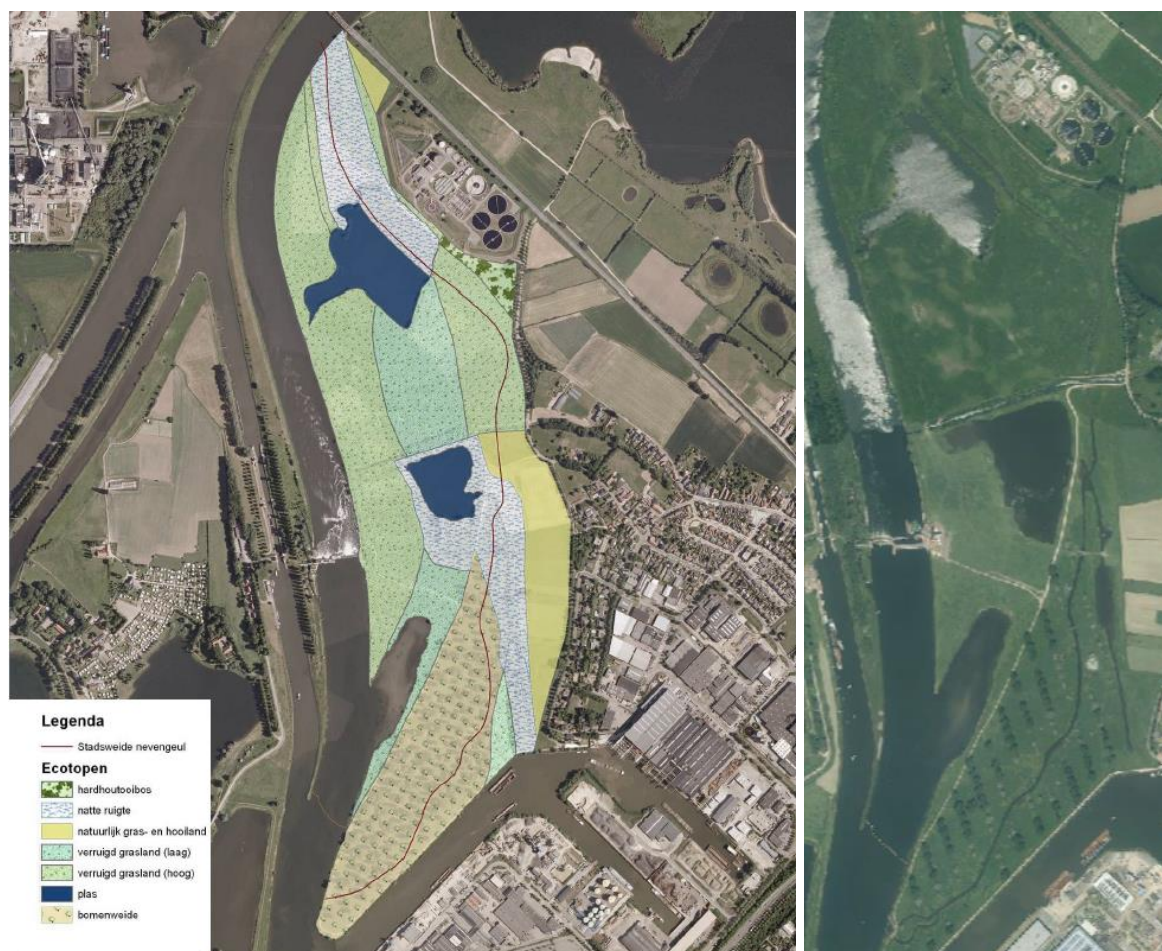
(Croonen Adviseurs, 2010). In 2013 is daarom een permanent meestromende en vrij erodeerbare nevengeul bij Roermond aangelegd: de Nevengeul Stadsweide Roermond (Figuur 29). Doel van deze nevengeul is om bij te dragen aan natuurlijke rivierdynamiek in de Zandmaas. De geul maakt deel uit van het maatregelenpakket in het Stroomgebied beheerplan Maas 2009 - 2015 (SGBP, 2009 - 2015) en is ook verankerd in het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren (2010 - 2015). Ze is ingericht volgens het 'Definitief Inrichtingsplan Nevengeul Stadsweide Roermond' van 2010. Dit plan is ontwikkeld op basis van een eerder plan van 2006 en aanvullende onderzoeken in 2008 en 2009 (Croonen Adviseurs, 2010).



Figuur 29: Ligging van de Nevengeul Stadsweide Roermond (Rijkswaterstaat, 2021).

Het gebied waar de nevengeul is ingepast ligt ten noordwesten van de kern Roermond en ten westen van het buurtschap Leeuwen (provincie Limburg). Het ligt in het terrassenlandschap van de Maas dat vanaf de Middeleeuwen is gevormd (Croonen Adviseurs, 2010). De geul heeft een lengte van 2,4 km, is circa 10 m breed (steile oevers) en ligt aan de oostzijde van de Maas, tussen rkm 80 en 85 (Figuur 29). Net bovenstrooms van de stuw van Roermond is een regelbaar inlaatwerk voor de nevengeul geplaatst (Lagcher et al., 2010). Hier wordt continu 1% van de Maasafvoer ingelaten. Het inlaatwerk geeft ook de mogelijkheid om de nodige afvoervariatie in de nevengeul te realiseren, de morfologische ontwikkeling te beïnvloeden en het systeem tegelijkertijd beheersbaar te houden. In het zuiden loopt de nevengeul door een boomweide (circa 18 ha) die in 2006 als natuurgebied is ingericht (Figuur 30). De uitstroom van de nevengeul in het noorden bevindt zich net stroomopwaarts van de spoorbrug (Figuur 30).

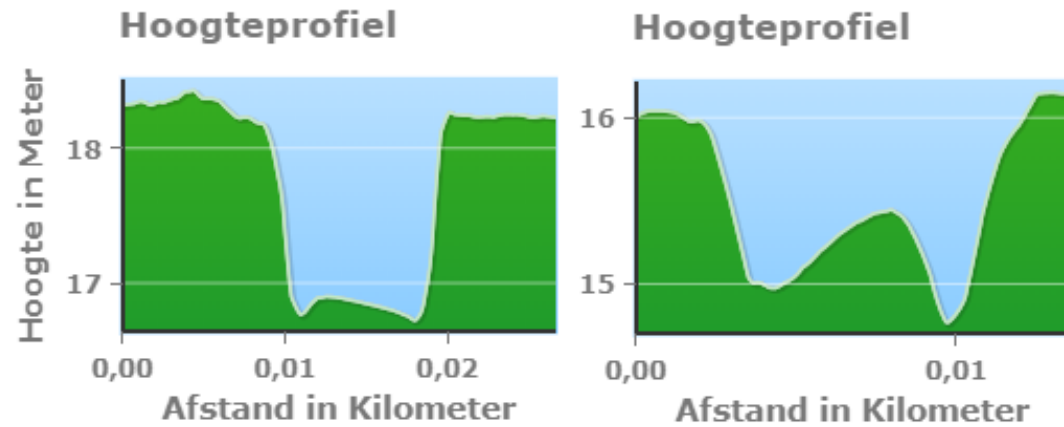
Het totale oppervlakte van het gebied waarin de nevengeul is geplaatst is 118 ha. De bodem in het gebied bestaat met name uit een 2 tot 4 m dikke laag zandige klei tot fijn zand (Croonen Adviseurs, 2010). Daaronder bevindt zich grof zand met grind. Het peilverschil tussen het boven- en benedenstroomse stuwpland is circa 2,70 m. Om opstuwning van de Maaswaterstanden bij hoogwatersituaties te voorkomen, wordt de vegetatie in het gebied beheerd en onderhouden.



Figuur 30: Links: Ecotopenplan Stadsweide Roermond volgens het ontwerpingsplan (Croonen Adviseurs, 2010). Rechts: Luchtfoto 2023 (ESRI); het kleurverschil tussen de bovenste en onderste helft van het figuur komt omdat de luchtfoto van een ander moment is

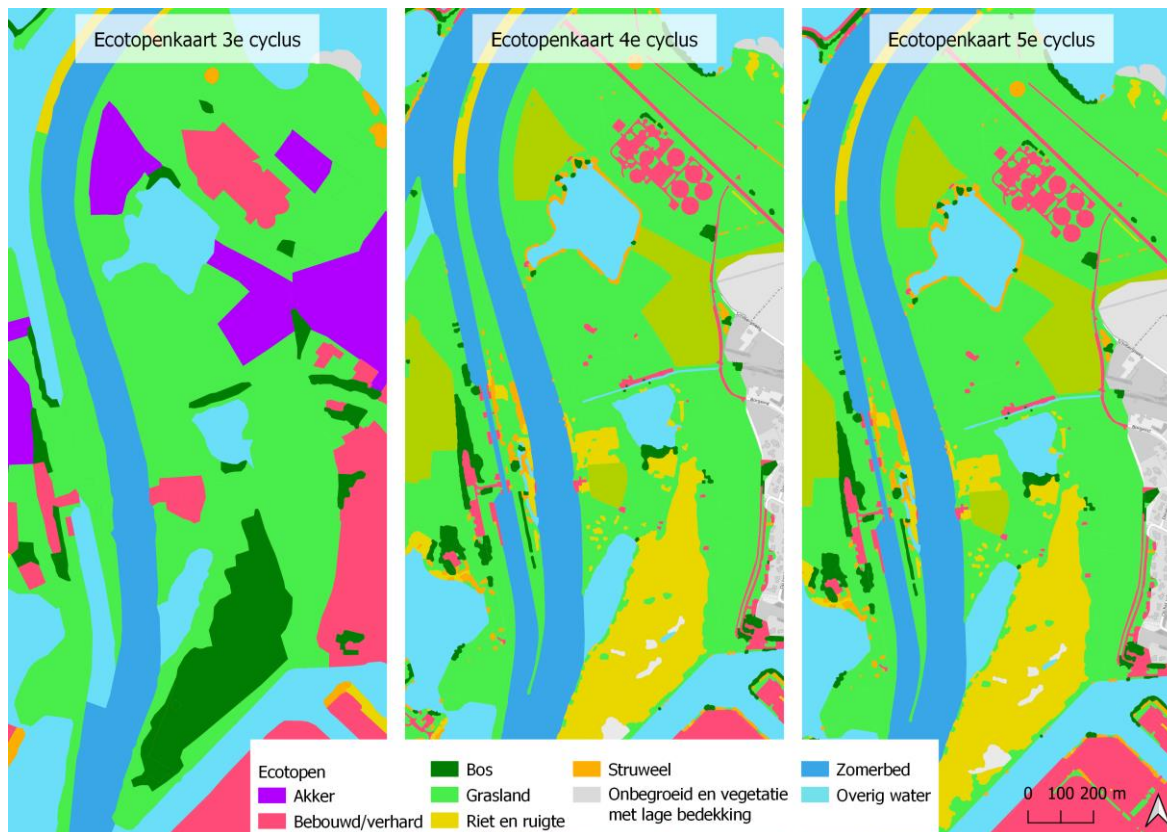
5.2.2 Beschrijving hydromorfologie

De nevengeul Stadsweide Roermond is de enige stuwpasserende nevengeul in de Maas. Langs andere stuwen (ook bij stuw Roermond) zijn vistrappen aanwezig ten behoeve van de visconnectiviteit. Door het gestuwde karakter van de Maas, valt de nevengeul nooit droog. Twee dwarsprofielen van de nevengeul zijn gegeven in Figuur 31. De geul kent een relatief rechthoekig profiel, is circa 10 meter breed en 1 meter diep. Onder de aanname dat (slechts) 1% van de Maasafvoer door de nevengeul gaat, zijn de gemiddelde stroomsnelheden door de geul eenvoudig te bepalen, bijvoorbeeld 0,05 m/s bij een Maasafvoer van 50 m³/s en 0,25 m/s bij de mediane Maasafvoer van 250 m³/s. De waterdieptes nemen enkel bij hoge afvoergolven significant toe, vanwege het gestuwde karakter van de Maas



Figuur 31: Dwarsprofielen van de nevengeul Stadsweide Roermond aan de bovenstroomse zijde (links) en de benedenstroomse zijde (rechts)

Figuur 32 laat de ecotopen zien die volgens de ecotopenkaart 3^e (2008), 4^e (jaar onbekend) en 5^e cyclus (2017) aanwezig zijn rondom de nevengeul Stadsweide Roermond. De ecotopen zijn geclusterd in hoofdcategorieën om een vergelijking mogelijk te maken. De nevengeul is niet opgenomen in de ecotopenkartering, mogelijk vanwege een te smal dwarsprofiel. Uit luchtfoto's kunnen we wel opmaken dat met name aan de benedenstroomse zijde de oevers van de nevengeul sterk begroeid zijn met struikgewas. In de omliggende omgeving zijn geen duidelijke veranderingen in de ecotopen zichtbaar. De verschillen tussen de 3^e cyclus enerzijds en de 4^e en 5^e cyclus anderzijds zijn waarschijnlijk het resultaat van classificatiefouten.



Figuur 32: Ecotopen in de Stadsweide bij Roermond in de 3^e, 4^e en 5^e cyclus. Hiertussen zijn de vergravingen in wetland en uiterwaard en aanleg van de nevengeul uitgevoerd. De nevengeul zelf heeft een te kleine breedte om zichtbaar te zijn in de ecotopenkaarten.

5.3 Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen

De hydromorfologie bij deze type maatregelen beschrijven we op drie manieren:

- Paragraaf 5.3.1: ecologie en hydromorfologie in nevengeulen
- Paragraaf 5.3.2: classificering van de geulen in strangen en tweezijdig aangetakte nevengeulen en de verscheidenheid aan dwarsprofielen
- Paragraaf 5.3.3: meestroomfrequenties
- Paragraaf 5.3.4: stroomsnelheden

5.3.1 Ecologie en hydromorfologie in nevengeulen

De ecologie van een nevengeul hangt samen met verschillende hydromorfologische parameters. Deze factoren bepalen welke waterplanten, macrofauna en vissoorten er kunnen gedijen. De belangrijkste parameters zijn (Schoor, 2011a):

- *Connectiviteit:*
De connectiviteit van een nevengeul met de hoofdgeul wordt uitgedrukt in dagen per jaar dat het water in de nevengeul met de hoofdgeul meestroomt. Deze parameter hangt voornamelijk af van de bodemhoogte van de instroomopening en de aanwezigheid van een regelwerk. Tijdens natte periodes stroomt de nevengeul vaker mee dan tijdens drogere periodes. Een connectiviteit van tenminste 300 dagen per jaar wordt aanbevolen voor ecologische doeleinden (Schoor, 2011b).
- *Stroming:*
De stroomsnelheden in een nevengeul hangen onder andere af van de afmetingen en helling van de nevengeul, het riviertraject (gestuwd of vrij stromend) en de grootte en hoek van de instroomopening ten opzichte van de hoofdgeul. Stroomsnelheden tussen 0 en 100 cm/s zijn ideaal voor de ecologie (gemiddeld 10 tot 20 cm/s). Aan de oppervlakte zijn stroomsnelheden tussen 5 en 50 cm per seconde wenselijk. De aanwezigheid van permanente stroming is de belangrijkste factor voor de kraamkamerfunctie voor rheofiele vissoorten van nevengeulen. Tweezijdig aangetakte nevengeulen zijn daarmee beter voor de ontwikkeling van vissen dan eenzijdig aangetakte nevengeulen (Stoffers et al., 2021). In gestuwde rivieren ontstaat er met een stuwpasserende nevengeul een belangrijk stuk stromend habitat en connectiviteit.
- *Waterdiepte:*
Variatie in waterdiepte zorgt voor verschillen in lichtinval, temperatuur en stroomsnelheden. Deze verschillen zorgen voor habitatvariatie in de waterkolom. Bij nevengeulen met grote waterstandsvariatie is het belangrijk om grote land-waterovergangen te creëren. Daarmee hebben soorten altijd de beschikking tot diepe en ondiepe delen, zowel bij lage als bij hoge afvoeren. In het voorjaar is een waterdiepte kleiner dan 2 m wenselijk voor succesvolle kieming en vestiging van waterplanten. De groeiplaats mag niet droogvallen in de maanden mei tot en met juli in verband met het groeiseizoen. Droogvallen in de nazomer is echter geen probleem en voor verschillende waterplanten zelfs positief voor hun ontwikkeling.
- *Bodemtype:*
De bodem en oever van de nevengeul en het substraat waaruit deze bestaan zijn van belang voor de ontwikkeling van organismen en macrofauna. Het substraat dient als vestigings- of schuilplaats, voor de voortplanting of als middel om voedsel te vergaren. Waterplanten gedijen vaak goed in stromende geulen wanneer er een zandbodem aanwezig is. De diversiteit aan soorten in nevengeulen neemt toe als deze uit een ander type substraat bestaat dan de

hoofdgeul. Factoren zoals erosie en sedimentatie, oeverbegroeiing en beheer beïnvloeden het substraat dat aanwezig is. Dood hout, dat niet wordt verwijderd uit de nevengeul kan bijvoorbeeld bijdragen aan een gevarieerd habitat.

- **Oeverstructuur:**

De oevers van nevengeulen worden minder belast door passerende scheepvaart en kunnen flauwer aan worden gelegd. Hierdoor kan een grote variatie aan oevertypen ontstaan, met brede land-waterovergangen, water- en oeverplanten, overhangende takken en bomen. Begroeiing van de oever dient daarbij als rust-, schuil- en foerageerplaats voor macrofauna en vis. Afwisseling van kale en ruige of beboste oevers wordt als positief beschouwd voor de ontwikkeling van waterplanten.

5.3.2 Classificering en dwarsprofielen geulen en strangen

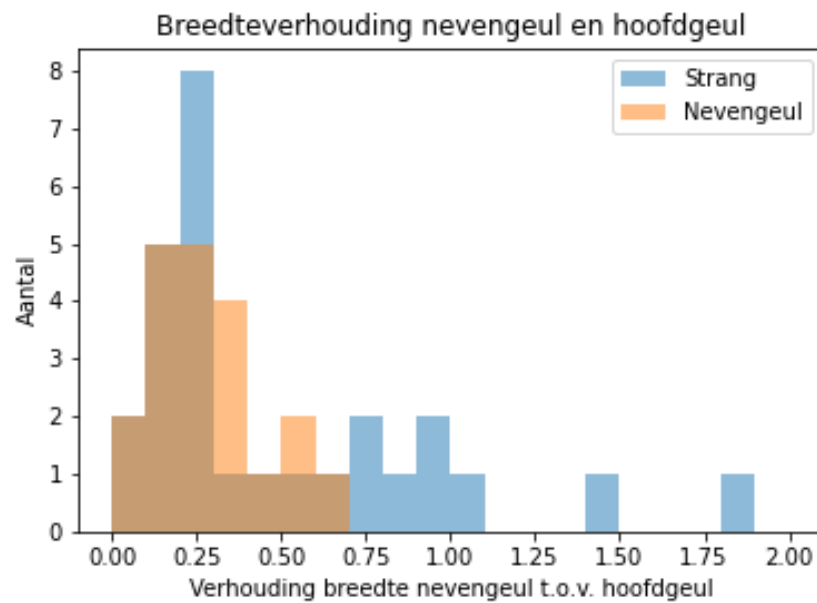
De 47 maatregelen in type 'IN11' waarvan de locatie bekend is, tonen een grote verscheidenheid in de fysische werking en in de dwarsprofielen. We kunnen de maatregelen opdelen in twee hoofdcategorieën: eenzijdig aangetakte geulen (hierna 'strang') en tweezijdig aangetakte en meestromende geulen (hierna 'nevengeul'). Op basis van een visuele inspectie van de maatregelen hebben we geconstateerd dat 20 van de 47 maatregelen op dit moment fungeren als tweezijdig aan de rivier aangetakte nevengeul, waarvan het grootste deel in de IJssel ligt (Tabel 2). Ten minste twee van de strangen worden primair gevoed door kwelwater (Amerongse bovenpolder en Amerongen-Elst) en één is eenzijdig aangetakt aan de rivier, maar is wel continu stromend (beekmonding Heelsumse beek).

Tabel 2: Overzicht nevengeulen en strangen per KRW waterlichaam

Waterlichaam	Aantal nevengeulen	Aantal strangen
Bovenrijn, Waal	6	8
Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek	0	7
IJssel	8	7
Zwarte Water	1	0
Bovenmaas	1	0
Grensmaas	0	0
Zandmaas	1	1
Bedijkte Maas	0	4
Beneden Maas	3	0
Totaal	<u>20</u>	<u>27</u>

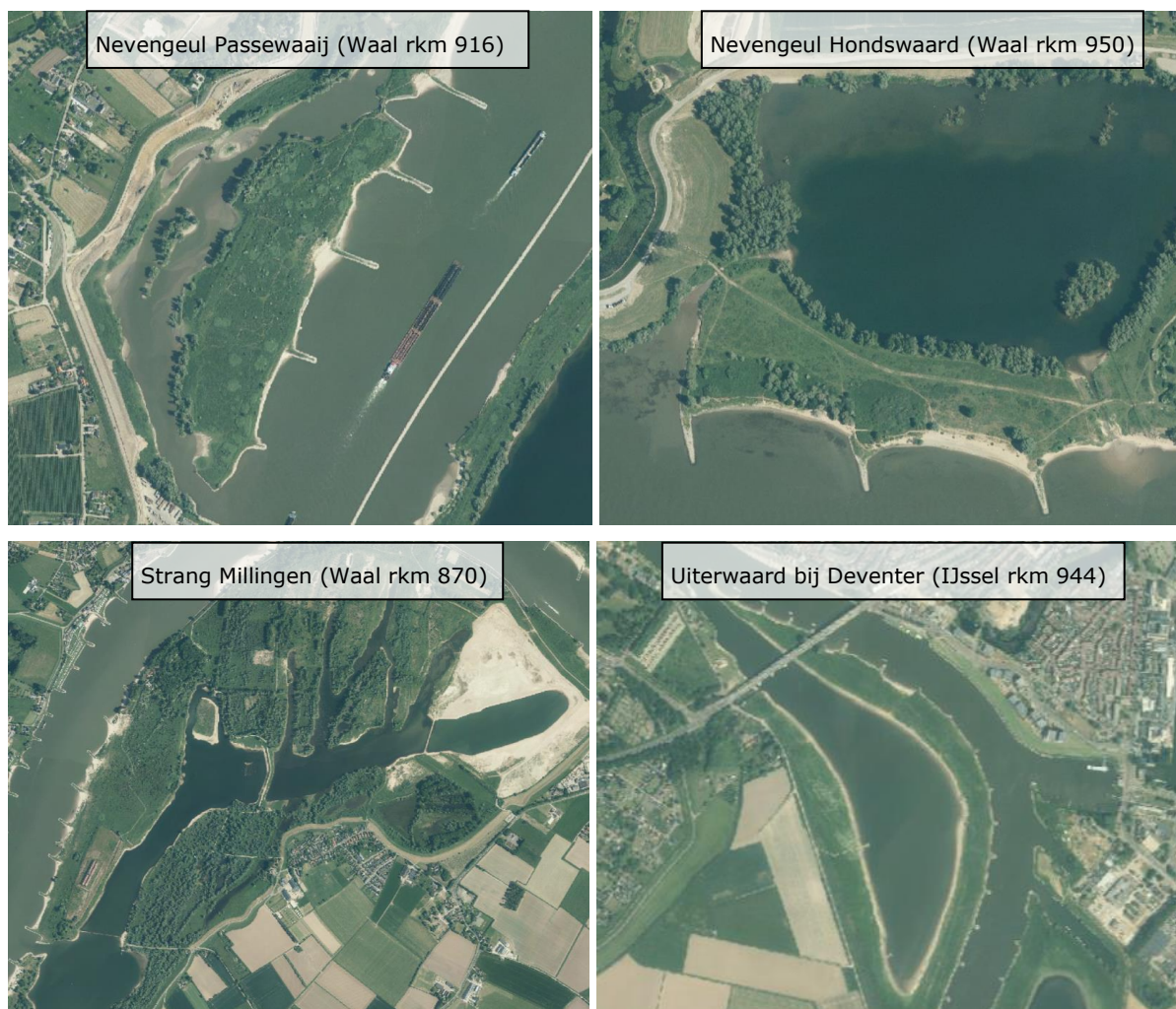
De geulen en strangen kennen een grote verscheidenheid aan dimensies, zowel in lengte als in dwarsprofiel. De langste maatregel is circa 6 kilometer lang en de kortste is 200 meter lang. De gemiddelde breedte van de geulen en strangen varieert tussen de 5 en 150 meter. De verhouding tussen de breedte van de geulen/strangen en de hoofdgeul is getoond in Figuur 33. Het figuur laat zien dat de breedte van nevengeulen varieert tussen 0 en 70% van de hoofdgeul. De breedte van strangen is vergelijkbaar, maar er zijn ook meer uitschieters. De brede, en vaak ook diepe geulen

en strangen zijn dikwijls primair uitgevoerd om hoogwaterstanden te reduceren. Twee voorbeelden zijn de Ruimte voor de Rivier projecten 'Dijkteruglegging Lent' en het uiterwaardenproject bij Deventer.



Figuur 33: Breedteverhouding tussen de hoofdgeul en de nevengeul uitgesplitst naar de tweezijdig aangetakte nevengeulen en de eenzijdig aangetakte strangen. Een verhouding 1 geeft aan dat de geul even breed is als de hoofdgeul. Uitschieters zijn de hoogwatergeul bij Deventer en de maatregelen in de uiterwaard bij Olst.

Figuur 34 geeft vier voorbeelden van maatregelen met type IN11: Aanleg nevengeulen. De figuren tonen de grote verscheidenheid aan type geulen en strangen. De 'klassieke' nevengeulen (linksboven in Figuur 34) en 'klassieke' strangen (linksonder in Figuur 34) zijn op basis van visuele inspectie duidelijk in de minderheid in het totaal aan aangelegde KRW nevengeulen. Een klassieke geul of strang is hierbij een eenzijdig of tweezijdig aangetakt water dat ecologisch gunstig randvoorwaarden heeft. Een klassieke geul definiëren we hierbij als een tweezijdig aangetakte en meestromende nevengeul met variatie in het dwars- en langsprofiel. De oevers zijn bij voorkeur niet vastgelegd.



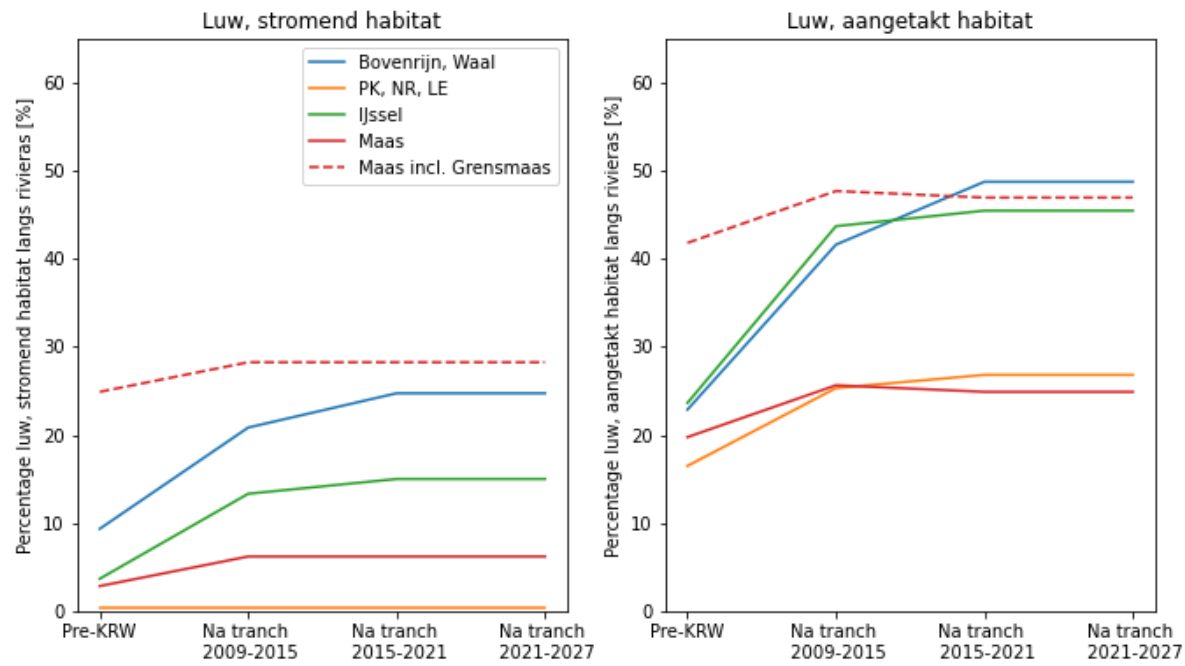
Figuur 34: Vier voorbeelden van maatregelen met type IN11: Aanleg nevengeulen.

Op rivierniveau (voor de Rijntakken gelijk aan de KRW waterlichamen) laten we in Figuur 35 en Figuur 36 de effecten van de KRW maatregelen op het habitat zien. Deze zijn het resultaat van een visuele inspectie van de dwarsprofielen van de rivieren. Per hectometer langs de rivieras bekijken we of er in het dwarsprofiel aan de hoofdgeul aangetakt water aanwezig is (zoals strangen, plassen, havens, geulen, etc.). Dit verdelen we verder onder in twee categorieën:

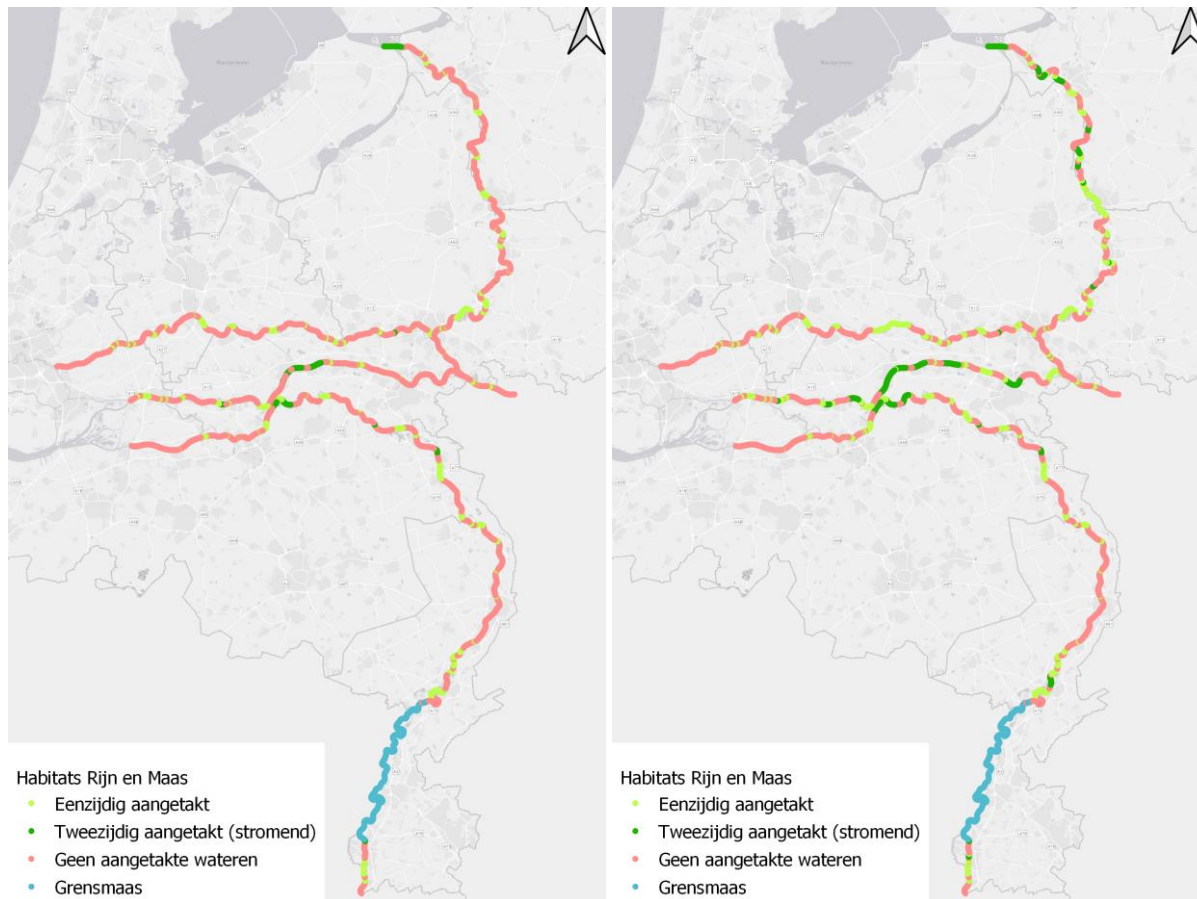
- Tweezijdig aangetakt waarbij stroming zal plaatsvinden (links in Figuur 35);
- Eenzijdig en tweezijdig aangetakte wateren zonder stroming bij mediane afvoer (rechts in Figuur 35) vanwege een hoge inlaatdrempel.

Figuur 35 toont het aandeel van deze twee categorieën in de totale lengte van de rivier langs de rivieras. Figuur 36 vergelijkt op kaart de pre-KRW situatie en de huidige situatie. Hieruit blijkt dat het aangetakte en het stromende habitat langs de Bovenrijn, Waal en de IJssel sterk is gestegen met de uitvoering van de KRW maatregelen. Dit is met name gerealiseerd in de 1^e tranche tussen 2009 en 2015. Langs het waterlichaam Pannerdensch Kanaal-Nederrijn-Lek is minder dan 1% stromend habitat aanwezig buiten de hoofdgeul. Voor de Maas is de classificatie van de Grensmaas van groot belang voor het resultaat. Over de Grensmaas vindt er geen scheepvaart plaats en is de rivier dus relatief ongestoord. Wel zijn er delen met zeer hoge stroomsnelheden vanwege het grote

bodemverhang. Opvallend is de kleine afname van het aangetakte habitat in de Maas tussen de 1^e en de 2^e tranche. Dit is het gevolg van de verzanding van twee strangen bij de uitstroomopening, waardoor deze niet meer aangetakt zijn.



Figuur 35: Percentages luw, stromend habitat (links) en percentages luw, aangetakt habitat. Deze percentages zijn berekend op basis van een classificatie van de dwarsprofielen getrokken vanuit de rivieras, zie Figuur 36. De stippellijn geeft de resultaten voor de Maas als de Grensmaas als luw wordt geclassificeerd.



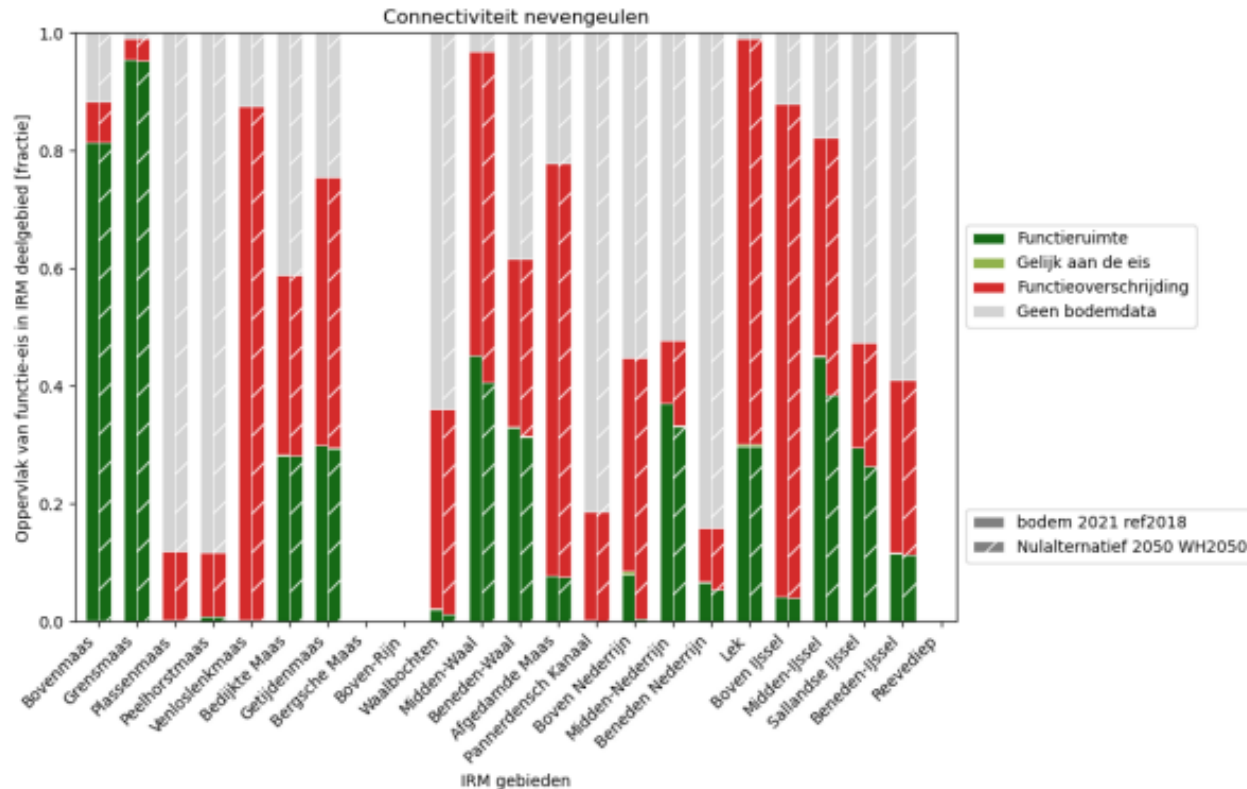
Figuur 36: Categorisering van de wateren buiten de hoofdgeulen, Pre-KRW (links) en na de 1^e en 2^e tranche KRW (rechts).

5.3.3 Meestroomfrequenties

Een belangrijke hydromorfologische karakteristiek (parameter) voor geulen is de meestroomfrequentie. Op basis van beschikbare inundatiekaarten van de Rijn en de Maas hebben we ingeschat bij welke rivierafvoer geulen en strangen gaan meestromen.

In het project 'Grip op Nevengeulen' is gesteld dat een nevengeul minimaal 335 dagen per jaar in verbinding moet staan met de rivier (hoger dan het minimum van 300 dagen dat genoemd wordt in Schoor et al., 2011b). Voor strangen is de gewenste meestroomduur 225 dagen per jaar. In de Rijntakken betekent dit dat de geulen bij een afvoer van circa 1.100 m³/s bij Lobith moeten meestromen en strangen bij een afvoer van circa 1.650 m³/s bij Lobith. Door het gestuwde karakter van de Maas is de afvoer hier minder relevant; in gestuwde condities moeten geulen en strangen meestromen. Hierbij horen afvoeren van 0 tot 250 m³/s bij Borgharen. In het kader van het Integraal Riviermanagement heeft Deltares (2022) onderzocht in welke mate de geulen en strangen langs de Rijn en Maas voldoen aan de eisen ten aanzien van meestroomfrequenties. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 37. In de huidige situatie (niet gestreepte balken) voldoen enkel langs de Bovenmaas en de Grensmaas de meeste geulen en strangen aan de eisen ten aanzien van meestroomfrequenties. Langs de Rijntakken voldoet meestal minder dan de helft van de geulen en strangen aan de eis. Met name in de bovenstroomse delen (Waalbochten, Boven Nederrijn en Boven IJssel) voldoen de geulen en strangen niet aan de eisen. In het onderzoek van Deltares is ook berekend wat het effect is van klimaatverandering en doorgaande rivierbodemerrosie op de meestroomfrequenties van de geulen en strangen. Met name

klimaatverandering zorgt ervoor dat er meer geulen en strangen niet aan de eisen ten aanzien van meestroomfrequenties voldoen.



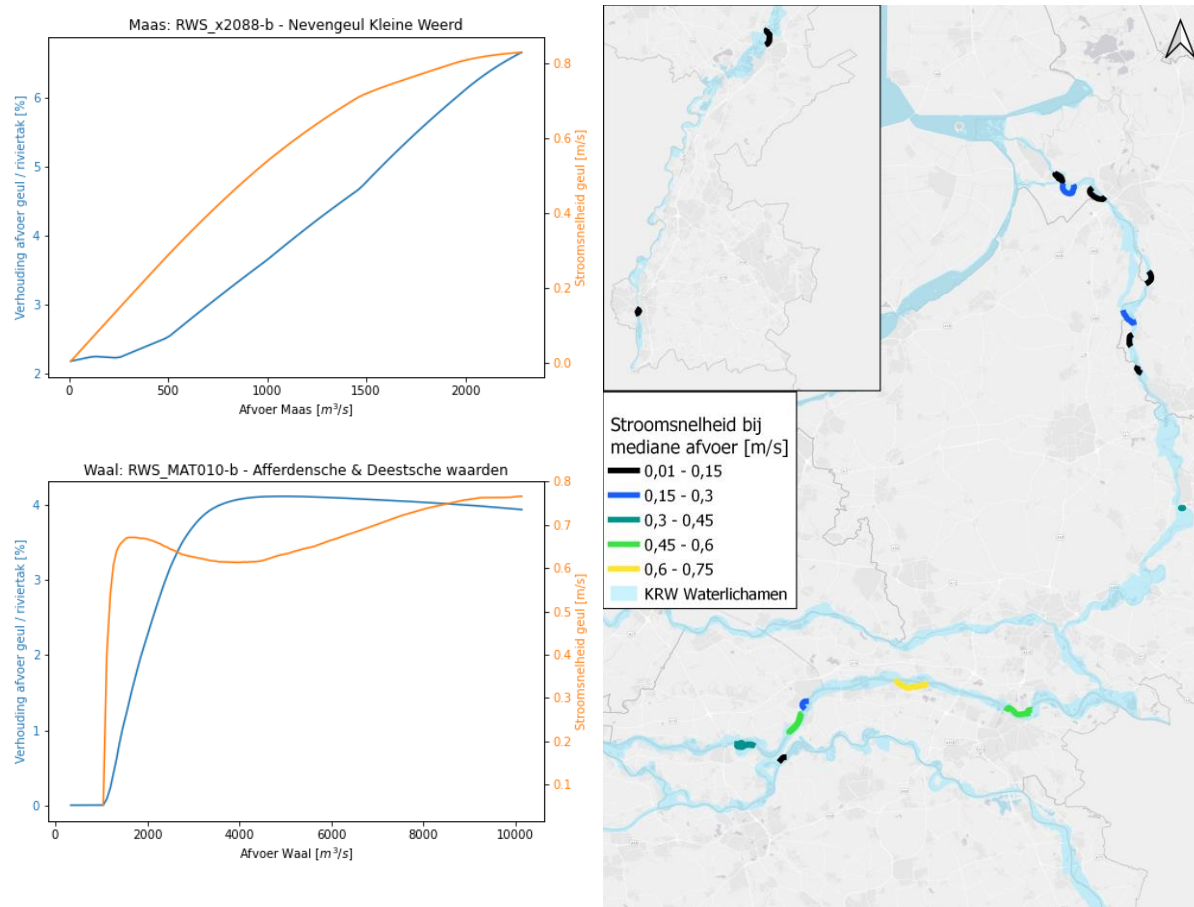
Figuur 37: Deel van de nevengeulen en strangen per IRM traject dat nu en in 2050 (bij doorgaande bodemerrosie en klimaatverandering) niet aan de eisen vanuit KRW voldoen (Functieoverschrijding). Deze eisen zijn een minimale meestroomfrequentie van 335 dagen per jaar voor nevengeulen en 225 dagen per jaar voor strangen. Bron figuur: Deltares, 2022.

5.3.4 Stroomsnelheden

De stroomsnelheden door geulen dienen binnen bepaalde grenzen te zitten om voor geschikt habitat voor vissen te zorgen. Veelal wordt een gewenste stroomsnelheid van 0,2 m/s gehanteerd. Voor de geulen langs de Rijntakken en de Maas berekenen we de gemiddelde stroomsnelheid bij de mediane afvoer. Voor de Rijn is dit 2.200 m³/s bij Lobith en voor de Maas is dit circa 250 m³/s bij Borgharen. Voor deze berekening gebruiken we vuistregels op basis van de Chézy-vergelijking voor stroming. We schematiseren het dwarsprofiel ter hoogte van de nevengeul in maximaal zes elementen: twee op de linkeruiterwaard, de hoofdgeul, twee op de rechteruiterwaard en de nevengeul. We houden ook rekening met drempels en zomerdijken. Met behulp van de Chézy-vergelijking berekenen we de fracties van de afvoer door elk element van het dwarsprofiel en bepalen hiermee ook de afvoer door de geul. De methode is in meer detail beschreven in Paarlberg en Schippers (2020). Onder de aanname van een trapezoïde dwarsprofiel van de geul, berekenen we vervolgens de gemiddelde stroomsnelheden in de geul als functie van de afvoer.

Figuur 38 (linksboven) toont de resultaten voor de nevengeul Kleine Weerd in de Maas. Bij deze nevengeul lopen zowel de fractie van de afvoer door de nevengeul en de stroomsnelheid door de geul geleidelijk toe met de Maasafvoer. Voor de mediane afvoer (~250 m³/s voor de Maas en ~2200 m³/s voor de Rijntakken) toont Figuur 38 (rechts) de stroomsnelheden in de meestromende nevengeulen. Voor een groot deel van de geulen in de IJssel en Maas geldt dat de stroomsnelheden

relatief klein blijven (onder de 0,3 m/s). Langs de Waal zien we enkele geulen met een hogere stroomsnelheid bij de mediane Rijnafvoer.



Figuur 38: Links: Verhouding van de afvoer door de nevengeul (linkeras) en de stroomsnelheid door de geul (rechteras) voor de Nevengeul Kleine Weerd in de Maas (linksboven) en de Nevengeul door de Afferdensche & Deetsche waarden (linksonder). Rechts: gemiddelde stroomsnelheid in de geul bij mediane afvoer van de aangelegde meestromende nevengeulen

Het is belangrijk op te merken dat de gemiddelde stroomsnelheid in een geschematiseerd profiel slechts een indicatie geeft van de stroomsnelheden in de geulen in werkelijkheid. Deze worden namelijk door veel meer beïnvloed, waaronder variaties in het dwarsprofiel, onderwatervegetatie, de aanwezigheid van dood hout in de geul en scheepvaart. Er zijn indicaties dat scheepsgolven grote, mogelijk ongewenste pieken in de stroomsnelheid en omkering van de stroomrichting kunnen veroorzaken. De grootte hiervan is echter niet bekend, net als het effect van deze scheepsgolven op de ecologie, en verdient de aanbeveling om nader onderzocht te worden.

5.4 Interpretatie in expertsessie

Deze paragraaf is het resultaat van een werksessie met experts op het gebied van ecologie, asset management en hydromorfologie voornamelijk werkzaam binnen Rijkswaterstaat en een tweetal externen. We lichten de meest besproken onderwerpen uit en eindigen met een conclusie over de invloed op het KRW doelbereik. Onderstaande paragraaf is de interpretatie van de auteurs, waarvan de inhoud niet achteraf getoetst is bij de experts.

Geulontwerp

Nevengeulen en strangen zorgen lokaal voor een mooie dynamiek in het systeem. Permanent, jaarrond ondiep stromend water is ecologisch gezien het belangrijkste criterium bij het

geulontwerp (zie paragraaf 5.3.3). Een mooi voorbeeld van een goed werkende nevengeul is de stuwpasserende nevengeul bij stuw Junne in de Overijsselse Vecht. Deze is met een lengte van 3,3 kilometer relatief lang, kent een ruim dwarsprofiel en een relatief grote fractie van de afvoer van de Vecht gaat bij lage afvoeren door de nevengeul. Langs de Maas is de nevengeul Stadsweide Roermond de enige stuwpasserende nevengeul. Deze functioneert hydromorfologisch gezien echter minder dan de nevengeul Junne. Nevengeul Junne is groter, kent flauwere oevers en kent meer variatie in het dwarsprofiel.

Veel nevengeulen kennen suboptimale geulontwerpen. Een inlaatdrempel zorgt ervoor dat het water in de geul een groot gedeelte van het jaar volledig stil staat. Bij het ontwerpen vormt het Rivierbeoordelingskader (RBK) een keurslijf. De functie hoofdwaterveiligheid en scheepvaart voert hierbij vaak de boventoon, waardoor geulen niet ecologisch optimaal worden ingericht. Daarnaast kan aanzanding van de geulen ervoor zorgen dat de ecologische winst van de nevengeul na verloop van tijd verdwijnt.

Bij een goede inrichting van alle bestaande geulen zijn er mogelijk geen nieuwe geulen nodig om de benodigde ecologische winst te behalen. Momenteel functioneren veel geulen echter niet zoals gewenst, mede als gevolg van zomerbederosie en scheepvaart. Een variatie in condities, waaronder stroomsnelheid en waterdiepte, zijn hiervoor van belang. Daarnaast is onderhoud nodig. Hierbij moet vrijheid zijn om bij te sturen ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp als geconstateerd wordt dat de nevengeulen hydromorfologisch en ecologisch suboptimaal werken.

Beheer en onderhoud

Natuurlijke ontwikkeling van geulen leidt vanzelf tot meer variatie in zowel het dwars- als het langsprofiel (zie paragraaf 5.3.2). Met beheer en onderhoud sturen we dit bij, waardoor natuurlijke variatie beperkt blijft. Ook wanneer bekend is dat een geul suboptimaal werkt, blijven we het oorspronkelijke ontwerp nastreven bij onderhoudsmomenten. In enkele gevallen, bijvoorbeeld bij enkele geulen in beheer van Rijkswaterstaat Oost-Nederland, worden speciale teams ingezet om de werking van geulen te monitoren en evalueren. Op basis van een dergelijke evaluatie kan het na te streven ontwerp worden bijgesteld. Beheer en onderhoud heeft een nauwe relatie met de vegetatie op oevers. In de vegetatielegger is vastgelegd welk type vegetatie op iedere locatie in een uiterwaard mag voorkomen. Op deze manier wordt de ruwheid en daarmee de opstuwende werking van vegetatie tijdens hoogwater vastgelegd. In de praktijk betekent dit dat er relatief weinig ruwe vegetatie mag voorkomen langs grote wateren, terwijl dit gunstig zou zijn voor de ecologie van een gebied.

Invloed op KRW doelbereik

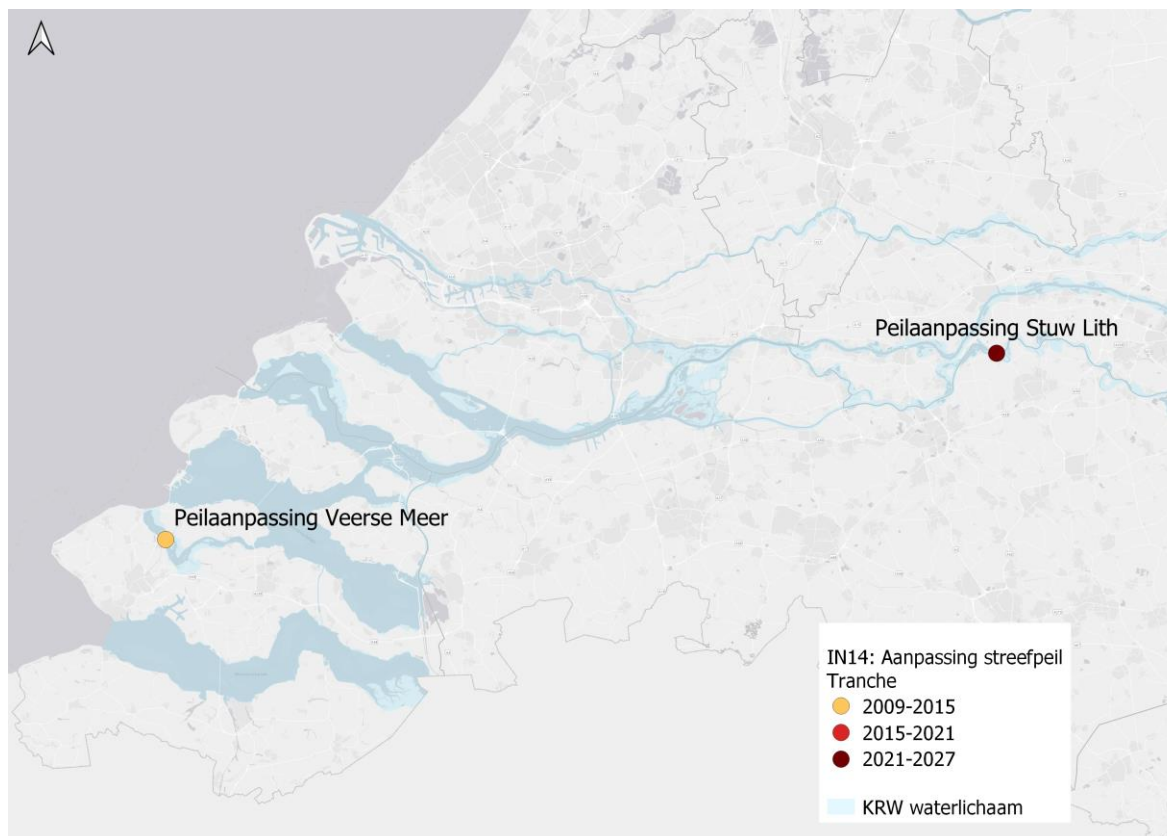
De aanleg van geulen levert lokaal een positief hydromorfologisch en ecologisch effect op. Het hydromorfologische effect op de hoofdgeul is echter beperkt, omdat het weinig verandert aan het systeem in de hoofdstroom. Ecologisch kan er wel een belangrijk effect zijn op waterlichaamniveau, doordat het de benodigde habitatdiversiteit verzorgt.

6 Hydromorfologie bij aanpassing streefpeil

6.1 Introductie

In Nederland wordt het peil beheerd op enkele rivieren, meren en delta-armen. Het doel hiervan is, onder andere, het bevaarbaar houden van de wateren, het vasthouden van voldoende water in de droge periode en waterveiligheid. Bij een aanpassing in het streefpeil (KRW maatregeltype IN14) gaat het bijvoorbeeld om maatregelen als (dynamische) stuwinstellingen van de Maas of peilbeheer in de meren en delta. Binnen dit cluster zijn vier maatregelen aangeduid op de oorspronkelijke maatregelenlijst, waarvan er twee zijn uitgevoerd. Het gaat om een aanpassing van het peilbeheer in het Veerse Meer en een aanpassing van de stuwsturing bij Lith.

In dit hoofdstuk zoomen we eerst in op de peilaanpassing in het Veerse Meer (paragraaf 6.2). Vervolgens zoomen we uit naar de schaal van KRW waterlichamen (paragraaf 6.3), waarbij we ingaan op hydromorfologische parameters voor alle waterlichamen.



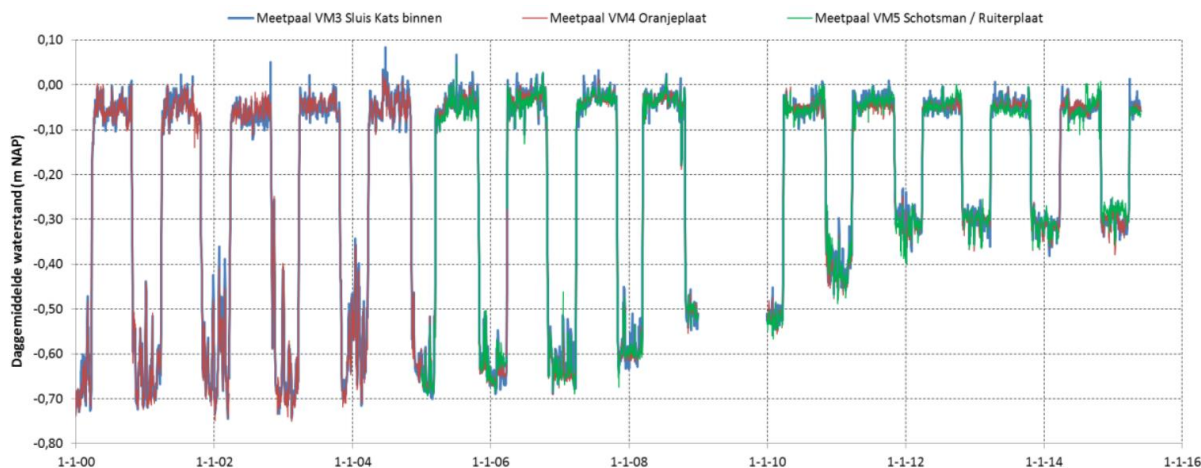
Figuur 39: Kaart met maatregelen van type IN14 (aanpassing streefpeil) met het moment van implementatie

6.2 Inzoomen: Peilaanpassing Veerse Meer

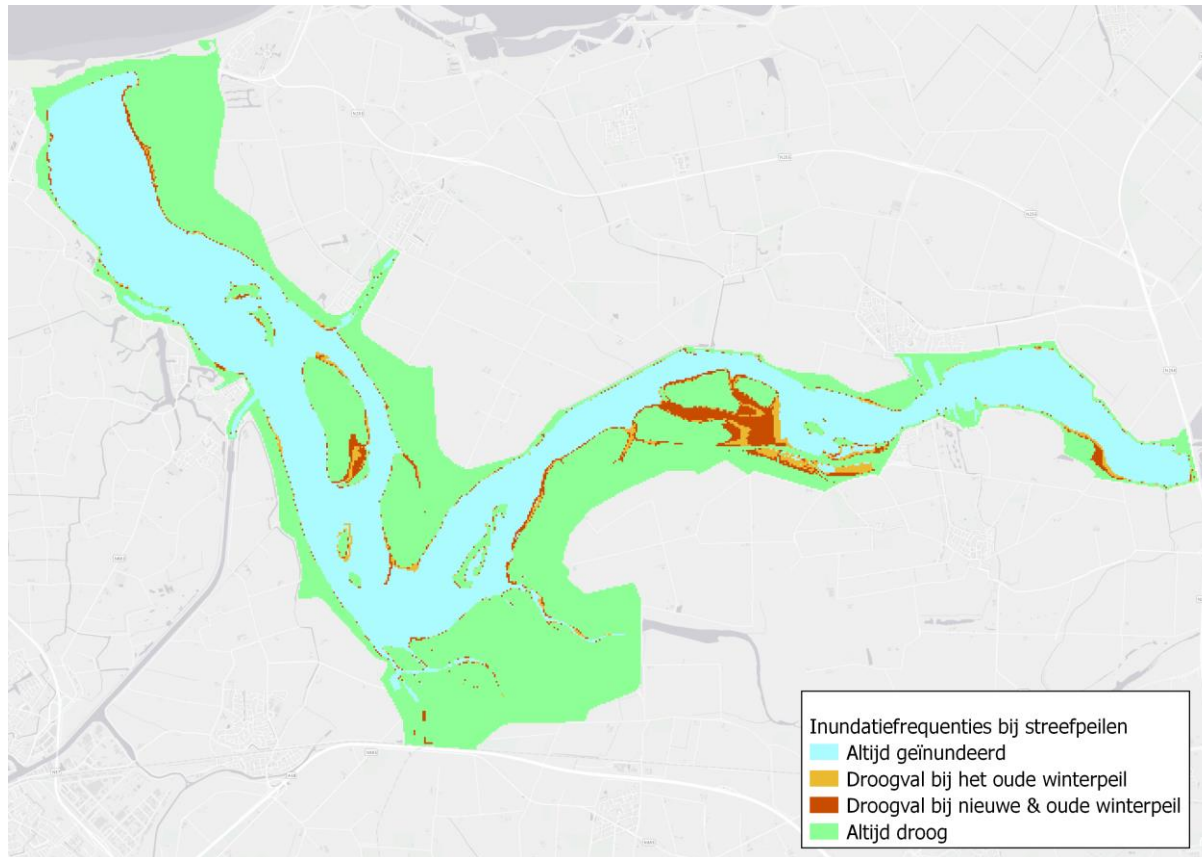
Het Veerse Meer ontstond in het kader van de Deltawerken. Hiervoor had het waterlichaam een open verbinding met de zee en getij-invloeden. De afsluiting had negatieve gevolgen voor de

waterkwaliteit en ecologie. Het water werd troebel, er groeide ongewenste vegetatie en algenbloei werd regelmatig gesignaleerd. In 2004 voltooide Rijkswaterstaat het doorlaatwerk Katse Heul, waardoor er een betere wateruitwisseling tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer kon plaatsvinden. Dit had een positieve uitwerking op de waterkwaliteit en het ecologisch functioneren, maar had niet het probleem van onnatuurlijk peilbeheer opgelost. Bij lage peilen in het Veerse Meer is de capaciteit van het doorlaatmiddel lager. Dit zorgde er dus in de winterperiode met het lagere winterpeil ervoor dat de wateruitwisseling met de Oosterschelde suboptimaal was.. Daarnaast konden door het lage winterpeil oevers droogvallen in de winter en de vegetatie en het bodemleven zich niet goed ontwikkelen. Om de ecologische en recreatieve potenties van het Veerse Meer beter te benutten is het Peilbesluit Veerse Meer in 2007 vastgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Dit hield in dat het peil van het Veerse Meer in de zomerpeil zou gaan fluctueren tussen NAP+0,0 m en NAP-0,1 m (zomerpeil) en in de winterperiode tussen NAP-0,2 m en NAP-0,4 m (winterpeil). De waterhuishoudkundige infrastructuur van de afwaterende gebieden was echter nog niet geschikt om het winterpeil direct te kunnen verhogen. Dit resulteerde in een stapsgewijze verhoging van het winterpeil van maximaal 10 cm per jaar tussen 2008 en 2011, waarbij ook de vegetatie meer de kans kreeg zich beter aan te passen aan de peilverandering.

De methodiek voor het beoordelen van het effect van het peilbeheer op hydromorfologische processen en ecologie bestaat met name uit expert judgement, gebaseerd op een studie van Deltares (2015) naar de ontwikkelingen in waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer tussen 2000 en 2014. Figuur 40 geeft de daggemiddelde waterstand voor drie meetstations in het Veerse Meer weer. De geleidelijke verhoging van het winterpeil is hier duidelijk zichtbaar voor ieder meetstation. Het peilbeheer is dus succesvol geïmplementeerd. Het aangepaste peilbeheer heeft een kleine invloed op de arealen die droogvallen tussen de zomer- en winterpeilen (Figuur 41). Slechts kleine oppervlaktes langs de oeverlijn blijven nu permanent geïnundeerd (dus permanent geïnundeerd, ondiep habitat).



Figuur 40: Daggemiddelde waterstand (in NAP+m) op locaties VM3, VM4 en VM5. Bron: Deltares, 2015.



Figuur 41: Inundaties als gevolg van de wisselende zomer- en winterpeilen in de oude (oranje) en de nieuwe (rood) situatie. Deze kaart is gemaakt met bodemhoogtegegevens en de volgende peilen: zomerpeil = NAP - 0,05 m, oude winterpeil = NAP -0,65 m en nieuwe winterpeil = NAP -0,30 m. De oranje gebieden vallen met het nieuwe winterpeil niet meer droog.

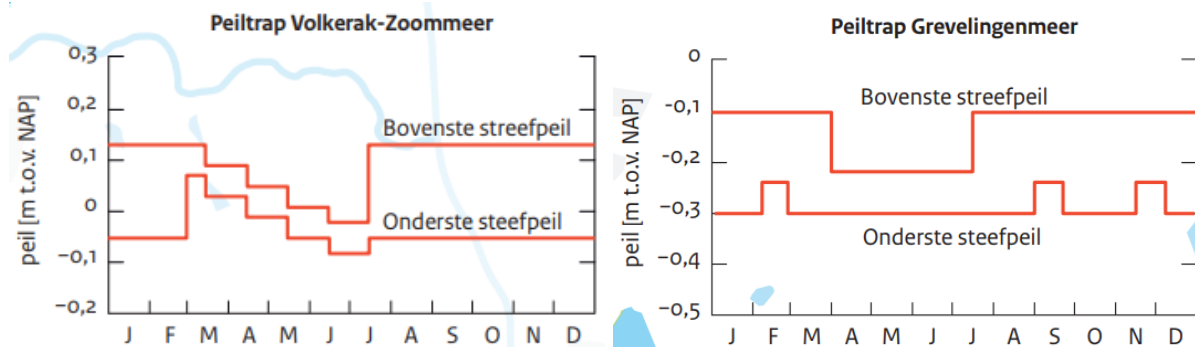
Deltares (2015) heeft in opdracht van Rijkswaterstaat de ontwikkelingen in waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer tussen 2000 en 2014 in kaart gebracht. Hierin komt naar voren dat de peilverhoging geen meetbare effecten heeft gehad op zoutgehalte, stratificatie en waterkwaliteit. Dit was ook niet verwacht. Het areaal dat niet meer droogvalt is mogelijk een gunstig habitat voor algen, wieren en bodemdieren, zoals de Japanse oester. De veranderingen in arealen ondiep water en droogvallend slik zijn mogelijk van invloed op vogelsoorten die in de oeverzone foerageren, maar deze effecten zijn nog niet te kwantificeren vanwege het beperkte aantal jaren van waarneming sinds de verandering in peilbeheer.

Tussen 2004 en 2015 leek de waterkwaliteit van het Veerse Meer te verbeteren. De laatste jaren is echter duidelijk geworden dat er problemen optreden in het Veerse Meer rond waterkwaliteit, waterbodem en ecologie, ondanks de opgetreden verbeteringen als gevolg van het doorlaatmiddel en het aangepaste peilbeheer. Zo vond er grootschalige vissterfte plaats in 2019 en 2020, zijn er aanwijzingen voor een verandering in soortensamenstelling en een afname in biomassa van de bodemdierengemeenschap. Ook komen er bacteriematten voor op de bodem, is er overlast door grote dichtheden kwallen en is er een hoge biomassa wieren geconstateerd (Deltares, 2023). Momenteel worden aanvullende studies uitgevoerd om de verslechterde toestand van het Veerse Meer te duiden en worden oplossingsrichtingen geformuleerd.

6.3 Uitzoomen naar de schaal van KRW waterlichamen

Binnen de zuidwestelijke delta vindt, naast het Veerse Meer, ook peilbeheer plaats in het Hollandsch Diep, het Volkerak-Zoommeer en het Grevelingenmeer (Figuur 42). Hoewel het peil in het Haringvliet niet vaststaat, is er een streefpeil in het achterliggende Hollandsch Diep.

Wat betreft hydromorfologie is met name het effect van de streefpeilen (en aanpassingen daarvan) op de inundatiekarakteristieken in de waterlichamen van belang. We bepalen welke gebieden droogvallen tussen de uiterste streefpeilen.



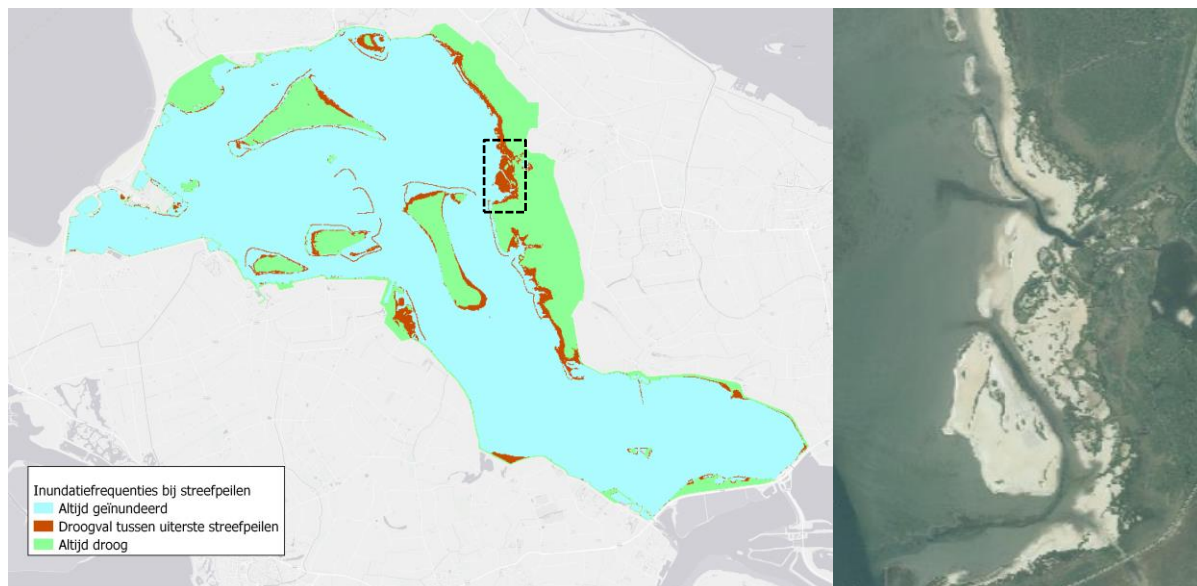
Figuur 42: Peiltrappen Volkerak-Zoommeer en Grevelingenmeer. Bron: Helpdesk Water¹⁰

Voor het Volkerak en het Grevelingenmeer projecteren we de uiterste streefpeilen op de bodemhoogtegegevens. Figuur 43 en Figuur 44 tonen welke gebieden droogvallen tussen deze twee peilen. We zien wederom dat het relatief kleine arealen betreft. In het Volkerak valt een deel van de noordoever op (zie ook de luchtfoto). De kreken in het noordoosten kennen kleine arealen droogvallende oevers. In het Grevelingenmeer zien we relatief grotere arealen die droogvallen tussen de uiterste streefpeilen. Dit zien we rond de platen, met name de Veermansplaat en de Stampersplaat, en langs enkele oevers (zie ook de luchtfoto). Zoals verwacht resulteert deze droogval in voornamelijk kale of sporadisch begroeide gebieden.

¹⁰ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/waterkwantiteit/infographics-operationeel-watermanagement-0/>



Figuur 43: Links: Inundaties tussen het bovenste en het onderste streefpeil in het Volkerak. Rechts: luchtfoto van een deel van de droogvallende noordoever (locatie gemarkeerd in het linkerfiguur).



Figuur 44: Links: Inundaties tussen het bovenste en het onderste streefpeil in het Grevelingenmeer. Rechts droogvallende oevers aan de noordoever van het Grevelingenmeer.

In een studie van HKV (2023) is een dergelijke analyse van inundatie en droogval ook uitgevoerd voor de meren in het IJsselmeergebied waarop peilbeheer wordt uitgevoerd. Het IJsselmeer en de andere meren worden gekenmerkt door een tegennatuurlijk peil (overigens net als het Veerse Meer), het zomerpeil is hoger dan het winterpeil en het peil fluctueert nauwelijks mee met de toevoer vanuit de rivieren. De oevers langs de randen van de meren en de eilanden zijn ook relatief steil, waardoor er slechts zeer kleine arealen een wisselende inundatie gedurende het jaar kennen.

Langs de Maas wordt het peil beheerd ten behoeve van het mogelijk maken van scheepvaart. De stuwen die hiervoor gebruikt worden zorgen ervoor dat grote delen van het jaar de Maas gestuwd is en de stroomsnelheden daardoor laag zijn. Een aanpassing van het peilbeheer biedt kansen voor ecologische verbetering, zoals dit bij stuw Lith is voorgenomen. Met aangepast peilbeheer kan het

peil dynamischer worden en kan mogelijk de hoeveelheid stromend habitat toenemen. De Grensmaas is niet gestuwd en kent daarmee ook een veel natuurlijk hydromorfologie dan de rest van de Maas. De Grensmaas heeft echter te maken met 'hydropeaking'. Door de waterkrachtcentrales en stuwen in Wallonië kan de Maasafvoer plots enkele tientallen kuubs per seconde toenemen. Dit vormt een belemmering voor het goede ecologisch functioneren van de Grensmaas. Enkele van de uitgevoerde KRW maatregelen in dit cluster betreffen de agendering en internationale afstemming over de hydropeaking. Deze afstemming heeft plaatsgevonden, maar heeft nog niet tot het gewenste resultaat geleid.

7 Discussie

In dit hoofdstuk bediscussiëren we de resultaten van deze studie. Hierbij nemen we ook de opgedane inzichten uit de expertsessie mee. De inhoud is niet getoetst bij de aanwezig geweest experts.

7.1 Reflectie op de uitgevoerde maatregelen

Er is een grote verscheidenheid aan maatregelen uitgevoerd. Het valt op dat veel maatregelen meegekoppeld zijn met andere gebiedsontwikkelingen en dat in veel gevallen primair andere doelen worden ondersteund met de maatregelen. Dit zorgt niet automatisch voor een optimaal ecologisch ontwerp dat positief bijdraagt aan de voor ecologie gewenste hydromorfologie. Met name voor grote vergravingen in wetlands en uiterwaarden in combinatie met geulen zijn hoogwaterveiligheid, grondsanering en delfstoffenwinning ook hoofdfuncties die worden meegenomen in de ontwerpfase. Hierdoor is het vaak onduidelijk welke onderdelen van het ontwerp voor KRW doeleinden worden ingezet en in hoeverre deze daadwerkelijk bijdragen aan het KRW doelbereik. Een voorbeeld hiervan is de hoogwatergeul bij Deventer, die functioneert als een strang. De strang is echter zo groot en uniform dat er weinig diversiteit in stroomsnelheden en waterdieptes is. Anderzijds zijn er ook voorbeelden waarbij de meekoppeling met andere doelstellingen juist kansen geeft. De Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum is hier een voorbeeld van. Hier zorgde de meekoppeling voor een groter schaalniveau van hydromorfologische verbeteringen.

Te weinig beheer en onderhoud kan ook een reden zijn voor het suboptimaal ecologisch functioneren van maatregelen. Natuurontwikkeling bestaat uit het aanleggen van een uitgangssituatie dat het startpunt vormt voor natuurlijke ontwikkeling. Monitoring en evaluatie moet dan uitwijzen of de maatregel de gewenste verbeteringen oplevert. Indien onvoldoende of onjuiste ontwikkeling plaatsvindt, dient te worden bijgestuurd om de gewenste veranderingen alsnog te behalen. Bij Rijkswaterstaat Oost-Nederland is Team Uiterwaarden bezig om de ontwikkeling van geulen te beschouwen en bij te sturen waar dat nodig is. Hiervoor kan bij goede redenen worden afgeweken van het oorspronkelijke ontwerp.

De effecten van de uitgevoerde maatregelen op waterlichaamniveau zijn over het algemeen beperkt. Hydromorfologische effecten vinden met name op de maatregellocatie zelf plaats. Voor veel maatregelen geldt dat de effecten in de hoofdgeul beperkt is. Voornamelijk bij geulen en strangen is dit zichtbaar. Deze bieden een grote diversiteit in hydromorfologie langs de rivier, maar hebben op de hydromorfologie in de hoofdgeul nauwelijks effect. Ondanks het gebrek aan hydromorfologische effecten in de hoofdgeul kan er wel ecologische winste worden geboekt, bijvoorbeeld een toename van de visstand. Een verbetering van het systeem in geulen en uiterwaarden wordt hierdoor niet of nauwelijks meegenomen in een meetbare parameter voor kwantitatieve KRW beoordelingen, terwijl hier wel goede hydromorfologische en ecologische resultaten worden behaald. Een aantoonbaar verschil ten opzichte van de referentiesituatie is hierdoor niet altijd mogelijk.

7.2 Data en monitoring

Over het ecologisch functioneren van natuurvriendelijke oevers, nevengeulen en vergravingen in wetlands en uiterwaarden is wetenschappelijk veel bekend (o.a. Stoffers, 2021 & 2022; Grift, 2001). Hydromorfologische monitoring en evaluatie vindt echter slechts beperkt plaats na de aanleg van een maatregel. Hierdoor bestaat beschikbare informatie met name uit (oude) ontwerpplannen en is weinig bekend over de hydromorfologische ontwikkeling van aangelegde maatregelen na implementatie. De link tussen ecologie en hydromorfologisch functioneren van individuele maatregelen wordt hierdoor slechts beperkt in kaart gebracht. Het verdient aanbeveling om de hydromorfologische effecten ('output') als de ecologische effecten ('outcome') beide en in samenhang te monitoren.

Daarnaast zijn er diverse beperkingen in databeschikbaarheid en datakwaliteit op landelijk niveau, waardoor het voor vele maatregelen moeilijk is om de hydromorfologische effecten in kaart te brengen. Hiervoor is ten minste kwalitatief hoogwaardige data nodig van voor én na de uitvoering van maatregelen. Veelal zien we dat met name de historische data er niet is of van mindere kwaliteit is. Dit zien we bijvoorbeeld bij de ecotopenkarteringen, bathymetrie onder water en inundatiekaarten. Sommige databronnen zijn daarnaast ook niet goed geschikt voor de lokale bepaling van hydromorfologische parameters. Een voorbeeld hiervan is het AHN. Deze biedt goede landelijke dekking, maar de dekking in de oeverzones is matig. Hierdoor is de nauwkeurigheid van oeverdetectiemethodieken beperkt. Op lokaal niveau zijn er betere databronnen beschikbaar, maar deze zijn niet landelijk dekkend wat ze voor een studie als deze niet geschikt maken. Ook de Beheerkaart NAT is niet volledig dekkend, waardoor de oeverbekleding niet overal bepaald kon worden.

Op het vlak van data en monitoring is het ook belangrijk dat alle beschikbare informatie over uitgevoerde maatregelen samengebracht wordt. In deze studie hebben we geconstateerd dat de lijst aan KRW maatregelen, evenals de weergave hiervan op kaart, (nog) niet compleet is of niet voldoende informatie geeft om eenvoudig te herleiden om wat voor maatregelen het gaat en waar deze precies zijn uitgevoerd. Uniforme beschikbaarheid hiervan is wenselijk. De Viewer KaderRichtlijn Water van Rijkswaterstaat Oost- en Zuid-Nederland biedt wel een goede basis hiervoor.

7.3 Hydromorfologische drukfactoren

Voor een ecologisch goed functionerend systeem is het van belang dat de hydromorfologische randvoorwaarden op orde zijn. Dit is geen garantie voor een grootschalige ecologische ontwikkeling, maar een minimale vereiste om ontwikkeling mogelijk te maken. Hoewel maatregelen in het kader van KRW bijdragen aan een verbetering van de hydromorfologische randvoorwaarden, bestaan er momenteel nog grootschalige drukfactoren die de ontwikkeling afremmen. De belangrijkste hindernissen zijn het gevolg van peilbeheer en scheepvaart. Natuurlijke variatie in tijd en ruimte verdwijnt als gevolg van peilbeheer. Dit speelt onder andere in de gestuwde Maas, in de zuidwestelijke delta en in het IJsselmeergebied. Scheepvaart veroorzaakt een bovenmatige golfslag. In geulen en op oevers kunnen deze golven grote en ongewenste stroomsnelheden en waterstandsfluctuaties veroorzaken. De randvoorwaarden die vanuit de scheepvaart aan de vaarweg worden gesteld, zorgen daarnaast voor beperkte mogelijkheden in maatregeltypen. Hierdoor is, bijvoorbeeld, de hoofdgeul van de rivieren diep en smal, terwijl breed en ondiep gunstiger zou zijn voor ecologische doeleinden. Deze drukfactoren op waterlichaamniveau zorgen ervoor dat uitgevoerde maatregelen niet ecologisch optimaal

functioneren. Het corrigeren of mitigeren van drukfactoren is geen primaire doelstelling onder KRW geweest. In de PAGW wordt hier meer aandacht aan besteed.

7.4 Kennishiaten

Op basis van deze studie en de discussie met experts zijn enkele voorbeelden van kennishiaten geformuleerd:

- Van scheepvaart en scheepsgolven wordt over het algemeen verondersteld dat deze een belangrijke drukfactor zijn voor de hydromorfologie en ecologie in oeverzones en in geulen. Kwantitatieve informatie hierover is er echter onvoldoende. Zo is niet duidelijk hoe de stroomsnelheden in geulen als gevolg van scheepsgolven afhangen van de lengte, vorm, ruwheid en dwarsprofiel van de geul. Dit geeft inzicht over hoe stroming door scheepsgolven zich verhoudt tot normale stromingscondities. Met dit inzicht kan geulontwerp worden verbeterd en bestaande geulen die veel hinder ondervinden van scheepsgolven geoptimaliseerd worden.
- De effecten van peilbeheer op het hydromorfologisch en ecologisch functioneren van waterlichamen met een vast peilbeheer, zoals het IJsselmeergebied, de gestuwde Maas en de zuidwestelijke delta. Het is bekend dat het peilbeheer een belangrijke drukfactor is hiervoor, evenals op de werking van uitgevoerde KRW maatregelen. Om ecologisch gewenster peilbeheer te ontwerpen en in te stellen is meer onderzoek nodig. Het aangepaste peilbeheer van het Veerse Meer heeft bijvoorbeeld niet het gewenste ecologische resultaat opgeleverd. De reden hiervoor is niet duidelijk.
- Er is momenteel geen goede methodiek om oeverkenmerken, het profiel en de bekleding, op landelijke schaal te kwantificeren. In deze studie konden we van minder dan 50% van de oevers een helling berekenen. Daarnaast is van de oevers waarop de methodiek wel toepasbaar was de nauwkeurigheid beperkt. Ook in andere studies, bijvoorbeeld HKV (2022a), is gebleken dat het bepalen van oeverprofielen lastig is. Op lokaal niveau is wel met (succes) geëxperimenteerd met oeverdetectie op basis van camerabeelden en AI (HKV, 2022b). Dit biedt een mogelijkheid om oevers en de ontwikkeling daarvan beter in beeld te krijgen, bijvoorbeeld daar waar NVO's zijn uitgevoerd. Handmatige inmeting van oevers, zowel direct na oplevering van NVO's als de ontwikkeling in de tijd, is een alternatief voor monitoring op projectniveau.

Inzicht in deze kennisvragen draagt bij aan de verbetering van ecologische maatregelen met betrekking tot ontwerp, beheer en onderhoud.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De conclusies op basis van voorliggende studie bestaan uit een algemeen deel en een maatregelspecifiek gedeelte, waarin conclusies met betrekking tot de individuele maatregeltype naar voren komen. We vatten deze conclusies samen per maatregeltype en per waterlichaam in Tabel 3 en Tabel 4.

Tabel 3: Concluderende tabel per maatregeltype van de KRW maatregelen die zijn uitgevoerd voor 2023 en zijn geanalyseerd binnen dit project

Maatregeltype	Conclusie kwantiteit	Conclusie kwaliteit
Oeverherinrichting	Er is ruim 300 km aan oeverherinrichtingen uitgevoerd, verdeeld over 44 maatregelen. Met name langs de Maas gaat het om een grote kwantiteit aan oeverherinrichtingen (ontsteningen). Langs de Rijntakken en in de zuidwestelijke delta gaat het om relatief kleine lengte oevers	De kwaliteit van de oeverherinrichtingen is moeilijk te kwantificeren. Langs de Maas zijn vele oevers ontsteend, zijn deze inmiddels begroeid, maar is er weinig verandering in de oeverhelling gedetecteerd. Langs de IJssel zijn de ontsteende oevers kaal (zand), en hebben ze een flauwer profiel gekregen tijdens de aanleg.
Vergravingen van wetland en uiterwaard	Er zijn 50 maatregelen in dit cluster uitgevoerd. Het betreft 3% van het totale areaal op waterlichaamniveau. Langs de rivieren zijn relatief veel maatregelen uitgevoerd, in de zuidwestelijke delta relatief weinig. De vergravingen zijn meestal meegekoppeld met andere maatregelen, bijvoorbeeld een nevengeul of strang.	De vergravingen in de wetlands zorgen lokaal voor nieuw intergetijdengebied of andersoortige getijdenatuur, zoals in de Sophiapolder. In de uiterwaarden van de rivieren resulteren de vergravingen in kleine toenames van de inundatiefrequenties. Op waterlichaamniveau blijven de inundatiefrequenties laag.
Nevengeulen en strangen	Er is een groot aantal nevengeulen en strangen aangelegd, namelijk 48 in totaal. Ze zorgen voor een significante toename van luw habitat buiten de hoofdgeul van de rivieren.	Diverse nevengeulen en strangen kennen een (te) lage meestroomfrequentie vanwege (te) hoge drempels. Dit zorgt voor suboptimaal ecologisch functioneren. Met continuerende bodemdaling en klimaatverandering daalt de meestroomfrequentie van de nevengeulen en strangen. Daarnaast zijn de dwarsprofielen van enkele nevengeulen en strangen dermate ruim dat de stroomsnelheden in de geulen zeer laag zijn.

Aanpassing streefpeil	Er is 1 meerpeilaanpassing uitgevoerd, namelijk in het Veerse Meer. In andere meren en in de Gestuwde Maas en de Nederrijn-Lek zou met een aanpassing van de streefpeilen ecologische verbetering mogelijk zijn	Peilbeheer zorgt voor suboptimaal ecologisch functioneren, ook van genomen KRW-maatregelen als de oeverherinrichtingen.
-----------------------	---	---

Tabel 4: Concluderende tabel per waterlichaam van de KRW maatregelen die zijn uitgevoerd voor 2023 en zijn geanalyseerd binnen dit project

Waterlichaam / Waterlichamen	Conclusie kwantiteit	Conclusie kwaliteit
Bovenrijn, Waal	Er zijn grootschalige maatregelen uitgevoerd met het type nevengeul/strang en vergravingen, bijvoorbeeld de nevengeul Lent, Millingerwaard, Oevergeulen achter de langsdammen en de Afferdensche en Deetsche Waarden. Het percentage luw habitat, zowel aangetakt als stromend, is van alle waterlichamen het meest toegenomen. Er zijn geen losstaande oeverherinrichtingen uitgevoerd; er zijn sowieso weinig oeverbeschermingen t.o.v. de andere Rijntakken.	Een (groot) deel van de maatregelen heeft ook het doel van het verhogen van de waterveiligheid gehad. Hierdoor zijn de dwarsprofielen van diverse geulen zo ruim dat de stroomsnelheden (zeer) laag zijn. Ook zijn de inundatie- en meestroom frequenties van diverse uiterwaarden, geulen en strangen laag.
Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek	Langs de Nederrijn en Lek is circa 15 km aan oevers natuurvriendelijker gemaakt, het betreft een relatief klein percentage van de totale oeverlengte. Er is een zestal geulen/strangen aangelegd. De toename in luw, stromend habitat is zeer klein (1 beekmond), er is wel sprake van een toename in luw, aangetakt habitat.	Een deel van de aangelegde geulen kennen lage meestroomfrequenties en/of grote dwarsprofielen waardoor de stroomsnelheden laag zijn. Doordat de Nederrijn-Lek gestuwd is, is het peil op de natuurlijker ingerichte oevers relatief constant door het jaar heen, waardoor deze mogelijk suboptimaal functioneren.
IJssel	Langs de IJssel is circa 12 km aan oeverherinrichtingen uitgevoerd. Dit betreft een klein percentage van de oeverlengte. Er is relatief groot aantal en diversiteit aan geulen en strangen aangelegd. Dit heeft geleid tot een significante toename van luw, stromend en/of aangetakt habitat.	De heringerichte oevers zijn zandig en uit de literatuur is bekend dat de profielen flauwer zijn dan voor de herinrichting. De geulen en strangen hebben gemiddeld gezien lage stroomsnelheden. Dit geldt met name voor de geulen en strangen aangelegd in het kader van Ruimte voor de Rivier projecten.

<p>Bovenmaas, Grensmaas</p>	<p>Langs een groot van het traject zijn (aan de Nederlandse zijde) oeverherinrichtingen uitgevoerd. Dit geldt name voor het traject tot Meers. Verder benedenstrooms zijn diverse grootschalige uiterwaardvergravingen in het kader van Maaswerken uitgevoerd.</p>	<p>Voor de oeverherinrichtingen zijn met name steenbestortingen verwijderd. De oevers zijn veelal begroeid, maar de oevers zijn niet sterk verflauwd. De uiterwaardvergravingen hebben een grote invloed gehad op de inundatiefrequenties langs de Grensmaas, ook een effect hebbend op waterlichaamniveau.</p>
<p>Zandmaas, Bedijkte Maas, Bergsche Maas, Beneden Maas</p>	<p>Oeverherinrichtingen hebben in deze waterlichamen bijna langs het gehele traject plaatsgevonden. Het betreft het verwijderen van steenbestorting. De nevengeul Stadsweide Roermond is de enige stuwpasserende nevengeul langs de Maas. Langs de rest van het traject zijn enkele strangen aangelegd.</p>	<p>Met de oeverherinrichtingen zijn de oevers van de Maas veelal (sterk) begroeid geraakt. De dwarsprofielen zijn dikwijls niet sterk veranderd. Dit heeft mogelijk te maken met het peilbeheer dat geregeld wordt met de stuwen.</p>
<p>Brabantsche Biesbosch en Dordtse Biesbosch</p>	<p>De maatregelen in de Noordwaard zijn een van de meest grootschalige aanpassingen (mede) in het kader van KRW. Ook de verlagingen in de Jantjesplaat en Hilpolders zijn uitgevoerd</p>	<p>De uiterwaardvergravingen in de Biesbosch hebben gezorgd voor een (grote) toename van de intergetijdgebieden.</p>
<p>Boven en Beneden Merwede, Oude Maas, Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Haringvliet Oost, Haringvliet West</p>	<p>In deze waterlichamen zijn enkele oeverherinrichtingen in de vorm van de optimalisaties van vooroevers en oeverbeschermingen plaatsgevonden. Op waterlichaamniveau is de schaal klein. Daarnaast zijn enkele vergravingen in de wetlands uitgevoerd, waarvan de Sophiapolder het grootst in schaal is</p>	<p>De heringerichte oevers liggen nog altijd in steen, eventueel natuurlijker oevers zijn te vinden in de delen achter de oeverbescherming. De hydromorfologische kwaliteit van de getijdegeulen kon niet geëvalueerd worden. De andere vergravingen hebben wel geleid tot een toename van het areaal intergetijdengebied.</p>
<p>Veerse Meer</p>	<p>In het Veerse Meer heeft een (significante) streefpeilaanpassing plaatsgevonden</p>	<p>Door de streefpeilaanpassing valt minder areaal droog bij het winterpeil. Dit zorgt in potentie voor een natuurlijker situatie. Observaties tonen geen duidelijke verbetering van de ecologie. Het is niet duidelijk of dit te wijten is aan de streefpeilaanpassing of de overige hydromorfologie.</p>

Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen, Volkerak, Zoommeer, Eendracht	Geen geregistreerde, uitgevoerde KRW-maatregelen binnen de scope van dit project	-
IJsselmeergebied	Geen geregistreerde, uitgevoerde KRW-maatregelen binnen de scope van dit project	-

Algemeen

In deze studie zijn de hydromorfologische effecten van circa 150 uitgevoerde KRW maatregelen beschouwd. Hierbij is zoveel mogelijk aangesloten bij de hydromorfologische parameters zoals deze zijn gedefinieerd in het Handboek Hydromorfologie (Rijkswaterstaat, 2013). Hierbij merken we op dat veel parameters niet toepasbaar zijn op het niveau van maatregelen en dat ze het ook niet allemaal toelaten om gekwantificeerd te worden.

Ondanks beperkingen in de datakwaliteit en databeschikbaarheid heeft de studie kwantitatieve informatie opgeleverd over deze uitgevoerde maatregelen. De hydromorfologie is op een uniforme wijze beschouwd voor alle maatregelen en op waterlichaamniveau, waardoor er inzichten zijn verkregen over de effecten van de maatregelen op de lokale hydromorfologie en de hydromorfologie op waterlichaamniveau. Dit biedt mogelijk een manier om ecologische effecten (of het gebrek daaraan) van de uitgevoerde maatregelen beter te duiden. Als de hydromorfologie immers niet op orde is, kunnen relevante soorten dieren en planten niet verwacht worden. Anderzijds, als de hydromorfologie op orde is, is er geen garantie dat de relevante soorten dieren en planten voorkomen en dat daarmee wordt voldaan aan de KRW richtlijnen op waterlichaamniveau.

Beperkingen in de data, zowel in de kwantiteit als in de kwaliteit, zorgen ervoor dat er meestal geen tijdlijn kon worden gemaakt van de ontwikkeling van de hydromorfologische parameters in de tijd. Daarnaast zorgde beperkingen in de kwaliteit ervoor dat niet alle hydromorfologische parameters goed konden worden afgeleid. Voorbeelden hiervan zijn de oeverhelling en de oeverbekleding.

In algemeenheid kan gesteld worden dat de kwantiteit en schaal aan maatregelen op waterlichaamniveau voor de maatregeltypen beperkt is (bijv. bij vergravingen in uiterwaarden en wetlands), en dat diverse uitgevoerde maatregelen suboptimaal ecologisch functioneren (kwaliteit; bijvoorbeeld bij oeverherinrichtingen en geulen). De suboptimale werking is veelal het gevolg van het meekoppelen met andere functies, bijvoorbeeld hoogwaterveiligheid. Dit meekoppelen levert vaak wel een betere uitvoerbaarheid en een groter schaalniveau op, maar zorgt dus tegelijkertijd voor een ecologisch suboptimaal ontwerp.

Oeverherinrichting

De aanleg van natuurvriendelijke oevers heeft in sommige waterlichamen grootschalig plaatsgevonden in de eerste en tweede KRW tranche, met name langs de Maas. Uit de resultaten blijkt dat de NVO's langs de Maas voornamelijk begroeid zijn, terwijl deze langs de IJssel zandig zijn. Langs de Maas schatten we dat circa 20% van alle oevers natuurlijker zijn geworden na uitvoering van de NVO's. Langs de Rijntakken betreft het enkele procenten van de totale oeverlengte. Bij zowel de Rijntakken als de Maas zien we geen grote veranderingen in

oeverhellingen als gevolg van de uitvoering van de KRW maatregelen. Langs de Maas zien we dat de gemiddelde oeverhellingen niet substantieel zijn gewijzigd, ondanks dat de dwarsprofielen wel zijn veranderd. Ontstane oevers kennen flauwe delen en steilranden, maar de gemiddelde helling is gelijk gebleven. Er kan daarmee niet eenvoudig gesteld worden dat de overgang van land naar water langs de Maas veel geleidelijker is geworden. Experts geven aan dat er wel mooie voorbeelden van NVO's met steilranden langs de Maas te vinden zijn. De natuurlijkheid van de ontstane oevers is wel toegenomen, doordat de stenen zijn vervangen door een natuurlijker bodembekking (meestal vegetatie). Langs de IJssel is de datakwaliteit te beperkt om grote veranderingen in oeverhelling te detecteren. Enkele experts zeggen dat uitgevoerde NVO's relatief kleine ingrepen zijn op waterlichaamniveau, bijvoorbeeld langs de IJssel, en dat ze dus een klein effect op de hydromorfologie en mogelijk de ecologie hebben.

Vergravingen van wetland en uiterwaard

Vergravingen in wetlands en uiterwaarden zijn over het algemeen grote projecten. Het zijn vaak projecten waarbij KRW doelen zijn meegekoppeld met doelen als hoogwaterveiligheid en delfstoffenwinning. De schaal van de projecten ten opzichte van het waterlichaamniveau is echter klein, namelijk maximaal 3% van het totale areaal. Grote slagen om de hydromorfologie op waterlichaamniveau te verbeteren ontbreken daarom nog. Een groot gedeelte van de uiterwaarden inundeert nog altijd zelden en met weinig variatie door uniforme bodemhoogtes en zomerdijken. Ook bij getijgedreven inundaties is de omvang van de uitgevoerde KRW maatregelen ten opzichte van het waterlichaamniveau beperkt. De aangelegde intergetijdengebieden en getijdekreeken zorgen hooguit lokaal voor diversiteit in inundatiekarakteristieken. In de ecotopen zien we grote veranderingen op maatregelniveau. De ecotoop 'akkers' met meer dan de helft, af en wordt vervangen door natuurlijker ecotopen als riet & ruigte en water. Op waterlichaamniveau zijn dezelfde trends zichtbaar als zijn de procentuele veranderingen kleiner dan op waterlichaamniveau. Het is vanwege de datakwaliteit niet met zekerheid vast te stellen of de ecotoopveranderingen direct te koppelen zijn aan de uitgevoerde maatregelen.

Nevengeulen en strangen

In het kader van KRW zijn circa 50 nevengeulen en strangen aangelegd. Deze hebben bijgedragen aan de toename van het areaal luw habitat buiten de hoofdgeul. Langs de Waal en de IJssel is het luwe, stromend habitat buiten de hoofdgeul met de uitvoering van de KRW maatregelen ruim verdubbeld. Tegelijkertijd functioneren veel van de aangelegde geulen en strangen hydromorfologisch en daarmee mogelijk ook ecologisch suboptimaal. Dit kan te maken hebben met te weinig beheer en onderhoud en/of een suboptimaal oorspronkelijk ontwerp. Geulen stromen pas bij hogere afvoeren mee vanwege inlaatdrempels, de stroomsnelheden zijn te laag door te grote dwarsprofielen, de oevers zijn te steil of er is te weinig vegetatiegroei langs de oevers.

Aanpassing streefpeil

In het kader van KRW is één streefpeilaanpassing uitgevoerd. In het Veerse Meer is het winter- en zomerpeil dicht bij elkaar gebracht. Hydromorfologisch heeft dit ervoor gezorgd dat minder gebieden droogvallen in de winter. De maatregel heeft ecologisch echter nog niet de gewenste resultaten opgeleverd. Het is onbekend wat hiervan de oorzaak is. In andere wateren, zoals in de gestuwde Maas en in het IJsselmeergebied zorgt het peilbeheer ook voor suboptimale hydromorfologische condities.

8.2 Aanbevelingen

Uit voorliggende studie volgen de volgende aanbevelingen met betrekking tot de methodiek, datakwaliteit, tijd- en ruimteschalen en overige kansen:

Methodiek

De gevolgde methodiek biedt kansen voor het kwantificeren van effecten van hydromorfologische ingrepen. De uitdaging ligt met name in het samenrapen van maatregelen op waterlichaamniveau en het behouden van [uniformiteit in effectbepaling](#). Hierdoor is interpretatie en evaluatie van individuele maatregelen vaak nog nodig om duiding te geven aan de veranderende hydromorfologische parameters en de link met ecologie.

Alle uitgevoerde maatregelen dragen bij aan KRW doelbereik. De mate waarin de ingrepen bijdragen aan voor ecologie gunstige hydromorfologie wisselt echter zeer sterk. Dit is onder andere afhankelijk van de omvang van de ingreep (kwantiteit), de hydromorfologische effecten (kwaliteit) en de mate waarin ruimte wordt gegeven aan natuurlijke ontwikkeling (kwaliteit). De methodiek van deze studie is een startpunt voor de ontwikkeling van een methodiek waarmee mogelijk een [kwaliteitsscore](#) toegekend kan worden aan de effecten van KRW maatregelen op de hydromorfologie en daarmee de bijdrage aan KRW doelbereik. Een dergelijke kwaliteitsscore kan eraan bijdragen onderscheid te maken in de zeer waardevolle maatregelen die veel hebben bijgedragen aan de gewenste hydromorfologie en de maatregelen die suboptimaal functioneren en daarmee weinig bijdragen aan de gewenste hydromorfologie. De gewenste hydromorfologie kan verkregen worden uit het Handboek Hydromorfologie (Rijkswaterstaat, 2013).

Datakwaliteit

De kwaliteit van beschikbare data vormt in enkele gevallen de limiterende factor met betrekking tot de kwantificatie van hydromorfologische parameters op het niveau van waterlichamen. Het gaat dan met name om de [beschikbaarheid van historische gegevens](#), waarbij oudere versies van datasets soms niet bewaard zijn gebleven (zoals Beheerkaart NAT) of gegevens nog niet lang genoeg bestaan. Ook zijn datasets soms [onvolledig](#) (bijvoorbeeld Beheerkaart NAT) of [inconsistent](#) met andere datasets die dezelfde informatie weergeven, zoals bij het AHN en Baseline schematisaties. Ook de lijst met uitgevoerde maatregelen en de weergave hiervan lijkt enkele uitgevoerde maatregelen te missen. Een verbeterde uitwisseling en gestructureerde opslag van informatie tussen partijen, binnen en buiten Rijkswaterstaat kan hierbij helpen.

Historische versies van eenzelfde dataset kennen een [wisselende kwaliteit](#). Verschillen in ecotopenkartering kunnen bijvoorbeeld ook voortkomen uit een verandering in classificatie, subjectieve beoordeling van de ecotoop en resolutie. Een verandering in gekarteerde ecotoop hoeft dus niet direct te betekenen dat een verandering in de praktijk ook heeft plaatsgevonden. Het vergt echter veel inspanning om historische gegevens op te waarderen. Het is daarom meer voor de hand liggend om de kwaliteit van actuele data te verbeteren. Het gaat hierbij om de ecotopenkartering, Beheerkaart NAT, inundatiekaarten voor zowel de Rijn als de Maas en stroombanenkaarten. Dit betekent dat een historische tijdlijn van hydromorfologische parameters niet goed te construeren is.

Tijdschaal

Hydrologie en hydraulica reageren zeer snel op ingrepen (per direct), terwijl morfologie een stuk langzamer reageert (mogelijk jaren voordat de morfologie zich volledig heeft aangepast). De huidige tijdlijn waarop maatregelen worden beschouwd (KRW tranches) is meestal te kort voor de ingrepen om morfologisch te ontwikkelen. Het is daarom van belang om inzicht te krijgen in de

[ontwikkeling](#) en [toekomstbestendigheid](#) van maatregelen en daarbij ook voortschrijdend inzicht te krijgen op beheer en onderhoud van uitgevoerde maatregelen op langere termijnen. Aspecten die hierbij van belang zijn, zijn de morfologische ontwikkelingen van de maatregel zelf, de veranderingen in de hoofdgeul, de groei van vegetatie, en veranderende hydrologie (als gevolg van klimaatverandering). We bevelen aan de ontwikkeling en toekomstbestendigheid van uitgevoerde maatregelen te onderzoeken.

Ruimtelijke schaal

Tussen de uitgevoerde maatregelen en de oppervlakte van de waterlichamen zit vaak een duidelijk schaalverschil. Op waterlichaamniveau zijn hydromorfologische ingrepen daardoor nauwelijks terug te zien. Dit kan te maken hebben met de kwantiteit (het aantal maatregelen en hun oppervlakte) als met de kwaliteit (maatregelen functioneren suboptimaal). Lokaal ter plaatse van de maatregelen kan de hydromorfologie wel de gewenste effecten opleveren, wat ook op waterlichaamniveau voor een duidelijke ecologische verbetering kan zorgen. Het is echter niet volledig duidelijk welke hydromorfologische ingrepen (ten minste) nog nodig zijn om de (ecologische) KRW doelen te behalen. We bevelen aan dit in beeld te brengen.

Overige kansen

Hoewel veel maatregelen zijn uitgevoerd of in uitvoering zijn, zorgen drukfactor voor een verminderde werking. Deze drukfactoren zijn kwalitatief en anekdotisch bekend (o.a. peilbeheer en scheepsgolven), maar de kwantitatieve effecten op de hydromorfologie en de ecologie zijn dat slechts beperkt. We bevelen een [kwantitatieve effectbepaling van drukfactoren](#) en de kwantitatieve effecten van een verandering of mitigatie van deze drukfactoren aan.

Uit meerdere onderzoeken blijkt dat een [oeverdetectie](#) niet eenvoudig is. Een juiste detectie van locatie en daarmee helling van oevers is van belang voor ecologie, maar ook voor beheer en onderhoud. Een verbetering van de methodiek voor het bepalen van de oeverlocatie brengt daarom een meervoudig profijt mee.

9 Referenties

Arcadis, 2011.

Afleidingen Hydromorfologie Rijkswateren. In opdracht van Rijkswaterstaat Data ICT Dienst. Rapport nr. 075742699:0.5 – Definitief.

Boskalis, 2017.

Aanpassing Inrichtingsplan 2016, Toegift aan de natuur, Herinrichting Afferdense en Deestse Waarden. Niet-Technische Samenvatting ADW-OWN-009. In opdracht van Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

Buijse et al., 2019.

Natuurvriendelijke oevers langs de Maas: toestand en trend na 10 jaar ontwikkeling. Deltares project 11201679-000. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Bureau Noordwaard, 2007a.

Ontwerpvisie ontpoldering Noordwaard mei 2007. Documentnummer 369191-2 (<https://open.rijkswaterstaat.nl>). Bureau Noordwaard, Rotterdam.

Bureau Noordwaard, 2007b.

Ontwerpvisie ontpoldering Noordwaard mei 2007. Documentnummer 369191-2 (<https://open.rijkswaterstaat.nl>). Bureau Noordwaard, Rotterdam.

Croonen Adviseurs, 2010.

Ontwerpinpassingsplan Stadsweide Roermond, Provincie Limburg. Identificatienummer NL.IMRO.9931.PIPStadsweideRmond-ON01. Croonen Adviseurs, Rosmalen.

De Boer, 2009.

Afferdense en Deestse Waarden nota rivierkundige berekening. NED 530-04. Referentie RW1704-1/bosb3/034.

De la Haye et al., 2011.

Zijn natuurvriendelijke oevers effectief voor de KRW?. H2O / 25/26 – 2011.

Deltares, 2015.

Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014 ten behoeve van de Evaluatie Peilbesluit. In opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta, rapport nr 1220248-000.

Deltares, 2022.

Effectbepaling nulalternatief IRM. Nathalie Asselman, Jurjen de Jong, Marjolein Mens, Maaïke Maarse, Bart Maas, Peter de Grave, Eveline van der Deijl. Deltares: 11208036-004-ZWS-0002.

Deltares, 2023.

Systeemanalyse Veerse Meer. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL. KPP WR08 BOA ZW Delta – Veerse Meer. Document ID 11208079-000-ZKS-0009.

Duró en Schippers, 2021.

Studie Natuurvriendelijke Oevers IJssel. Eindrapportage. Referentie 124989/21-012.487. In opdracht van Rijkswaterstaat Programma's, Projecten en Onderhoud.

Geerling, 2017.

Een natuurlijker Maas. Samenvattende rapportage van de monitoringsresultaten 2016 van het project Monitoring en evaluatie natuur(vriende)lijke oevers Maas; ecologie en morfologie. Deltares project 1221132-000-ZWS-00 11. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL.

Gemeente Druten, 2013.

Plan-MER voor het Bestemmingsplan Afferdense en Deestse Uiterwaarden. mRO / 77.04 -13.

Grift, 2001.

How fish benefit from floodplain restoration along the lower River Rhine. Wageningen University. ISBN 9789058084880Hendriks et al., 2019.

Ontwikkeling instrumentarium natuurlijk kapitaal. Casestudie Noordwaard-polder. Uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van Rijkswaterstaat WVL.

HKV, 2022a.

Hoofdstuk Oevererosie. Conceptrapportage. In 'De morfodynamiek van de Maas tijdens het zomerhoogwater van 2021'. Project referentie 4647.10, augustus 2022.

HKV, 2022b.

Lokale monitoring. Voor lokale inzichten. Eindrapport. Stenfert, J., Caspers, J., Dupuits, G. Project referentie 4496.20, november 2022.

HKV, 2023.

Indicator fysische dynamiek PAGW gebieden. In opdracht van Rijkswaterstaat. Project referentie 4894.10, oktober 2023.

Lagcher et al., 2010.

Inrichtingsplan Nevengeul Stadsweide Roermond. De stappen naar een optimaal herontwerp. Dienst Landelijk Gebied regio Zuid en Provincie Limburg, Roermond.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.

Inrichtingsplan Afferdensche en Deestsche Waarden. RIZA Nota nummer 96.054.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003.

Geohydrologie Afferdensche en Deestsche Waarden. Grondwaterstroming in de Afferdensche en Deestsche Waarden onder invloed van berging uiterwaardengrond. Werkdocument 2003-172x. RIZA, Lelystad.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007.

Peilbesluit Veerse Meer. 8 oktober 2007.

Paarlberg en Schippers, 2020.

IRM Quickscan rivierbodemplugging. Inverse modellering evenwichtseffect maatregelen op zomerbedbodemplugging: afleiden dimensies van maatregelen. 22 januari 2020, concept.

Peters, 2005.

Vrij Eroderende Oevers langs de Maas. Landschapsecologisch Streefbeeld. Studie in opdracht van Rijkswaterstaat Limburg.

Rijkswaterstaat, 2010.

Toelichting Rijksinpassingsplan Ontpoldering Noordwaard. NW100367. Uitgevoerd door Projectbureau Noordwaard & Consortium (Arcadis, DHV en Royal Haskoning) in opdracht van Programmadirectie Ruimte voor de Rivier.

Rijkswaterstaat, 2013.

Handboek Hydromorfologie 2.0. Afleiding en beoordeling hydromorfologische parameters Kaderrichtlijn Water. Versie 2.0, 31 mei 2013.

Rijkswaterstaat, 2021.

Gerealiseerde maatregelen Kaderrichtlijn Water Maas 2010-2021. Overzichtskaart door Rijkswaterstaat.

Schoor, 2011a.

Een nevengeul vol leven. Handreiking voor een goed ecologisch ontwerp. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Schoor, 2011b.

Nevengeulen langs de grote rivieren. Leren van de praktijk. Presentatie gegeven op 14 december 2011. Rijkswaterstaat Oost Nederland.

Stoffers et al., 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 (2021) 142931.

Stoffers et al., 2022.

Freshwater fish biodiversity restoration in floodplain rivers requires connectivity and habitat heterogeneity at multiple spatial scales. Science of the Total Environment 838 (2022) 156509.

Van der Lee et al., 2022.

Maatregel-effect-monitoring in oppervlaktewateren: ontwerp, analyse en bepaling van de ecologische effectiviteit van uitgevoerde maatregelen. Van der Lee, G., Bakker, A., Verdonschot, R., Verdonschot, P. KIWK 2022-25.

Definities en afkortingen

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland; de digitale hoogtekaart voor heel Nederland.
Baseline	Gestandaardiseerde gebiedsschematisatie van de Nederlandse hoofdwaters.
Betrekkinglijnen	een weergave van de relatie tussen rivierafvoeren en waterstanden per hectometer langs de rivier.
EKR	Ecologische Kwaliteits Ratio: de KRW-oordelen zijn gebaseerd op de 'EKR-scores'. Met de EKR-score worden verschillende meetwaarden tot 1 getal gecombineerd en met een norm vergeleken. Zo wordt de ecologische kwaliteit van een waterlichaam uitgedrukt in de Ecologisch Kwaliteitsratio ¹¹ .
Hydromorfologie	De term is geïntroduceerd als kwaliteitselement in de Kaderrichtlijn Water. In het Handboek hydromorfologie is de volgende definitie opgenomen: "De leer van de vormen in het landschap ontstaan door water".
Handboek hydromorfologie	een rapport (Rijkswaterstaat, 2013) waarin relevante hydromorfologische parameters voor rivieren, overgangsbieden, meren en kustgebieden worden vastgesteld. Het gaat om versie 2.0 van het Handboek.
KRW	Kader Richtlijn Water: Europese richtlijn voor waterkwaliteit.
Maatregelenlijst	door Rijkswaterstaat aangeleverde lijst met het overzicht van KRW-maatregelen.
NVO	Natuurvriendelijke oever.
PAGW	Programmatische Aanpak Grote Wateren: investeringsprogramma met het doel om de waterkwaliteit te verbeteren en de natuur te versterken in de Nederlandse grote wateren.
Waterlichaam	Afgebakend stuk oppervlaktewater met grenzen zoals gespecificeerd in de KRW.
Waterstandsduurlijnen	Een weergave van hoelang (hoeveel dagen per jaar) op een bepaalde plek een waterstand voorkomt.

¹¹ <https://waterinfo-extra.rws.nl/rapportages/internationale-rapportages/krw-oordelen-rijkswaterstaat/>

Bijlagen

A Niet beschouwde type maatregelen

Type maatregel	Code	Reden uitsluiting
Uitvoeren actief visstands- of schelpdierstandsbeheer	BE01	Geen duidelijk effect op hydromorfologie
Uitvoeren actief vegetatiebeheer (enten, zaaien, planten)	BE02	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op vegetatie/ecotopen
Uitvoeren op waterkwaliteit gericht onderhouds-/maaibeheer (water en natte oever)	BE03	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op vegetatie/ecotopen
Verwijderen vervuilde bagger (m.u.v. eutrofe bagger)	BE05	Heeft een effect op hydromorfologie (sediment/waterdiepte), maar waterkwaliteit verbeteren en wegnemen vervuiling is het primaire doel van de maatregel. Effect of hydromorfologie niet het primaire doel van de maatregel
Overige beheersmaatregelen	BE08	Geen duidelijk effect op hydromorfologie
Verminderen emissie nutriënten landbouw	BR01	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op waterkwaliteit
Verminderen emissie gewasbeschermingsmiddelen stad	BR09	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op waterkwaliteit
Verminderen belasting RWZI nutriënten	IM01	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op waterkwaliteit
Verminderen belasting RWZI overige stoffen	IM02	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op waterkwaliteit
Overige emissie maatregelen	IM12	Geen duidelijk effect op hydromorfologie Verwacht direct effect op waterkwaliteit
Invoeren/wijzigen doorspoelen	IN03	Geen uitgevoerde maatregelen
Verondiepen watergang/-systeem	IN13	Geen uitgevoerde maatregelen
Vispasseerbaar maken kunstwerken	IN15	Afhankelijk van de definitie van hydromorfologie. Het beoogde effect is echter vispasseerbaarheid en niet een hydromorfologisch effect
Overige RO-maatregelen	RO09	n.v.t.
Uitvoeren onderzoek	S01	n.v.t.
Geven van voorlichting	S02	n.v.t.
Overige instrumentele maatregelen	S06	n.v.t.
Waterbeheer 21e eeuw	WB21	n.v.t.

B Logboek hydromorfologische parameters

Type maatregel	Relevante hydromorfologische parameter voor maatregel	Vergelijkbare <i>parameter</i> en methodiek in het Handboek hydromorfologie en Arcadis (2011)	Methodiek in dit project
Oeverherinrichting (IN05 t/m IN08)	Oeverhelling	<i>Dwarsprofiel en mate van natuurlijkheid</i> (3.14) op basis van expert judgement. <i>Helling oeverprofiel</i> (4.10) op basis van expert judgement en/of individuele oeverprofielen. In Arcadis (2011) op basis van de ecotopenkaarten met eenvoudige aannames.	Bepaling op basis van AHN met een methodiek om de teen en kruin van een oever te bepalen
Oeverherinrichting (IN05 t/m IN08)	Oeverbekleding	<i>Aanwezigheid van oeververdediging</i> (3.18/4.9) op basis van beheerkaarten. In Arcadis (2011) is gebruik gemaakt van ecotopenkaarten, waarbij voor de oevers enkel 'natuurlijk' of 'onnatuurlijk' bekend is.	Uit Beheerkaart Nat
Vergravingen in wetland en uiterwaard (IN10)	Ecotopen	<i>Landgebruik in uiterwaard</i> (3.20) op basis van Ecotopenkaarten. In Arcadis (2011) is dit gefilterd op oeverecotopen.	Uit ecotopenkaarten
Vergravingen in wetland en uiterwaard (IN10)	Afvoergedreven inundatiefrequentie	<i>Inundatiefrequentie en inundatieduur</i> (3.4) kwantitatief op basis van AHN en waterstanden. <i>Mate van natuurlijke inundatie</i> (3.21) op basis van expert judgement.	Uit inundatiekaarten
Vergravingen in wetland en uiterwaard (IN10)	Getijgedreven inundatiefrequentie	<i>Getijslag</i> (5.1) op basis van waterstandsmetingen. <i>Soort intertijdegebied</i> (5.9) op basis van geomorfologische kartering.	Kruisen van bodemhoogtes met geschatte waarden van GHW en GLW

Aanleg nevengeulen (IN11)	Stroomsnelheid	<i>Stroomsnelheid</i> (3.6) op basis van enkele metingen in de hoofdgeul. Niet gerelateerd aan stroomsnelheden in geulen.	Stroomsnelheid in nevengeulen bij mediane afvoer berekend met vuistregels op basis van de Chézy vergelijking
Aanleg nevengeulen (IN11)	Aanwezigheid stromend habitat buiten de hoofdgeul	<i>Rivierloop</i> (3.13) op basis van expert judgement wordt de natuurlijkheid en de aanwezigheid van nevengeulen bepaald.	Visuele inspectie of er buiten de hoofdgeul aangetakte en meestromende wateren aanwezig zijn
Aanleg nevengeulen (IN11)	Meestroomfrequenties geulen	<i>Inundatiefrequentie en inundatieduur</i> (3.4), min of meer kwantitatief op basis van AHN en waterstanden.	Op basis van literatuur
Aanpassing streefpeil (IN14)	Waterstand	<i>Waterstand</i> (4.6) op basis van waterstandsmetingen	Direct uit streefpeilen en metingen
Aanpassing streefpeil (IN14)	Droogval tussen streefpeilen	Gerelateerd aan <i>Waterstand</i> (4.6).	Kruising bodemhoogtes met streefpeilen

C Bijlagen Natuurvriendelijke oevers

c.1 Overzicht aangelegde NVO's langs de Maas

Tabel 5: Overzicht van de ligging, lengte en rivierbreedte van de door Buijse et al. (2019) gemonitorde oevertypen langs de Maas en bij herinrichting het jaar waarin dit is uitgevoerd. Binnen het type gesorteerd op rivierkilometer (BM = Benedenmaas; Rkm-B – begin; Rkm-E – eind; R = rechteroever, L = linkeroever, binnen = binnenbocht, buiten = buitenbocht). De laatste kolom geeft aanvullende informatie over de uitgevoerde maatregel. (Buijse et al. 2019)

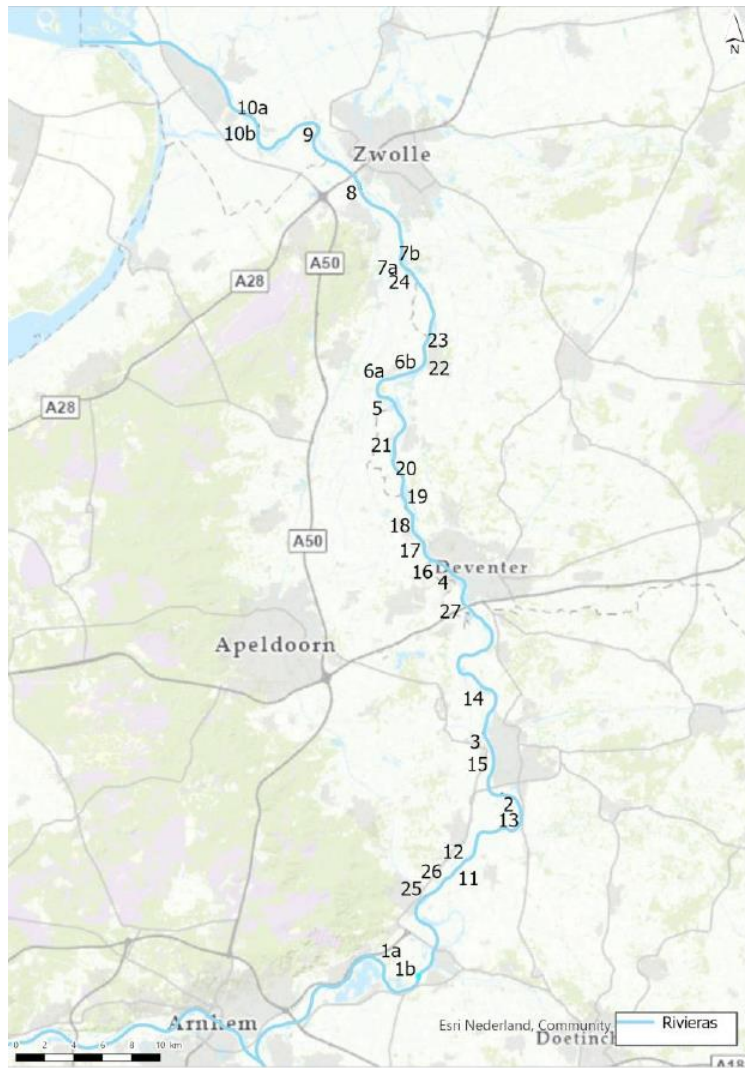
Oevertype	Oevertraject	Stuwpan	Rkm- B	Rkm- E	Oever	Lengte (m)	Breedte rivier (m)	Ligging	Bocht-afsnijding	Jaar van herinrichting
Spontaan eroderend	Koningsteen - De Engel	Linne	64,1	64,5	L	400	101	buiten	nee	-
	Lus van Linne	Roermond	70	71	L	1000	102	binnen	nee	-
	Ooijen	Sambeek	125	126,9	L	1900	156	binnen	nee	-
	Hedel - Casterense Hoeve	BM	217,9	218,1	R	200	164	binnen	nee	-
	Oude Schans	BM	218,8	219,4	L	600	172	binnen	ja	-
Kribvakken	Paaldere - Het Wild	BM	212	213,3	L	1300	160	buiten	nee	Spontaan eroderend tussen kribben
	Hedel – Benedenwaarden	BM	221	221,8	R	800	178	binnen	nee	Spontaan eroderend tussen kribben
Natuurlijke oever	Aijen	Sambeek	138,1	138,5	R	400	155	buiten	nee	2006
	Bergen	Sambeek	139,4	140,4	R	1000	167	binnen	nee	2006
	Noordereiland	Grave	151,9	153,3	L	1400	141	recht	ja	2007 (Maaswerken), 2010
	Oeffelt	Grave	153,3	154,55	L	1250	142	recht	ja	2010
	Overasselt	Grave	1709	1743	R	3400	166	binnen	nee	2010
	Keentse oevers	Lith	177,75	178,8	L	1050	170	buiten	ja	2012
	Batenburg	Lith	185	185,6	R	600	153	buiten	ja	2011
Het Scheel	Lith	195,4	196,5	L	1100	161	binnen	ja	2000	

	Zandmeren	BM	212,5	214	R	1500	160	binnen	nee	2010
Natuurvriendelijke oever met dam	De Witte Steen	Grave	152	153,1	R	1100	145	recht	ja	2015, vooroever is tot 1m onderwater verlaagd
	Balgoij	Lith	177	178,9	R	1900	167	binnen	ja	2012; onderwater dam
	Het Scheel geul**	Lith	195,4	196,5	L	1100	161	binnen	ja	2000; geul achter stenen oeververdediging
Vastgelegde oever	Asseltse plassen	Belfeld	86,1	86,7	R	600	117	buiten	ja	n.v.t.
	Broekhuizen	Sambeek	118,2	120,7	L	2500	145	binnen	nee	n.v.t.
	Oeffelt Veerhuis	Grave	154,55	155,15	L	600	126	recht	ja	n.v.t.
	Gebrande Kamp	Grave	158,3	159,4	R	1100	133	recht	nee	Kribben verwijderd in 2010
	Ossekamp	Lith	193,3	194,8	L	1500	158	binnen	ja	n.v.t.
	Paaldere	BM	209,1	212	L	2900	139	binnen	ja	n.v.t.
Aangetakte plas	Gebrande Kamp baai	Grave	158,3	159,1	R	800	194	n.v.t.	nee	1990
Strang	Ossekamp geul	Lith	193,3	194,8	L	1500	n.v.t.	n.v.t.	ja	2012, eenzijdig aangetakte oevergeul
	Paaldere geul	BM	209,1	213,3	L	4200	n.v.t.	n.v.t.	ja	2011, eenzijdig aangetakte oevergeul

c.2 Overzicht locaties en aanlegjaren NVO's langs de IJssel

Tabel 6: Locatie en aanlegjaar van NVO langs de IJssel die zijn beschouwd in de studie van Dúro en Schippers (2021)

Nr.	Naam	Begin oever [rkm]	Einde oever [rkm]	KRW / pre- KRW	Aanlegjaar
1a	grindoevers Havikerwaard	891,30	891,40	pre-KRW	1990-2000*
1b	grindoevers Havikerwaard	900,20	900,34	pre-KRW	1990-2000*
2	Stokebrandsweerd	924,10	924,20	pre-KRW	natuurlijk
3	t.o. Zutphen	929,20	929,30	pre-KRW	natuurlijk
4	Ossenwaard pré KRW	945,00	946,20	pre-KRW	1990-2000*
5	Welsumer Waarden	959,20	960,50	pre-KRW	2010
6a	Duurse Waarden steenfabriek	961,65	962,20	pre-KRW	1996
6b	Duurse waarden Scherpenzeels hank	963,30	964,50	pre-KRW	1990-2000*
7a	kribvak Wapenveld	972,27	972,34	pre-KRW	natuurlijk
7b	kribvak Windesheim	972,39	972,46	pre-KRW	natuurlijk
8	Engelse werk	978,85	979,60	pre-KRW	1993
9	Zalk	984,80	985,60	pre-KRW	natuurlijk
10b	Scherenwelle zwemstrand	990,97	991,21	pre-KRW	natuurlijk
10a	Scherenwelle strang	992,44	992,61	pre-KRW	natuurlijk
11	De Schans	914,97	915,22	KRW	mrt-17
12	Leuvenheim	915,68	916,22	KRW	jan-17
13	Stroomkanaal	922,06	922,27	KRW	jan-17
14	Rammelwaard	932,90	933,22	KRW	dec-16
15	Zutphen links	925,00	927,00	KRW	apr-17
16	Ossenwaard KRW	945,68	946,62	KRW	feb-17
17	Stobbenweerd	947,74	948,95	KRW	feb-17
18	Keizerswaarden	950,10	950,56	KRW	feb-17
19	Slichtenbreesweerd	950,88	951,22	KRW	dec-16
20	Katerstede	954,53	955,02	KRW	mrt-17
21	Hengforderwaarden	954,75	955,43	KRW	dec-16
22	Wijhe zuid	964,50	965,00	KRW	dec-16
23	Wijhe noord	965,20	965,68	KRW	mei-17
24	Tichelgaten Herxen	971,30	972,21	KRW	jan-17



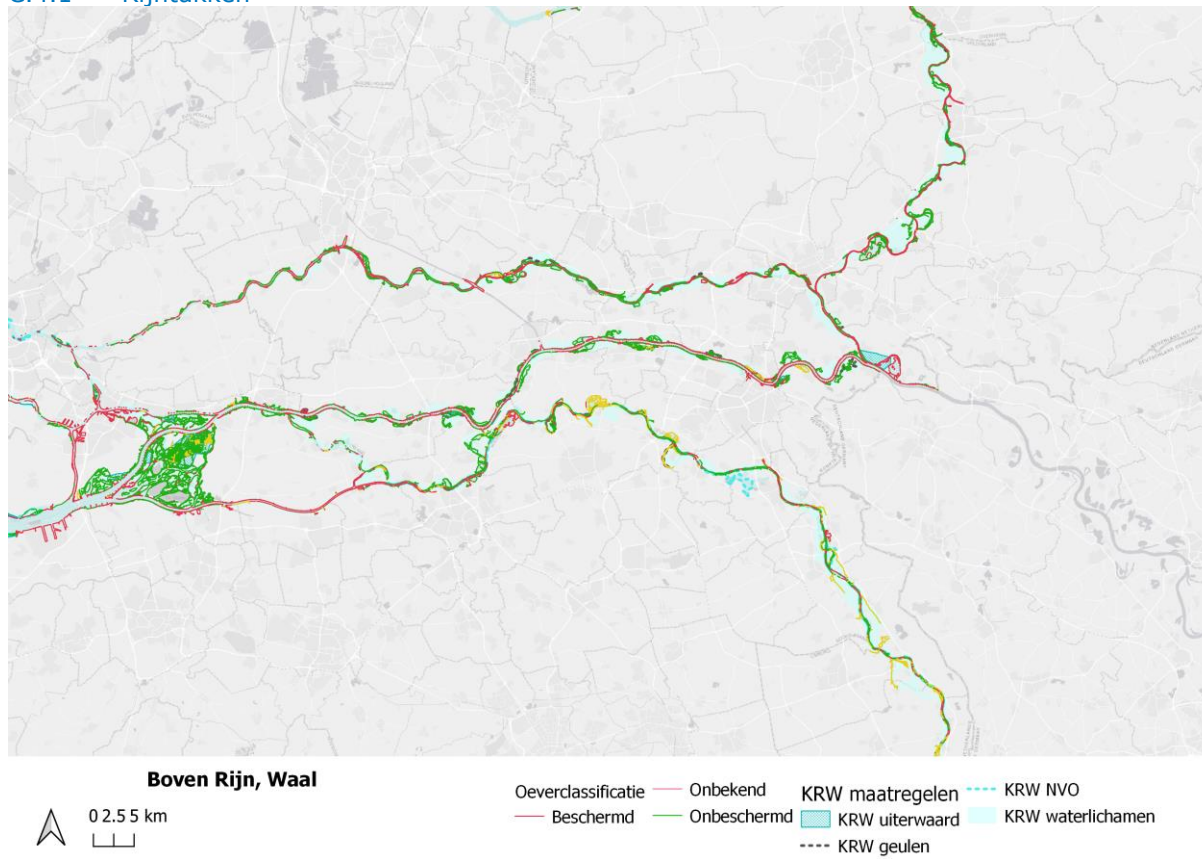
Figuur 45: Locaties van NVO's langs de IJssel beschouwd door Duró en Schippers (2021). Zie Bijlage C.2 voor meer informatie over de oevers

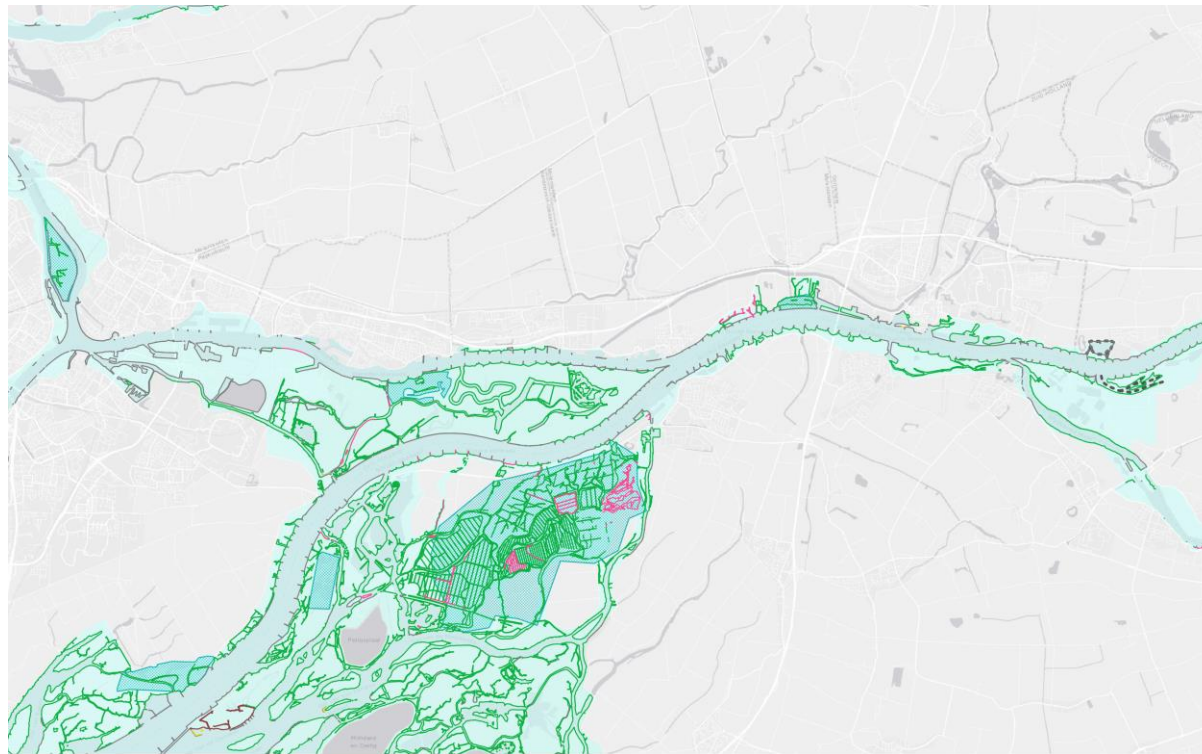
c.3 Koppeltabel oevertypen

Oevertype Beheerkaart NAT	KRW classificatie	Oevertype Beheerkaart NAT	KRW classificatie
Staal	Verhard	Damwand	Verhard
Niet van toepassing	Onbekend	Geen informatie	Onbekend
Vegetatie	Vegetatie	Niet-primaire waterkering Dam	Verhard
Gras	Vegetatie	Akkerbouw	Agrarisch
Niet bekend	Onbekend	Steenbekleding	Verhard
Stortsteen	Verhard	St.st. met gietlaag	Verhard
Niet in Picklist	Onbekend	Weiland	Agrarisch
Primaire waterkering Dijk	Verhard	Hardhout	Verhard - natuurlijk materiaal
Nog in te winnen	Onbekend	Steen	Verhard
Groen	Vegetatie	Bituum	Verhard
Zand	Zand	Eigen terrein	Onbekend
Strand	Zand	Gestorte betonblokken	Verhard
Krekenstelsel	Zand	Uitlaat	Verhard
Beton	Verhard	Bedienings-gebouw	Verhard
Verharding open	Verhard	Duiker	Verhard
Zetsteen	Verhard	Plassengebied	Zand
Hout	Verhard - natuurlijk materiaal	Opslagterrein divers	Verhard
Zandplaat	Zand	Bunker	Verhard
Verharding gesloten	Verhard	Water	Water
Steenzetting / Stortsteen	Verhard	Slik/Wad	Zand
Elementverharding	Verhard	Primaire waterkering Kunstwerk	Verhard
Basalt	Verhard	Zinkstuk met st.st.	Verhard
Recreatie	Onbekend	Niet in picklist	Onbekend
-	Onbekend	Ooijbos	Vegetatie
Natuur	Vegetatie	Trailerhelling	Verhard
Bebouwd	Verhard	Azobe/stortsteen	Verhard
Steenzetting / stortsteen	Verhard	Veerstoep	Verhard
Steenzetting	Verhard	NaN	Onbekend
Betonnen damwand met betonnen deksloof	Verhard	Kunststof	Verhard
Wegverharding	Verhard	Niet gevuld	Onbekend
Stortsteen/Steenzetting	Verhard	Verharding	Verhard
Damwand beton	Verhard	Schelpen	Zand
Primaire waterkering Dam	Verhard	Weg	Verhard
Betonplaten	Verhard	Kadewand	Verhard
Steenzetting/Stortsteen	Verhard	Bos	Vegetatie
Niet-primaire waterkering Dijk	Verhard	Overig	Onbekend
Damwand overig	Verhard	Uitwateringsluis	Verhard
Azobe	Verhard	Griend	Verhard
Agrarisch	Agrarisch		

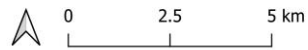
c.4 Figuren met classificatie van oevers per KRW waterlichaam

C.4.1 Rijntakken

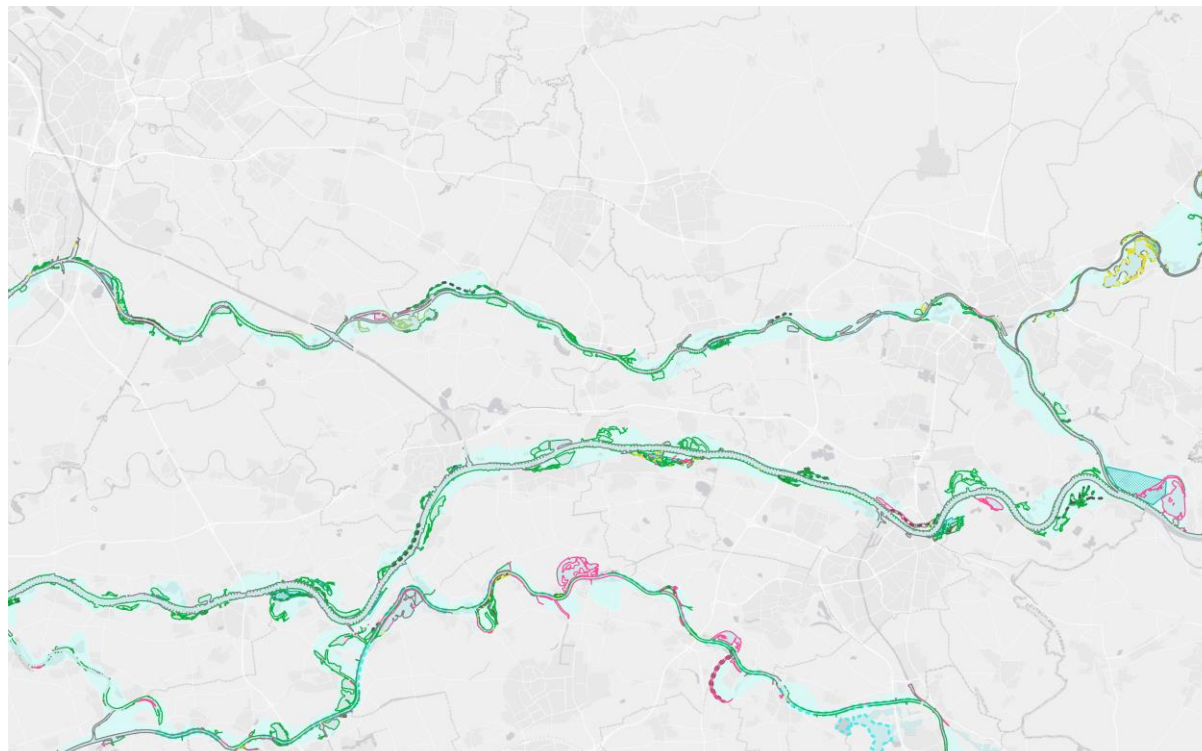




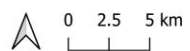
Boven en Beneden Merwede



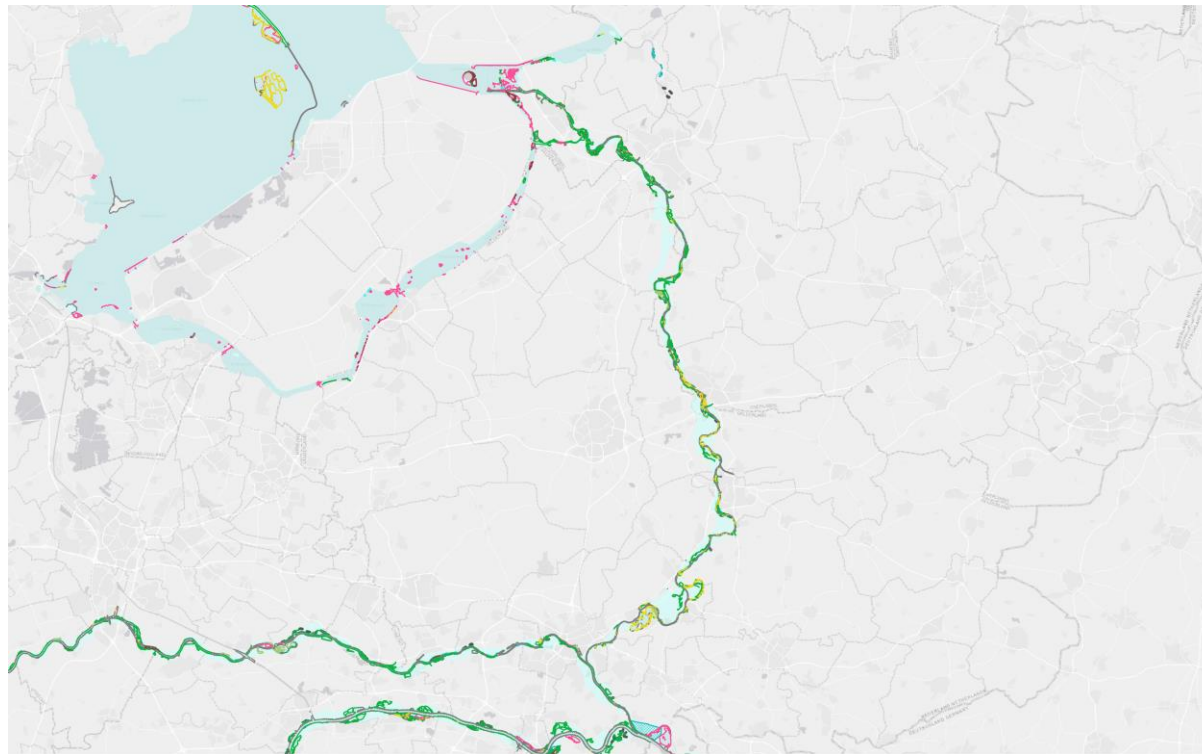
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



Nederrijn, Lek



- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |

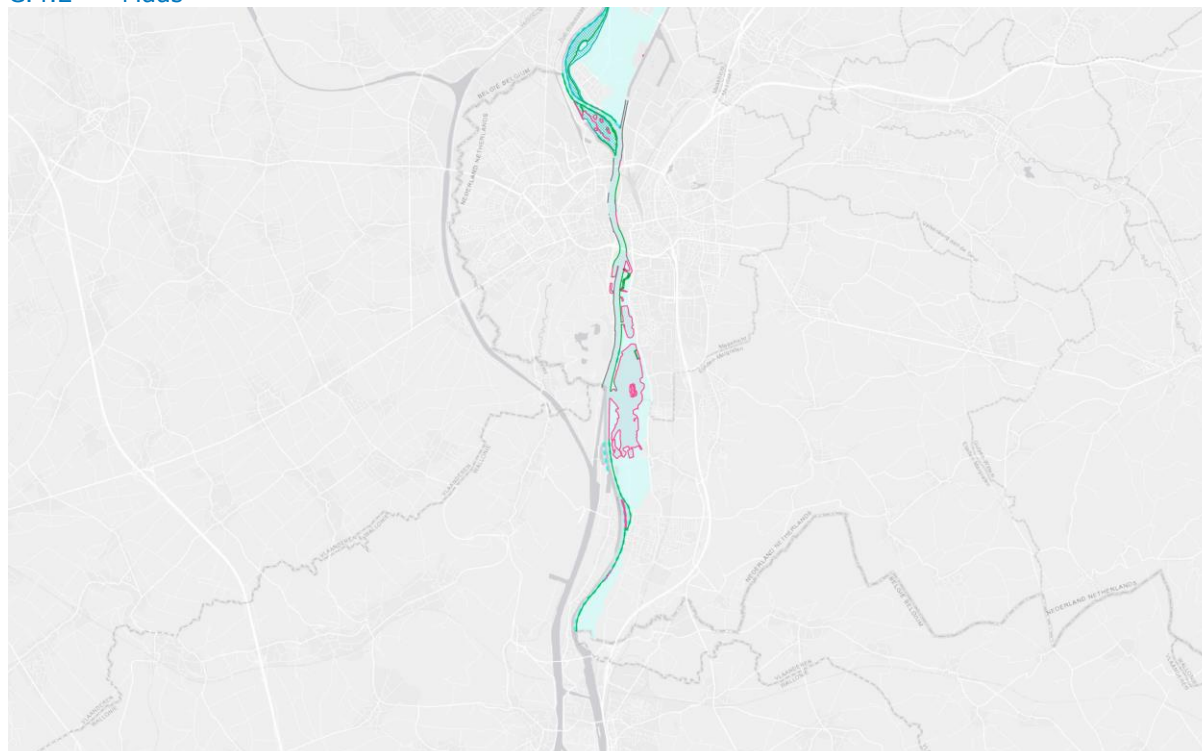


IJssel

0 2.5 5 km

- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |

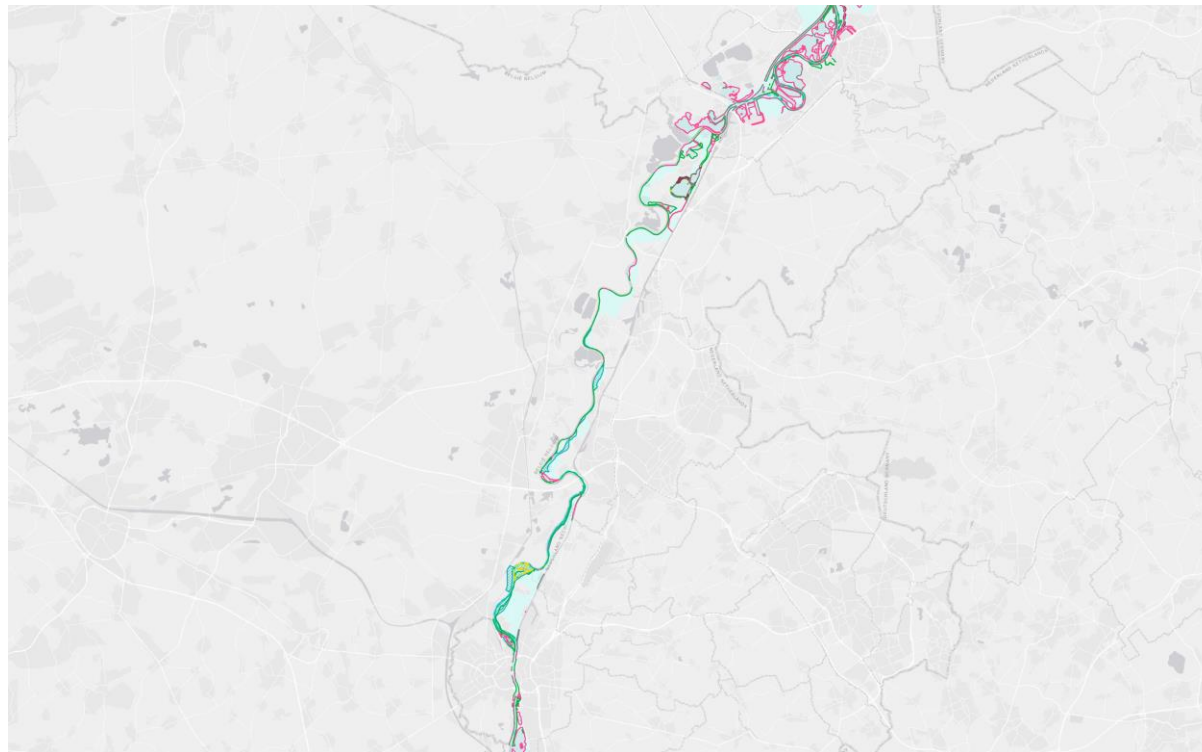
C.4.2 Maas



Bovenmaas

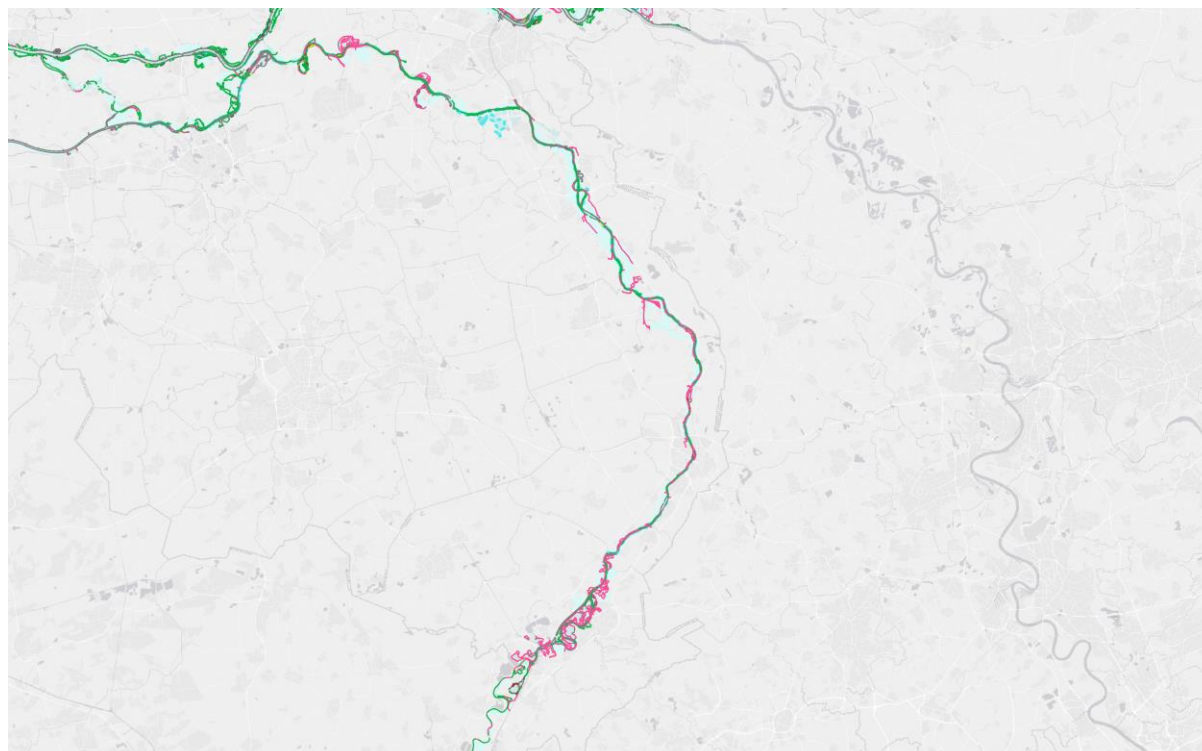
0 2.5 5 km

- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



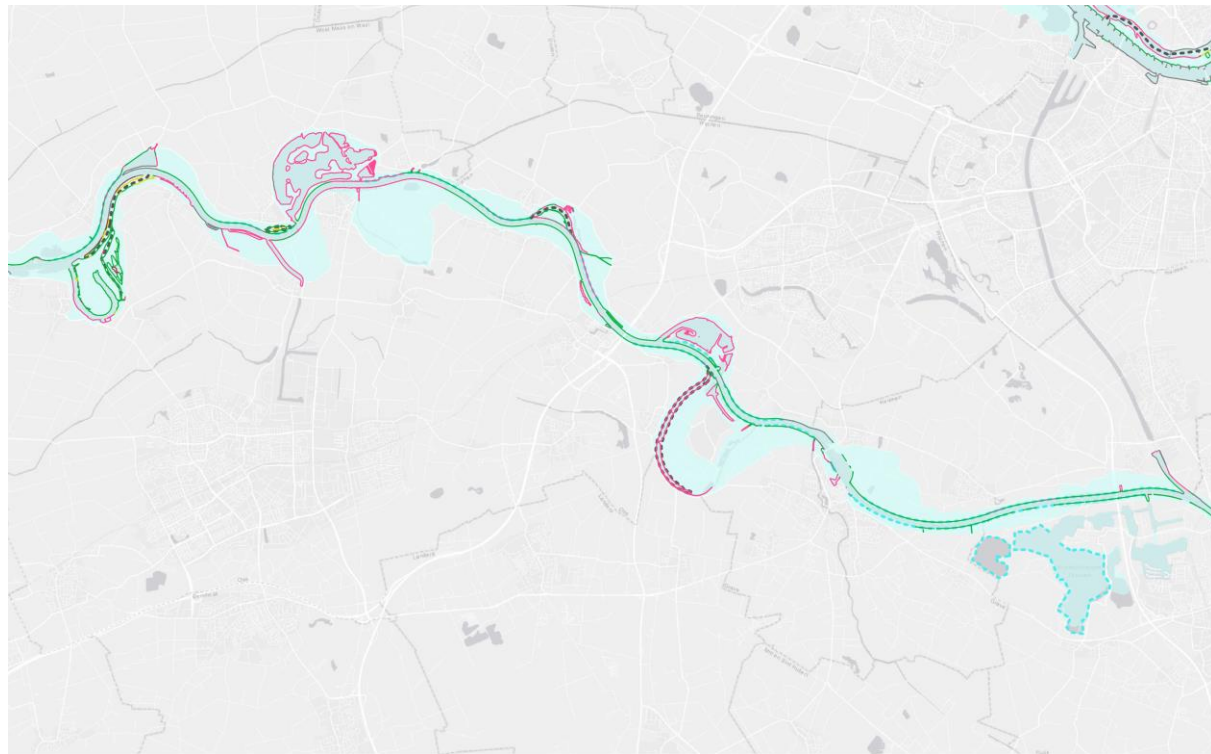
Grensmaas
 0 2.5 5 km

- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ---- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |

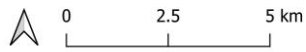


Zandmaas
 0 2.5 5 km

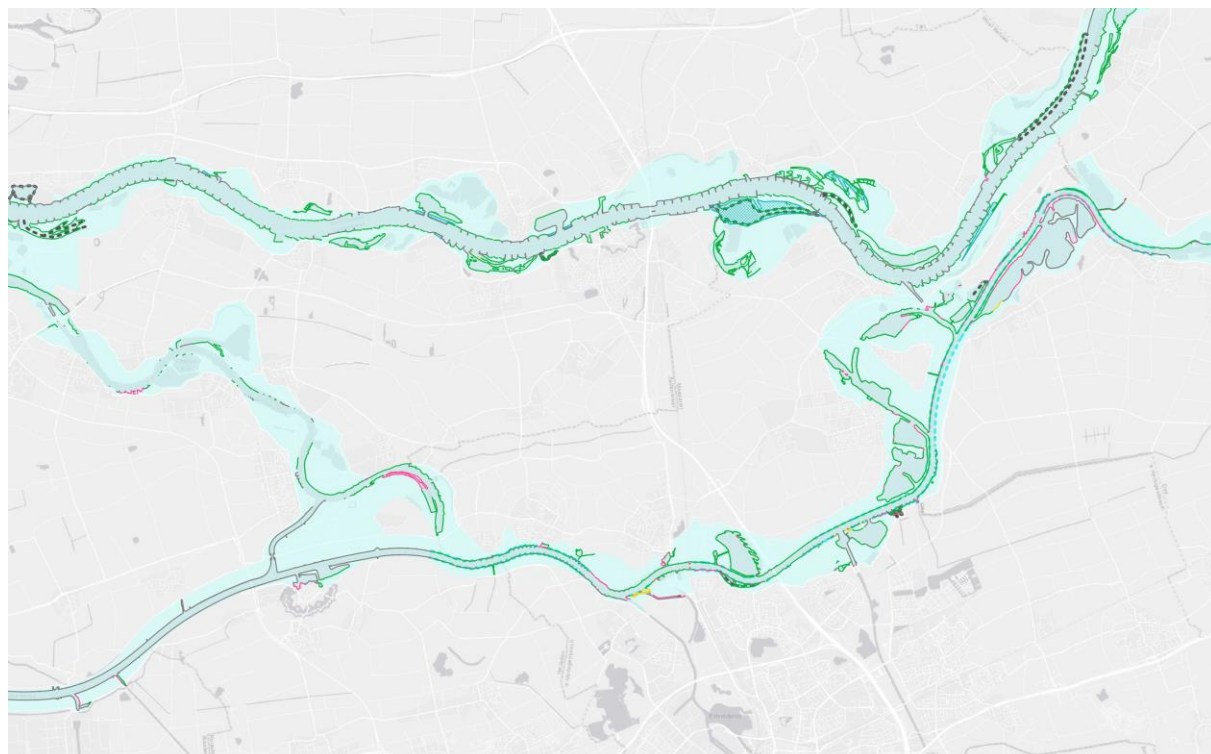
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ---- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



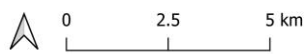
Bedijkte Maas



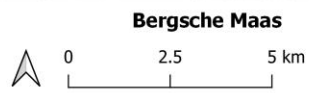
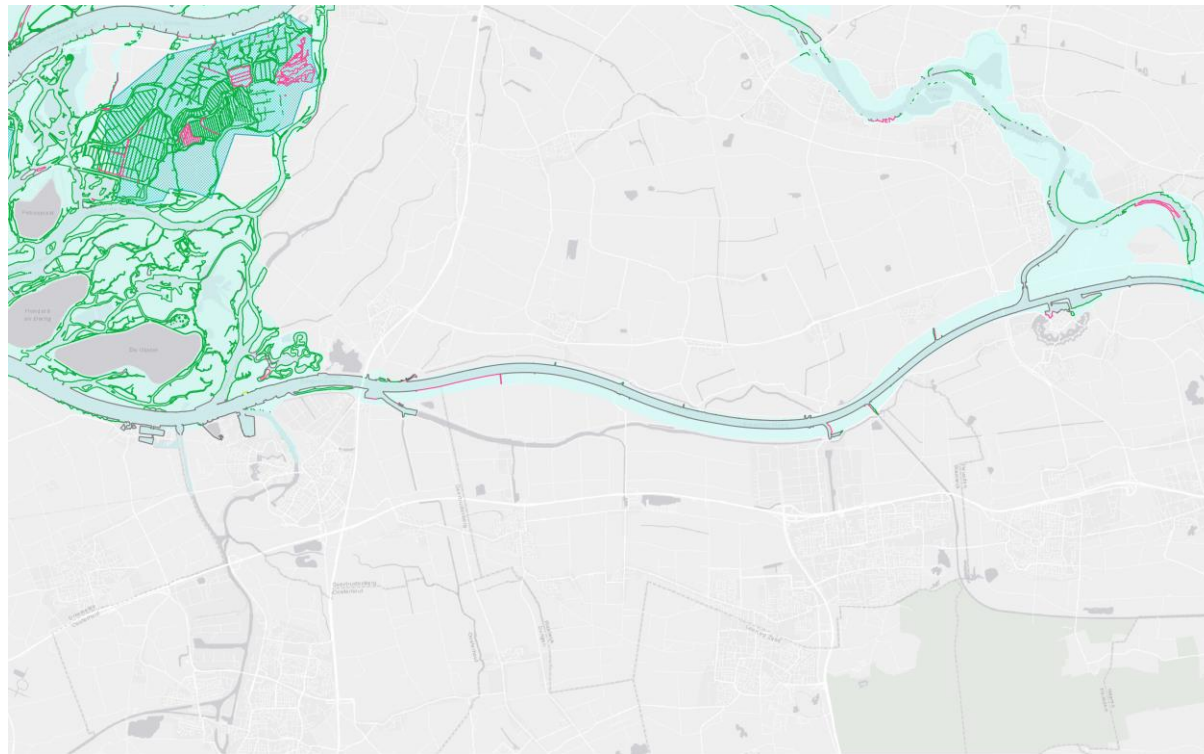
- | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Oeverclassificatie | | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO | |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | ■ KRW uiterwaard | ■ KRW waterlichamen | |



Beneden Maas

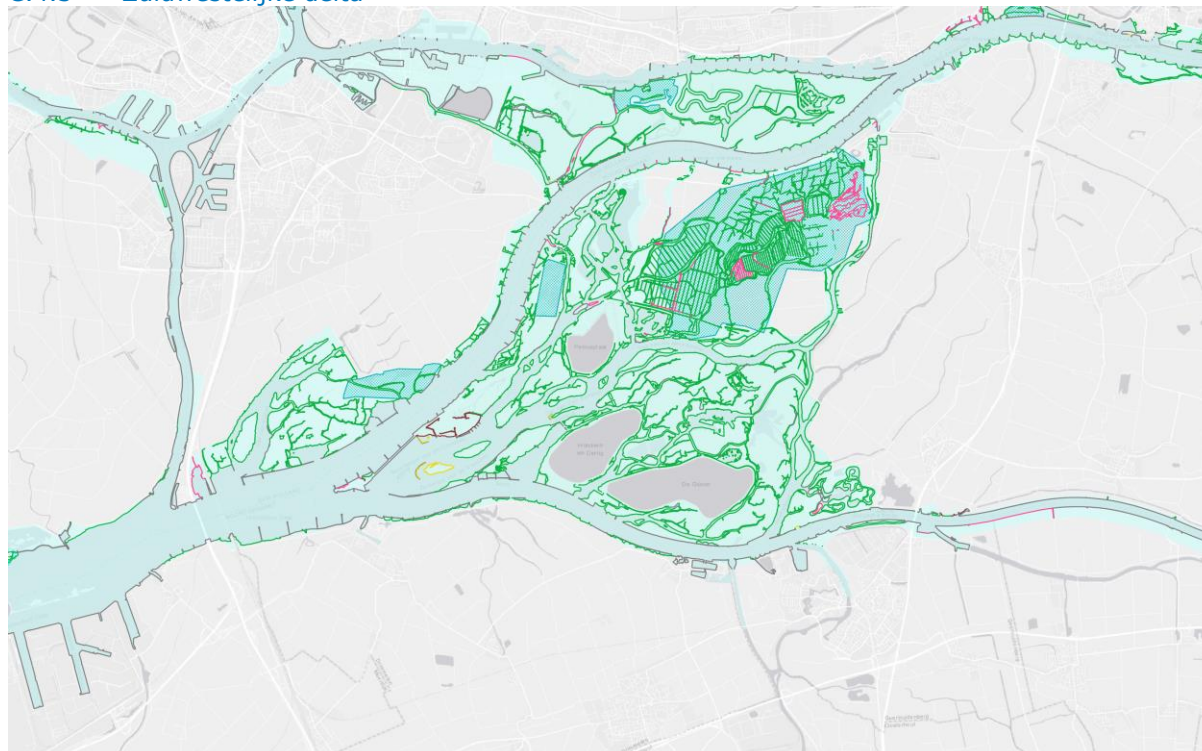


- | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Oeverclassificatie | | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO | |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | ■ KRW uiterwaard | ■ KRW waterlichamen | |

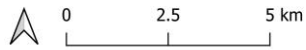


Oeverclassificatie	— Vegetatie	— Onbekend	---- KRW geulen
— Verhard	— Agrarisch	— KRW maatregelen	---- KRW NVO
— Verhard - natuurlijk materiaal	— Zand	— KRW uiterwaard	— KRW waterlichamen

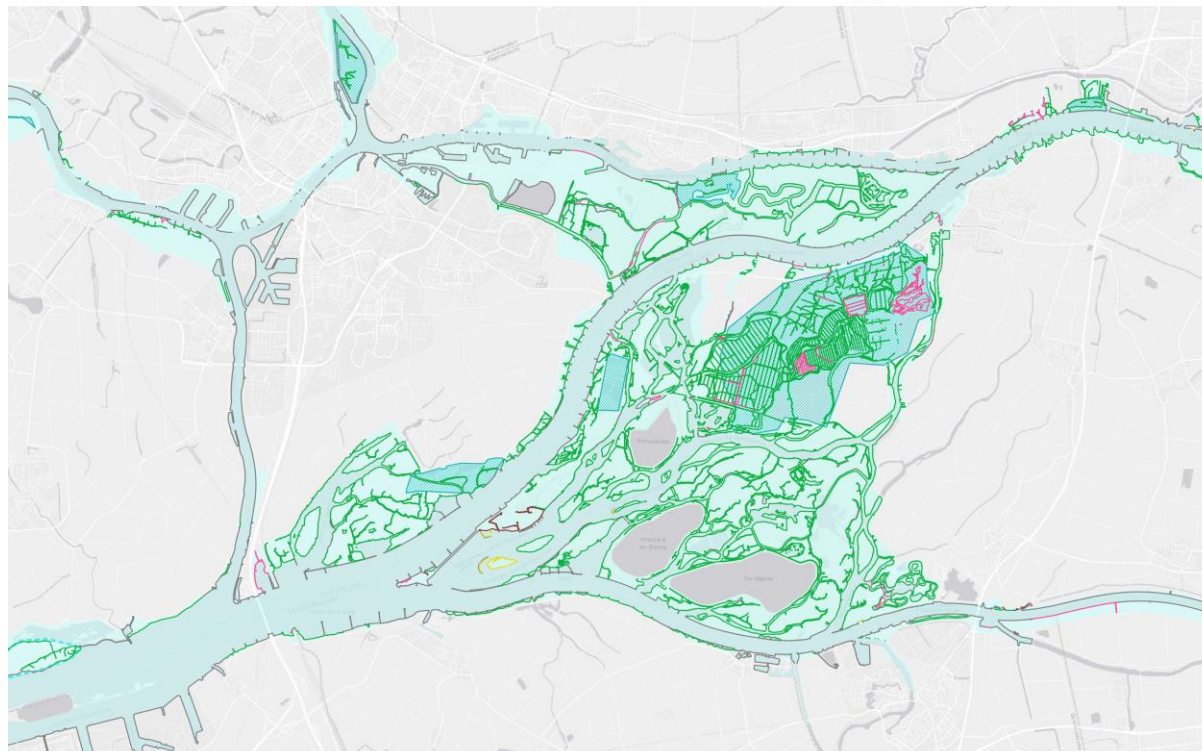
C.4.3 Zuidwestelijke delta



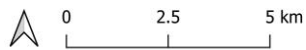
Brabantse Biesbosch



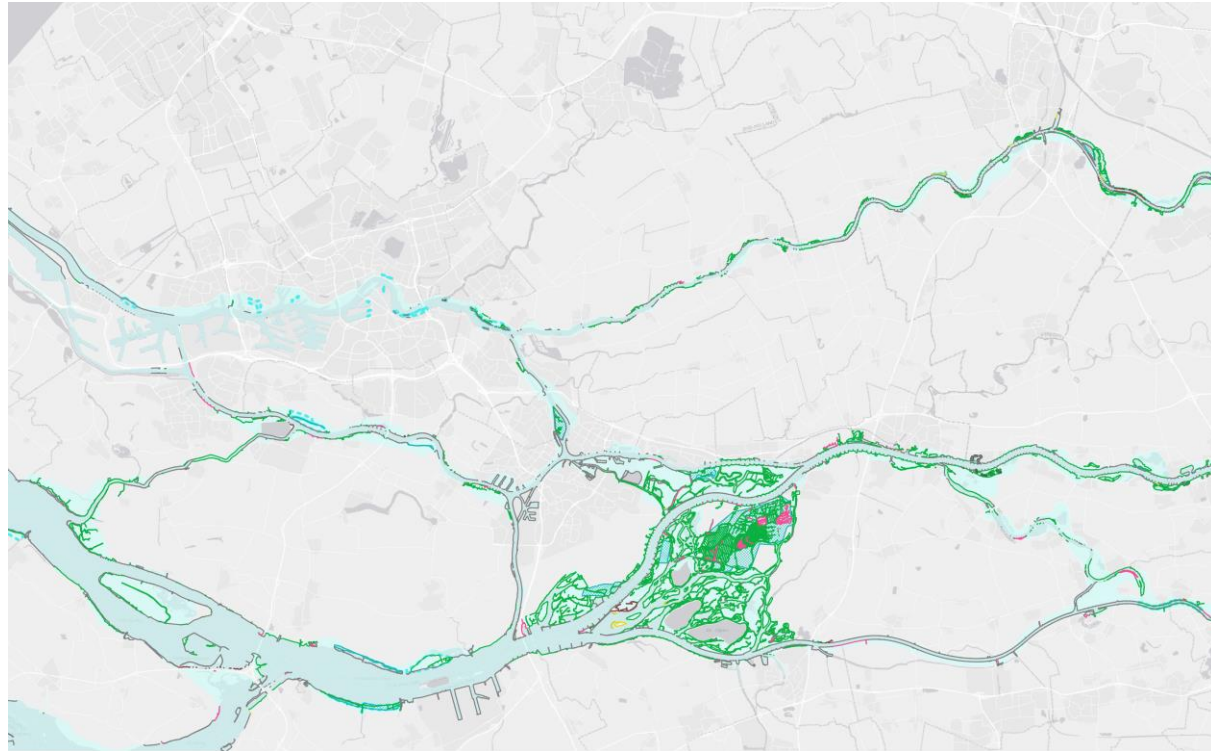
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



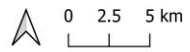
Dordtse Biesbosch



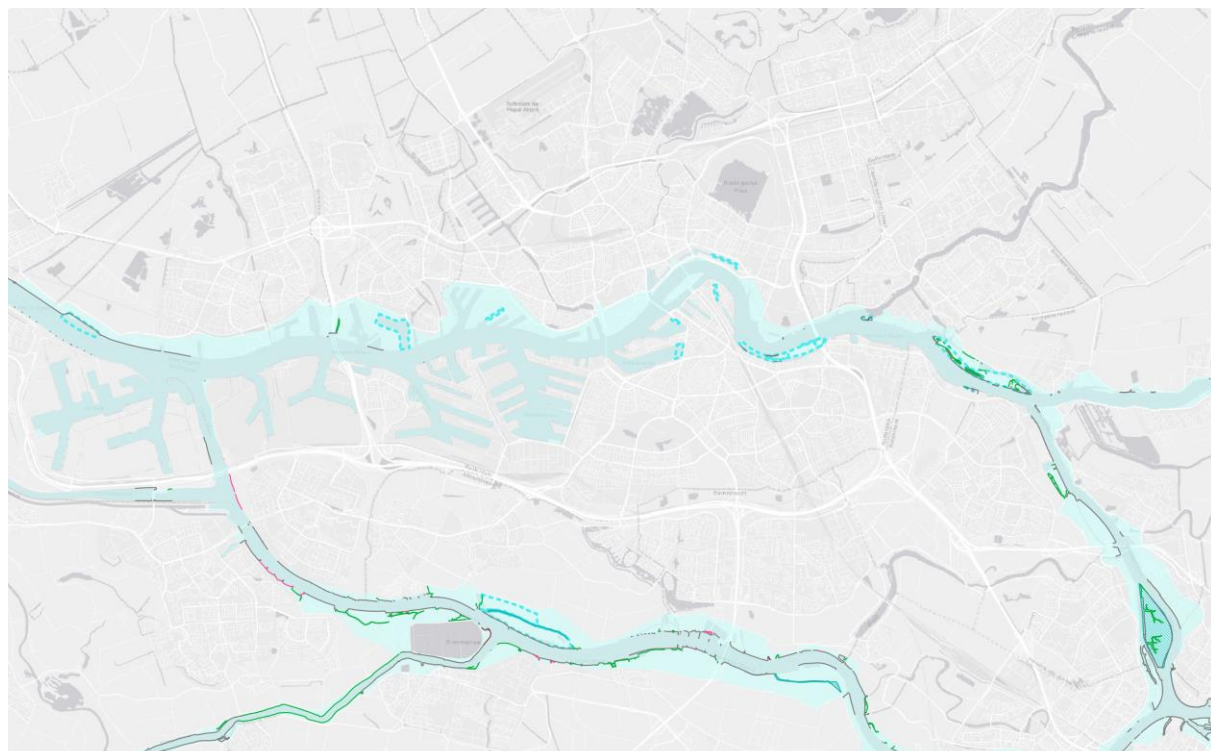
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



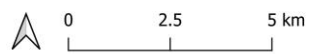
Oude Maas



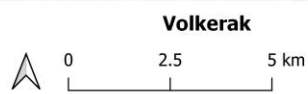
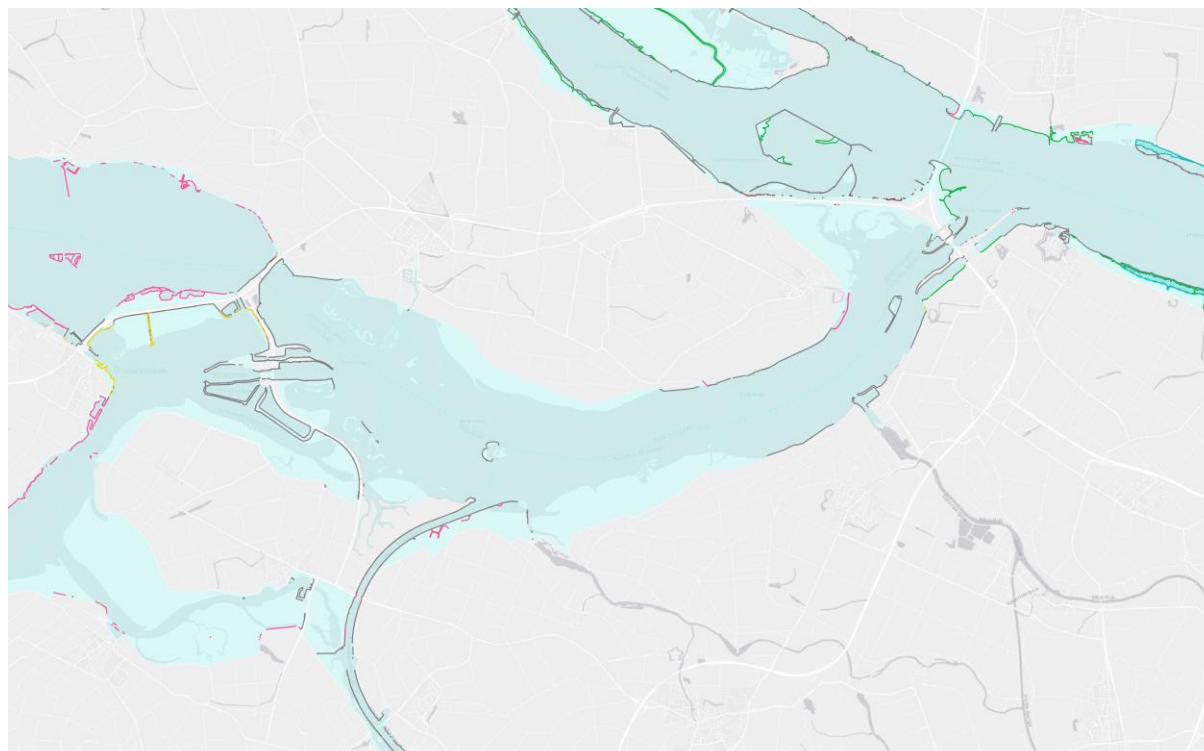
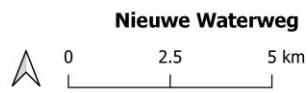
Oeverclassificatie	— Vegetatie	— Onbekend	---- KRW geulen
— Verhard	— Agrarisch	— KRW maatregelen	---- KRW NVO
— Verhard - natuurlijk materiaal	— Zand	— KRW uiterwaard	— KRW waterlichamen

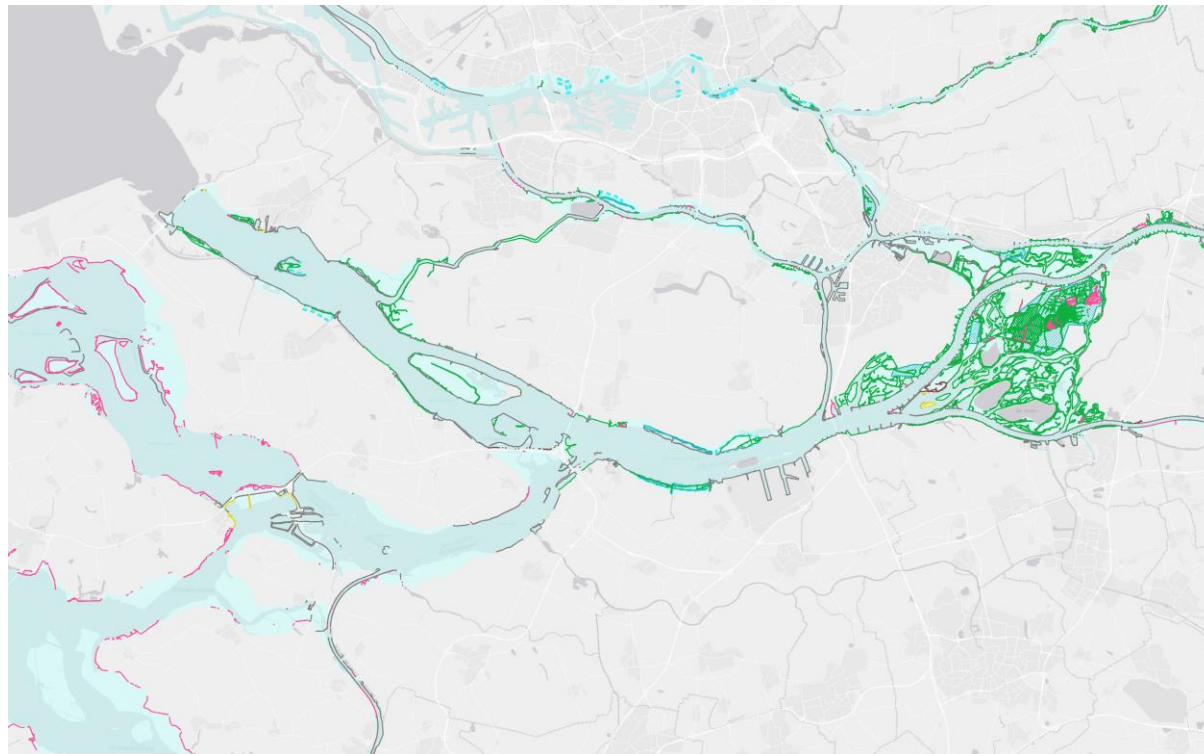


Nieuwe Maas

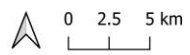


Oeverclassificatie	— Vegetatie	— Onbekend	---- KRW geulen
— Verhard	— Agrarisch	— KRW maatregelen	---- KRW NVO
— Verhard - natuurlijk materiaal	— Zand	— KRW uiterwaard	— KRW waterlichamen

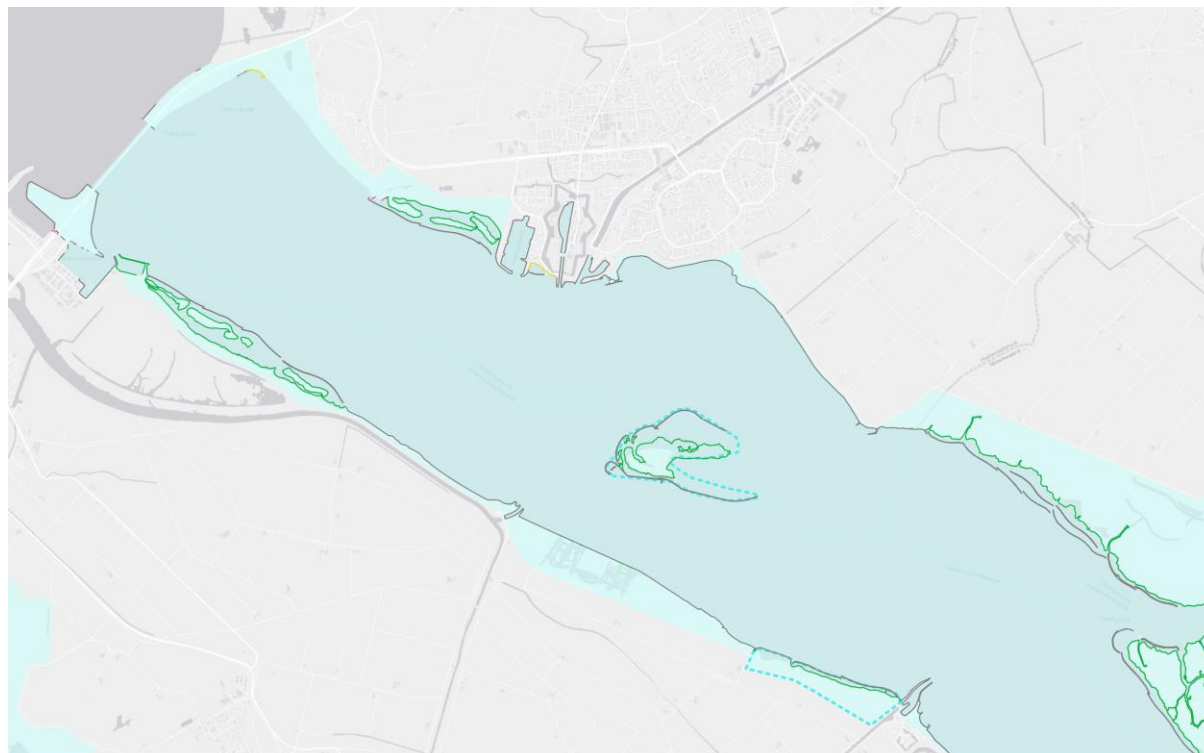




Haringvliet oost



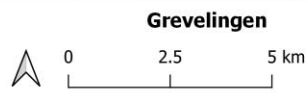
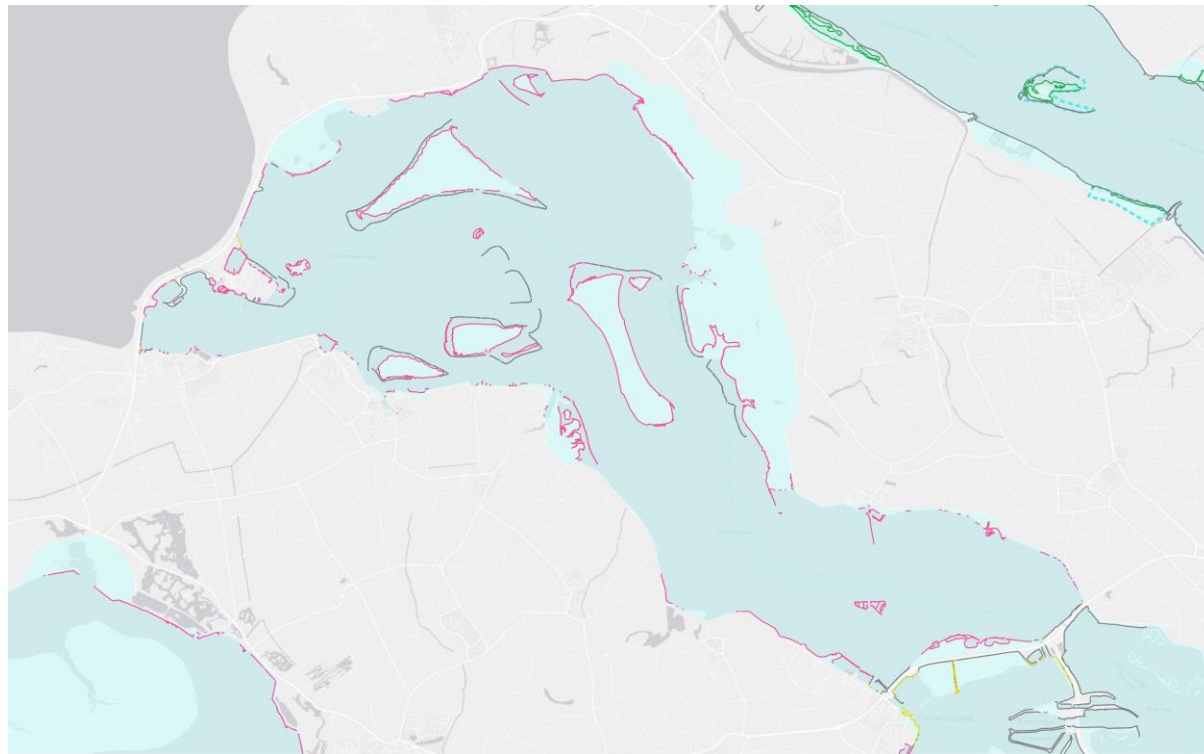
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



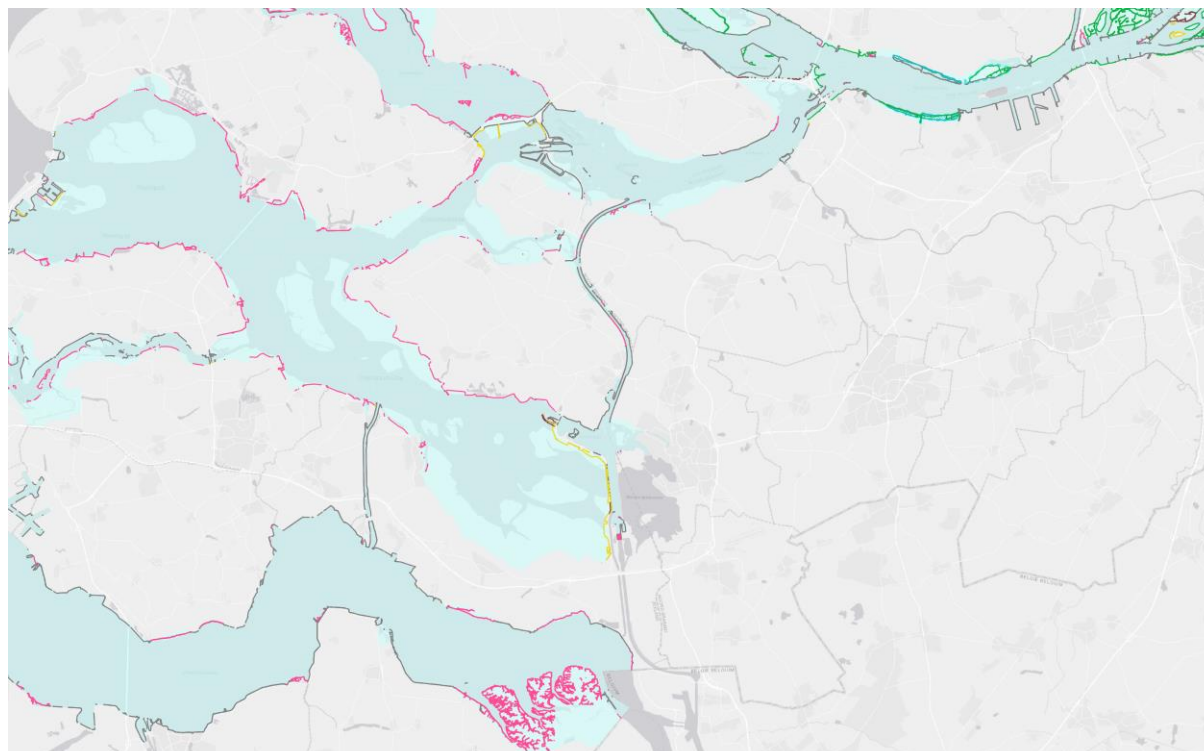
Haringvliet west



- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



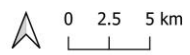
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ----- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ----- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



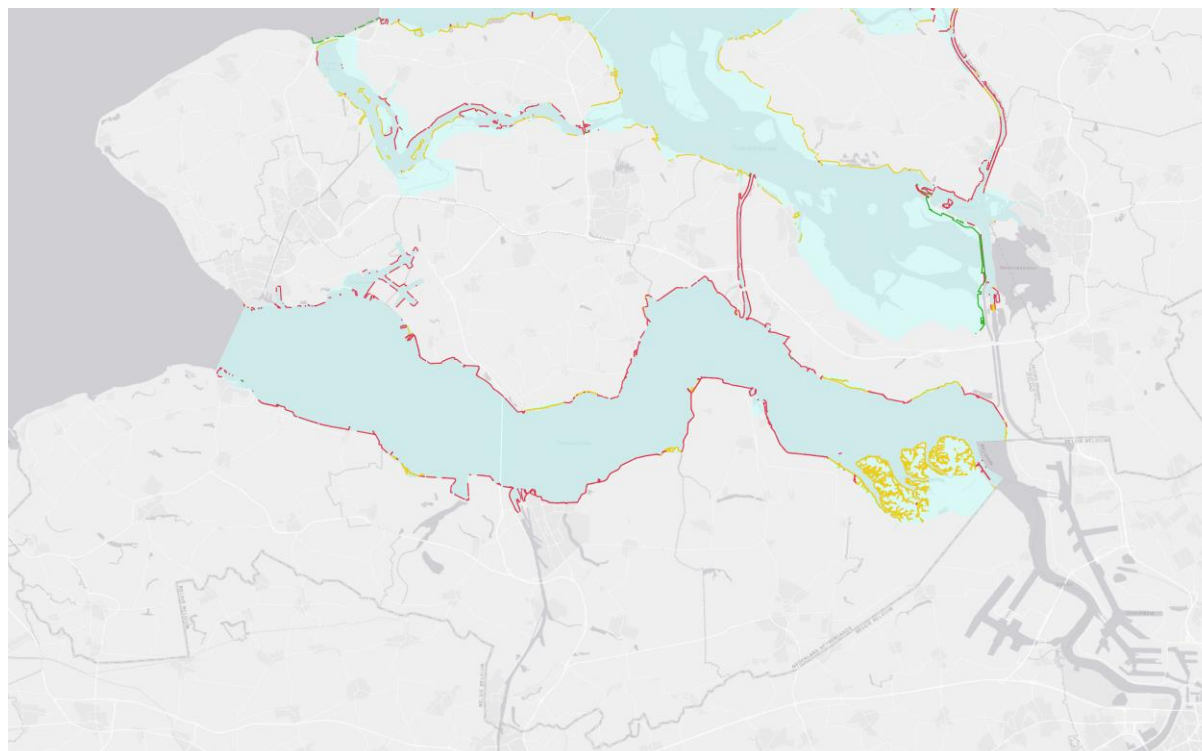
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ----- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ----- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



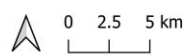
Oosterschelde



- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ---- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



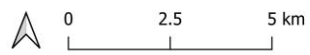
Westerschelde



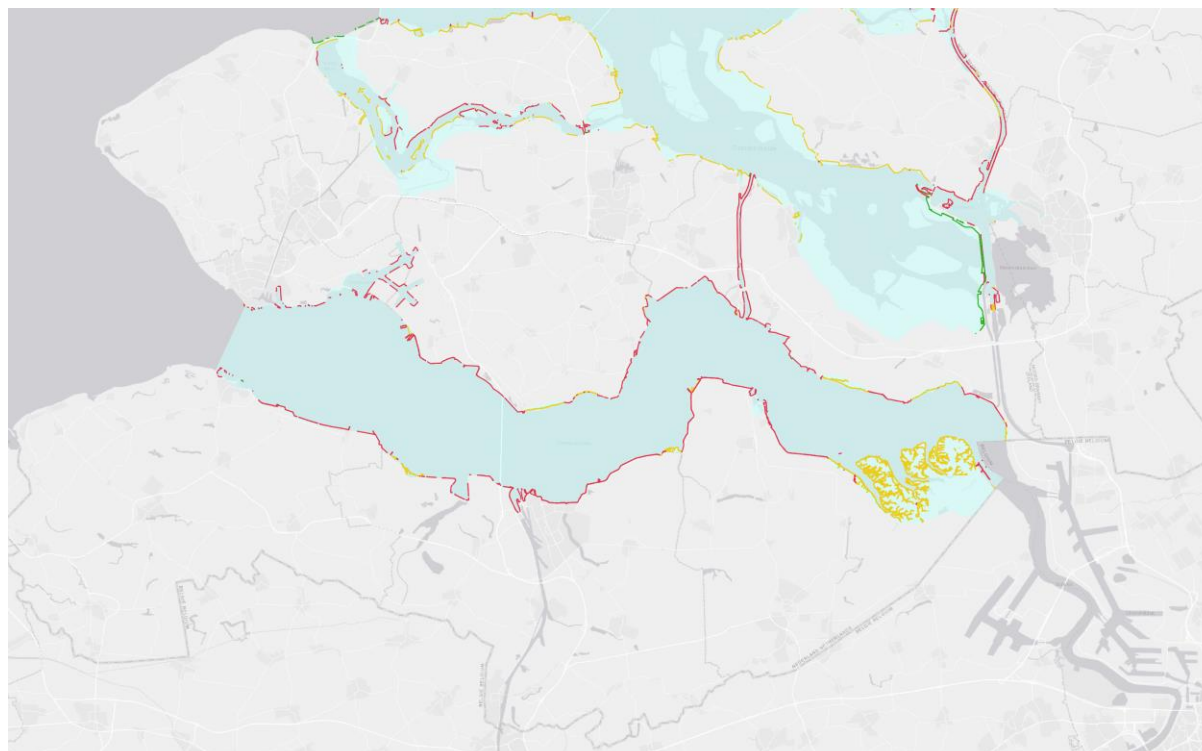
- | | | | |
|--------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Onbekend | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Beschermd | — Onbeschermd | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |
| | | ---- KRW geulen | |



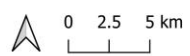
Veerse Meer



Oeverclassificatie — Onbekend — KRW maatregelen — KRW NVO
 — Beschermd — Onbeschermd — KRW uiterwaard — KRW waterlichamen
 - - - - KRW geulen

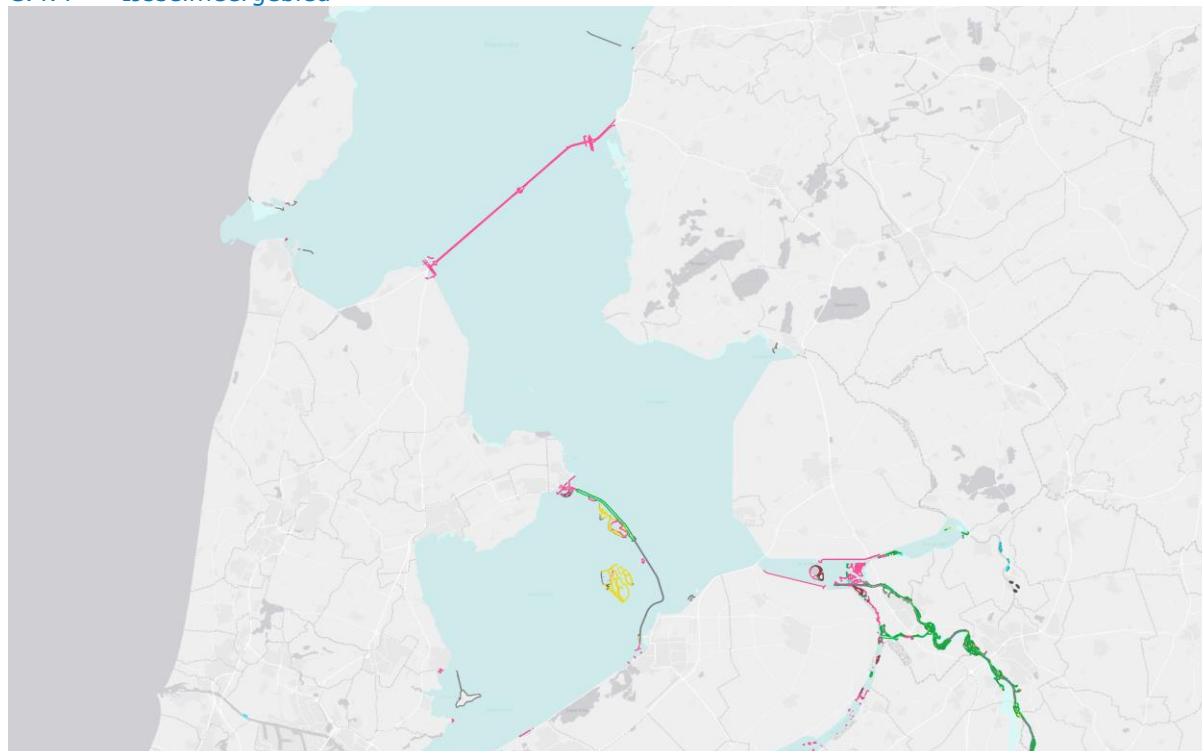


Westerschelde



Oeverclassificatie — Onbekend — KRW maatregelen — KRW NVO
 — Beschermd — Onbeschermd — KRW uiterwaard — KRW waterlichamen
 - - - - KRW geulen

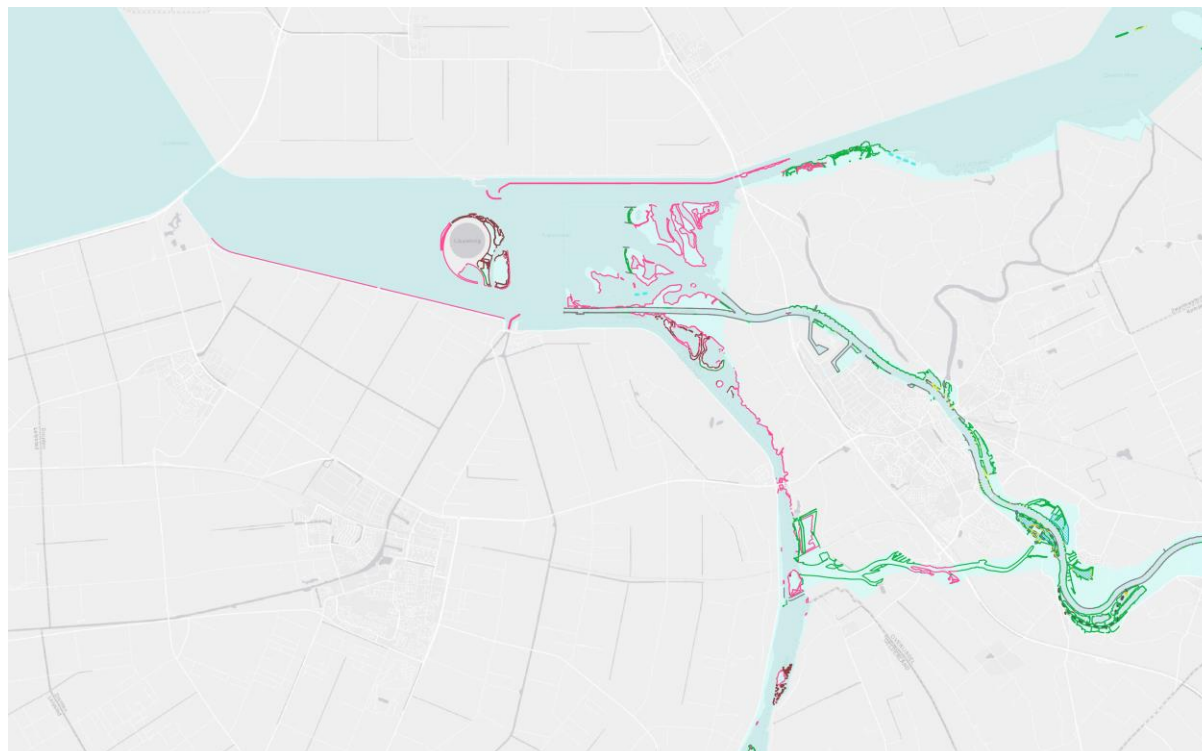
C.4.4 IJsselmeergebied



IJsselmeer

0.255 km

- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



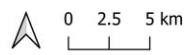
Ketelmeer, Vossemeer

0 2.5 5 km

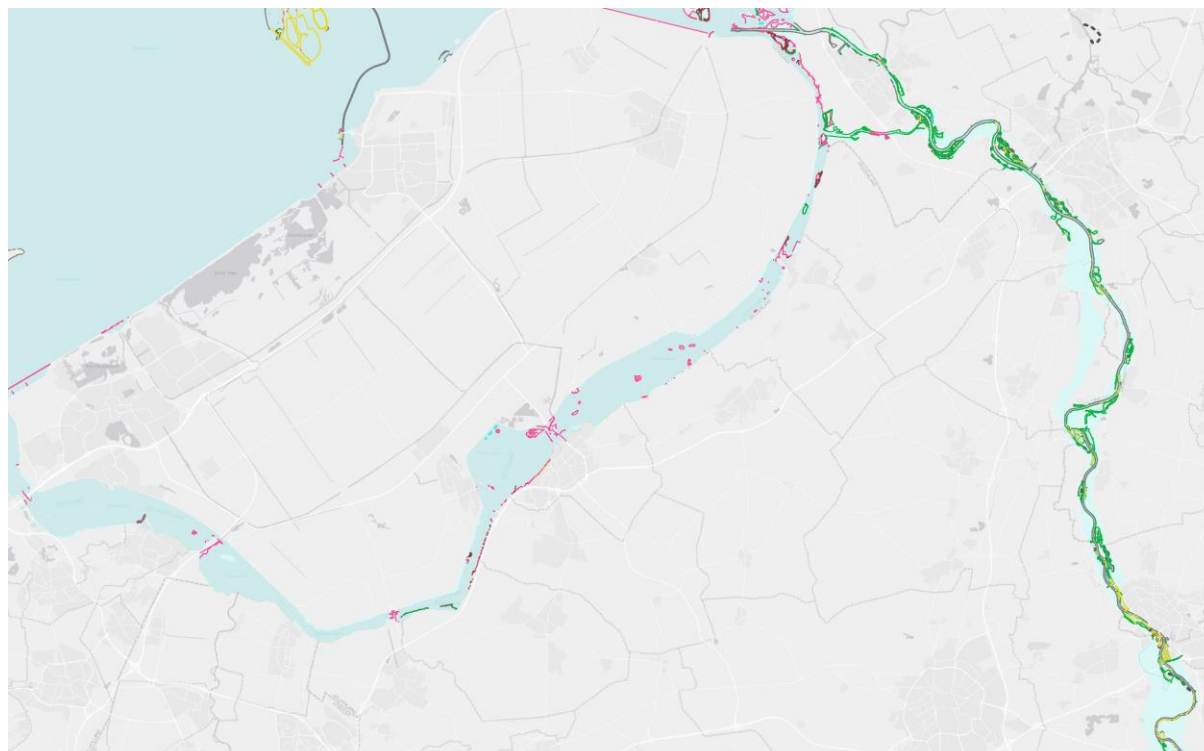
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| — Verhard | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



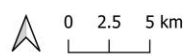
Markermeer



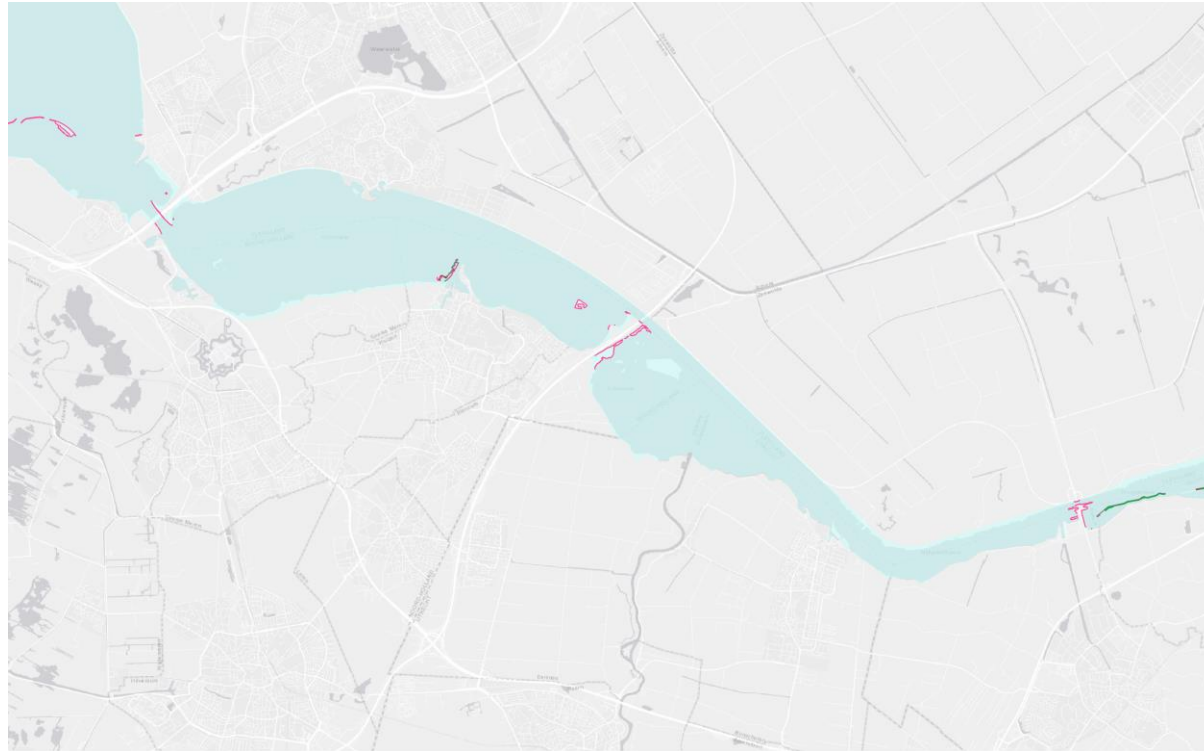
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ---- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



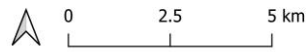
Randmeren-Oost



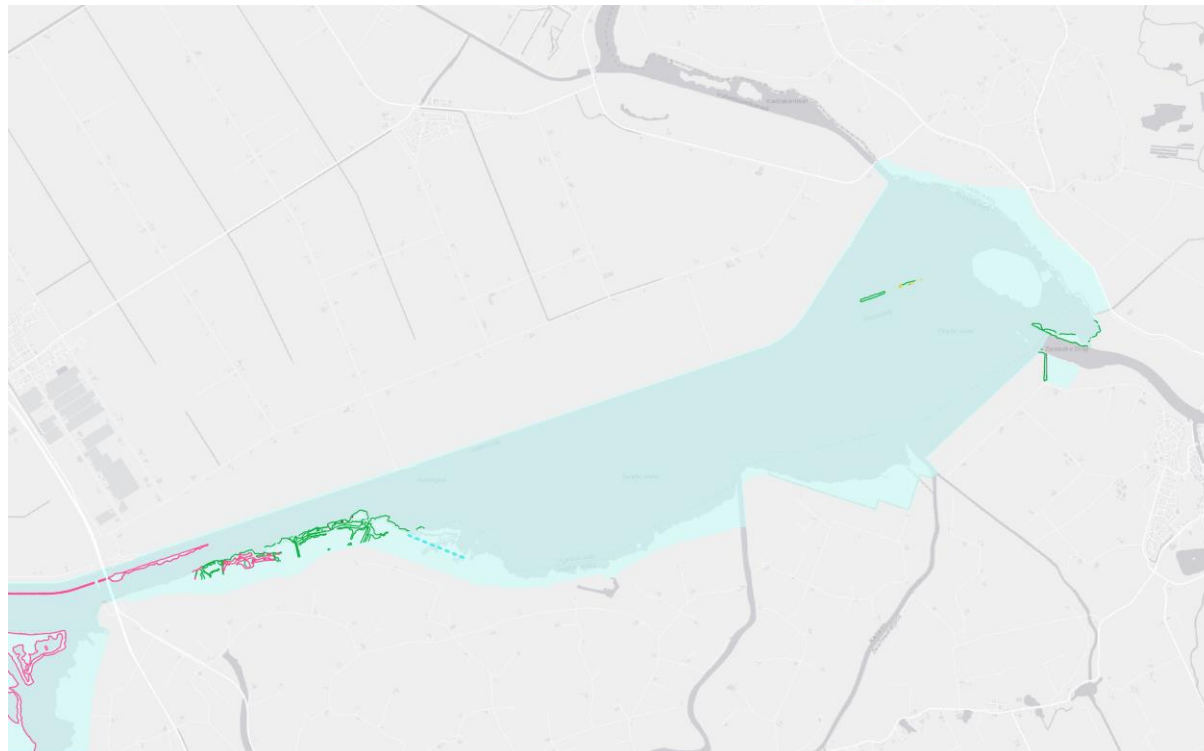
- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | ---- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | ---- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |



Randmeren-Zuid



- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |

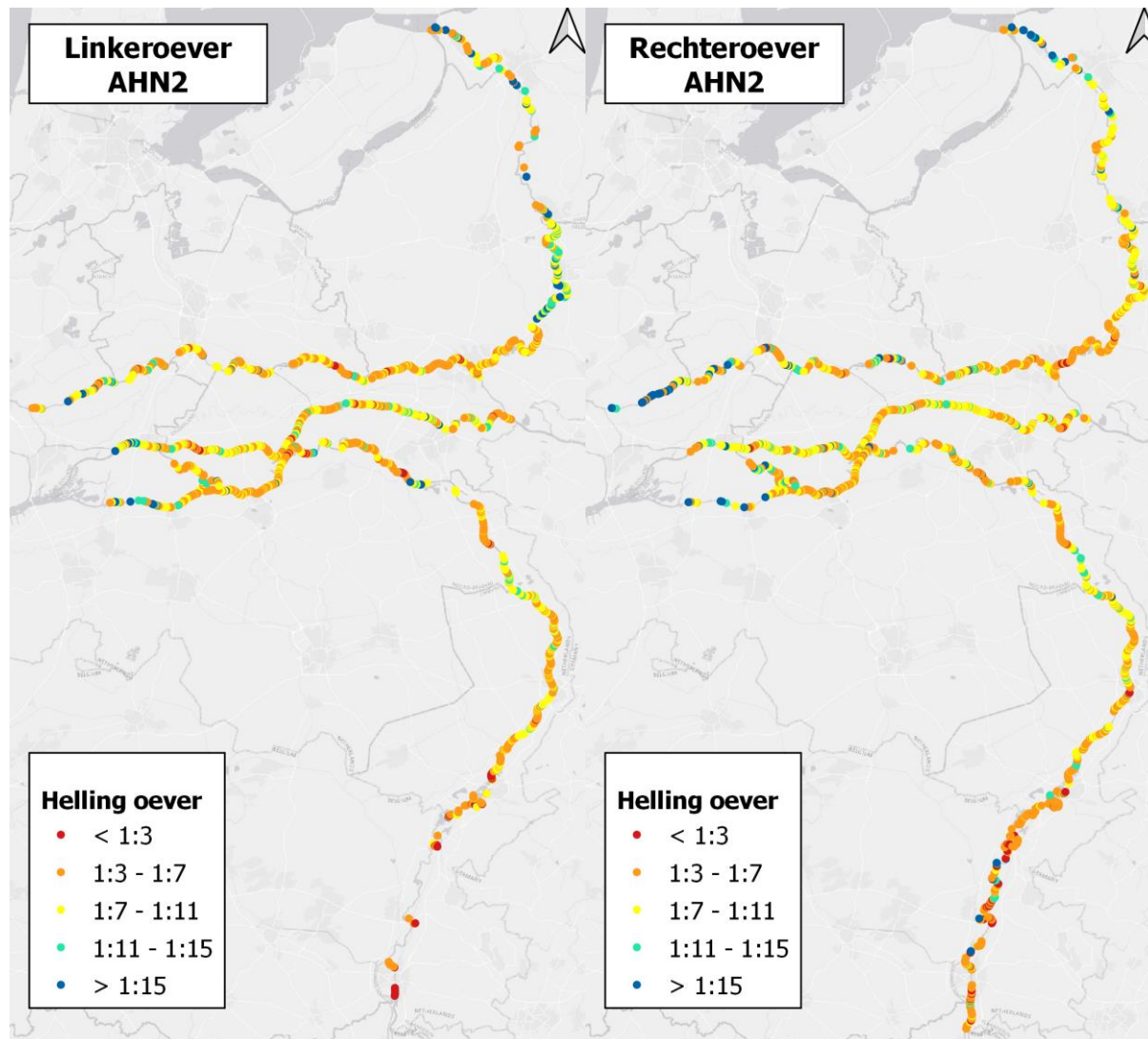


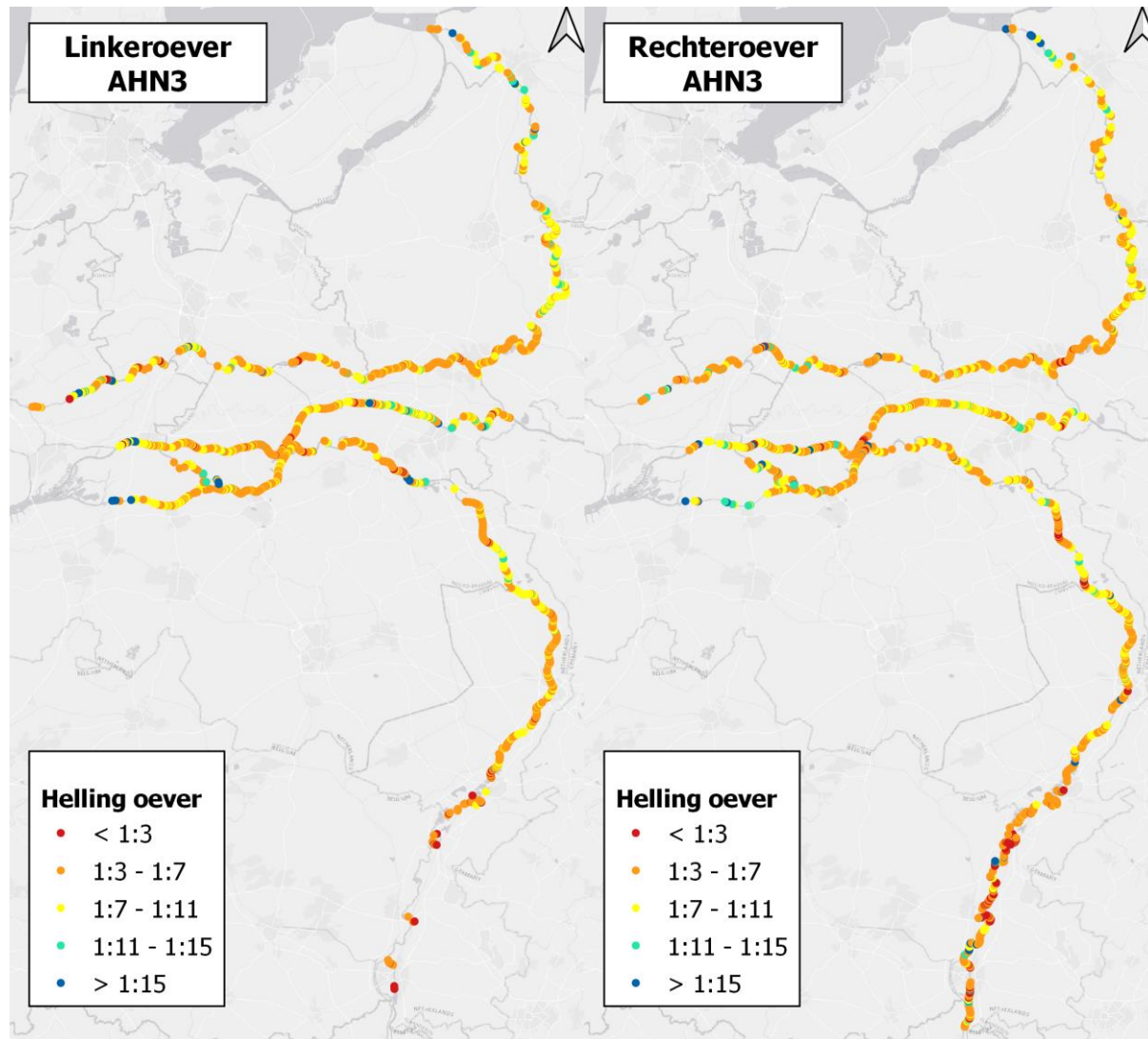
Zwartemeer

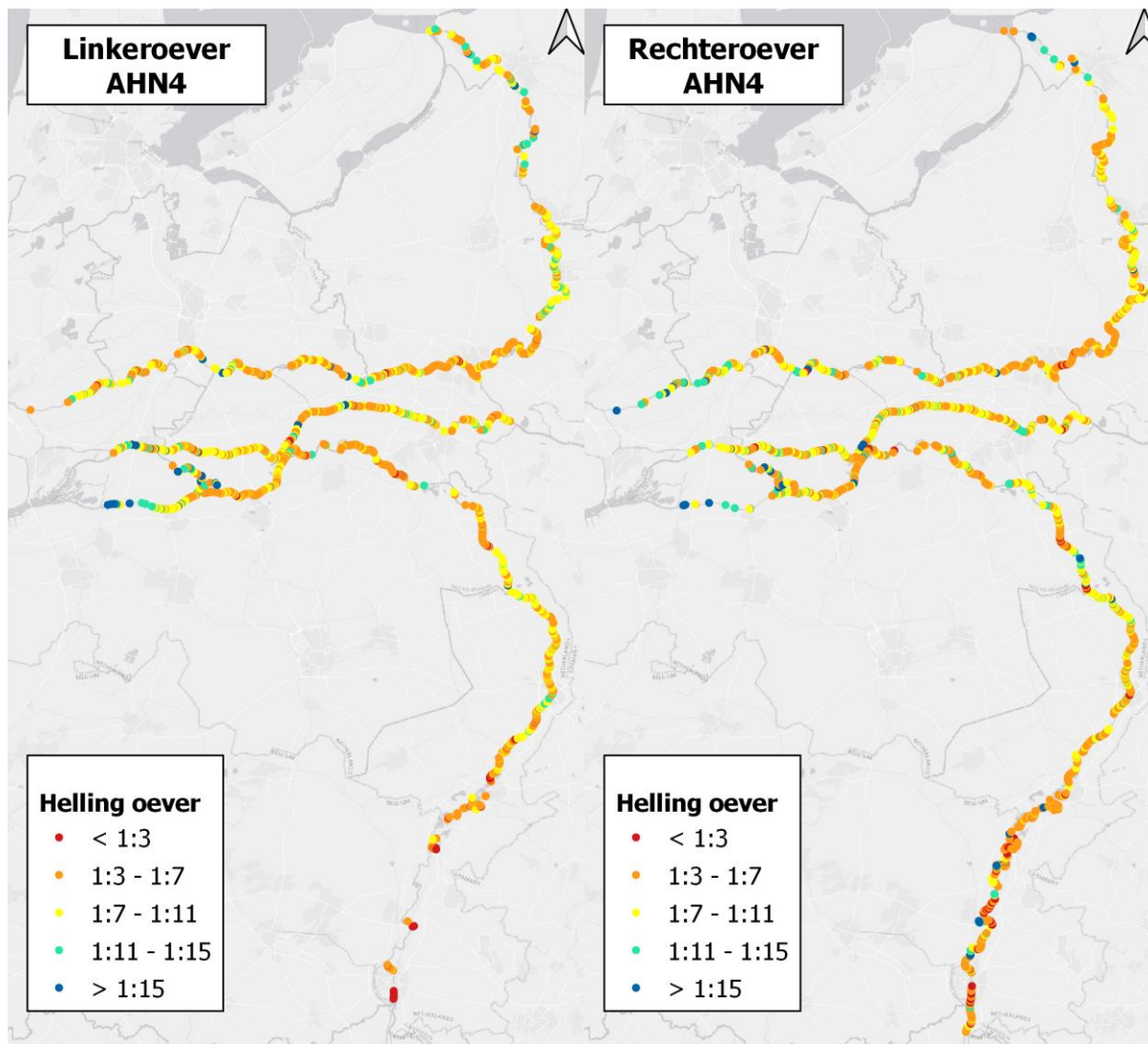


- | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Oeverclassificatie | — Vegetatie | — Onbekend | --- KRW geulen |
| — 5 Verhard | — Agrarisch | — KRW maatregelen | --- KRW NVO |
| — Verhard - natuurlijk materiaal | — Zand | — KRW uiterwaard | — KRW waterlichamen |

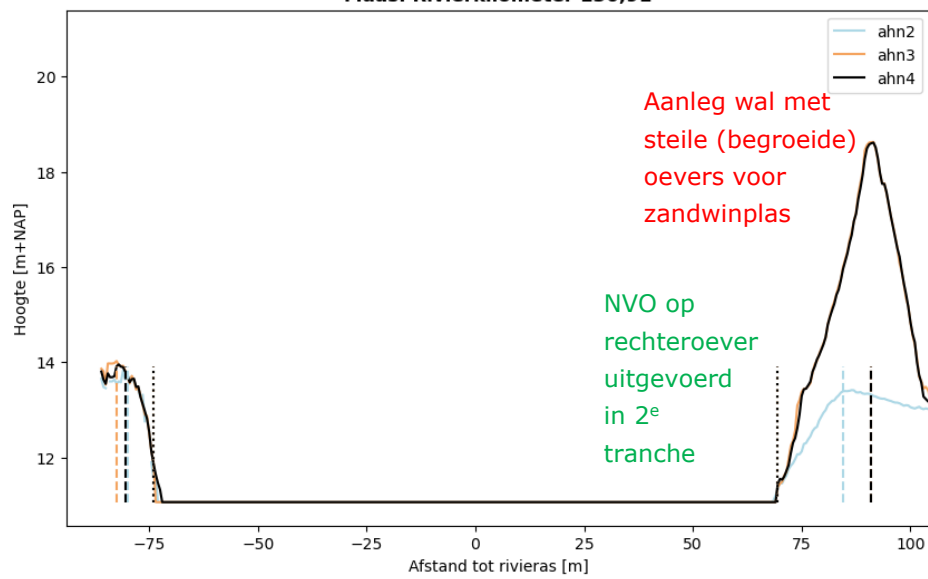
c.5 Figuren met oeverhelling





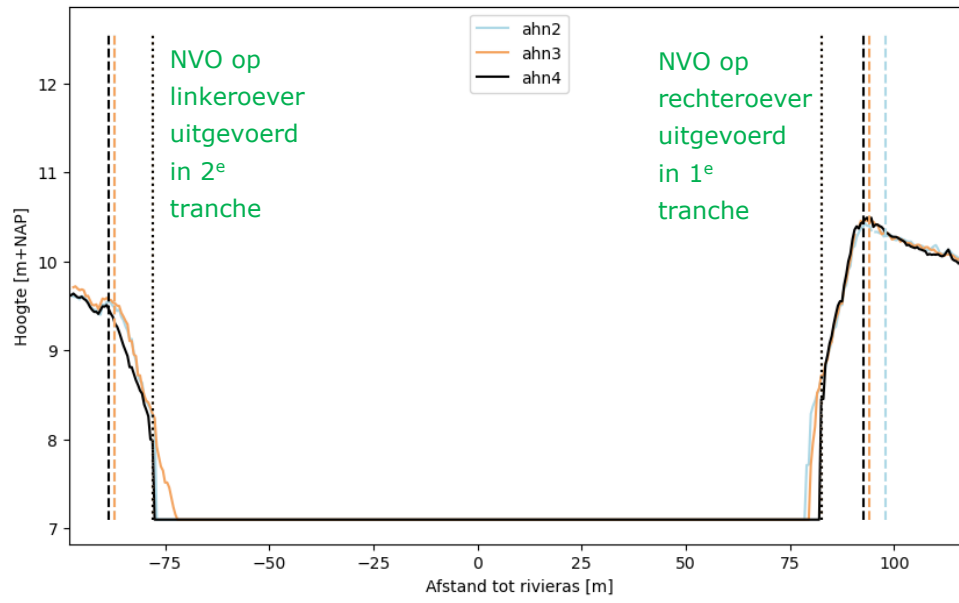


Maas: Rivierkilometer 136,91



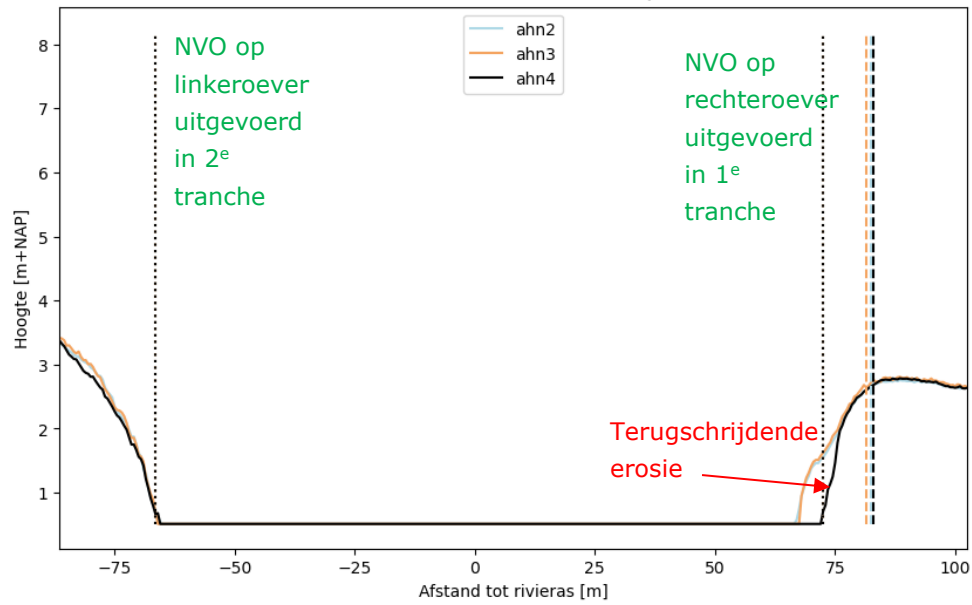
Helling :
 ahn4: 1:999999 (L) / 1:3 (R)
 ahn3: 1:4 (L) / 1:3 (R)
 ahn2: 1:999999 (L) / 1:7 (R)

Maas: Rivierkilometer 173,72

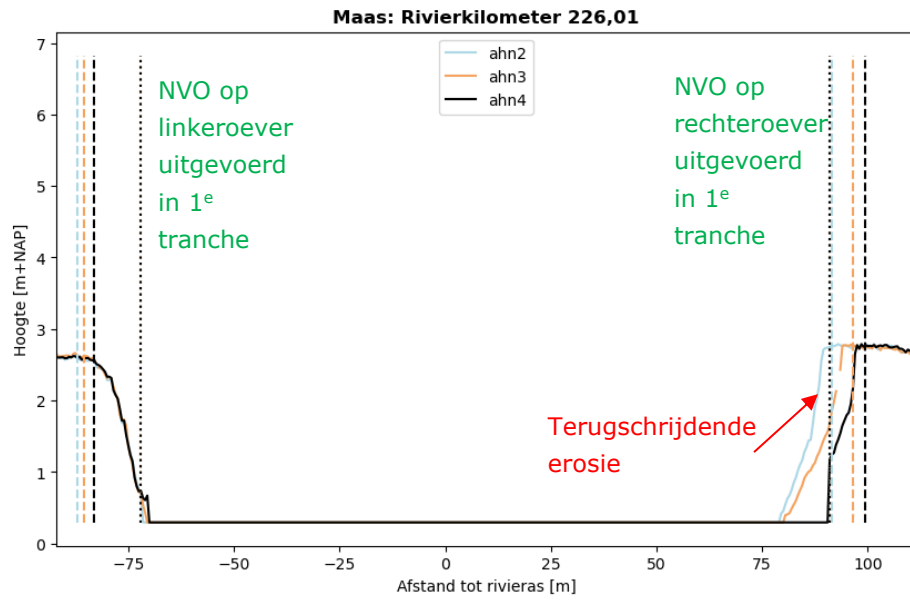


Helling :
 ahn4: 1:6 (L) / 1:4 (R)
 ahn3: 1:6 (L) / 1:5 (R)
 ahn2: 1:5 (L) / 1:8 (R)

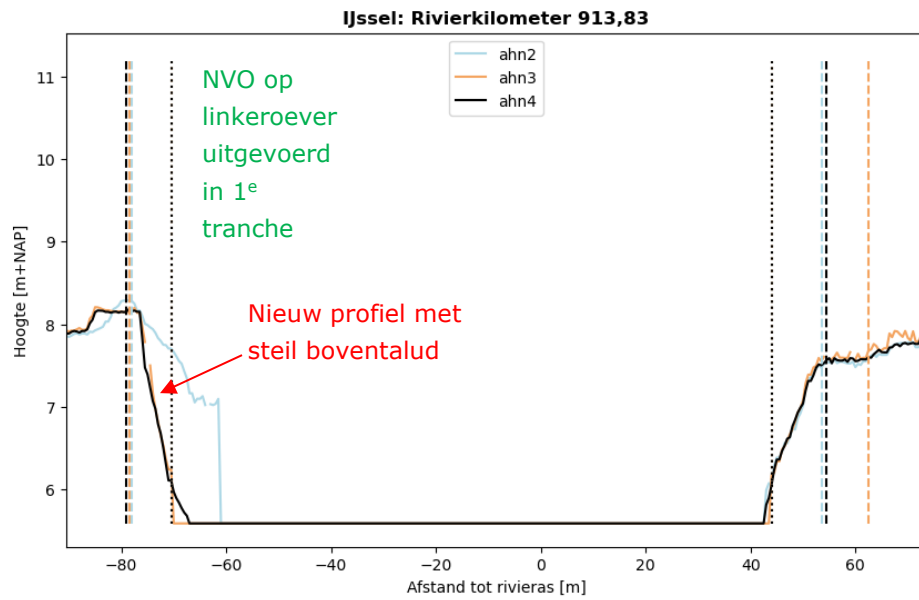
Maas: Rivierkilometer 210,6



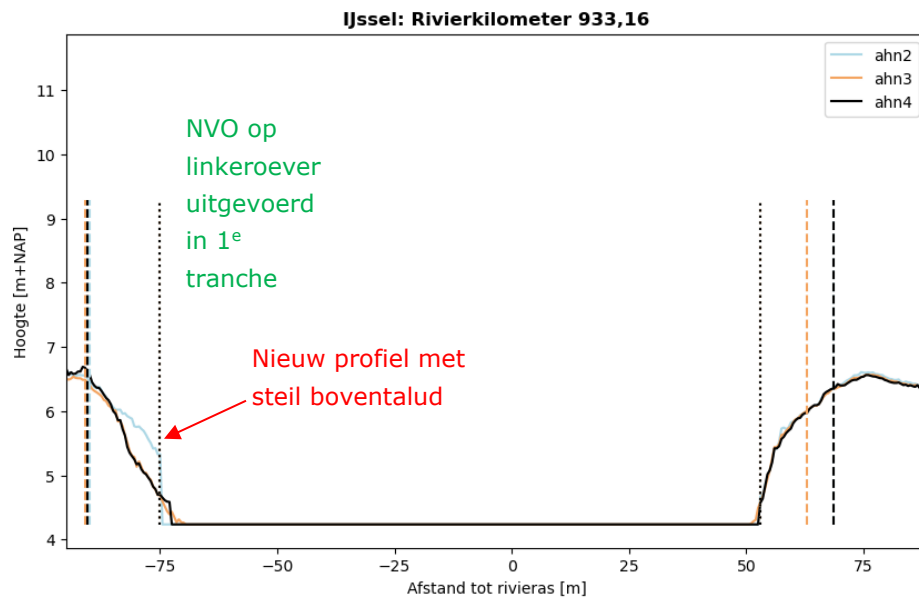
Helling :
 ahn4: 1:8 (L) / 1:5 (R)
 ahn3: 1:8 (L) / 1:8 (R)
 ahn2: 1:8 (L) / 1:9 (R)



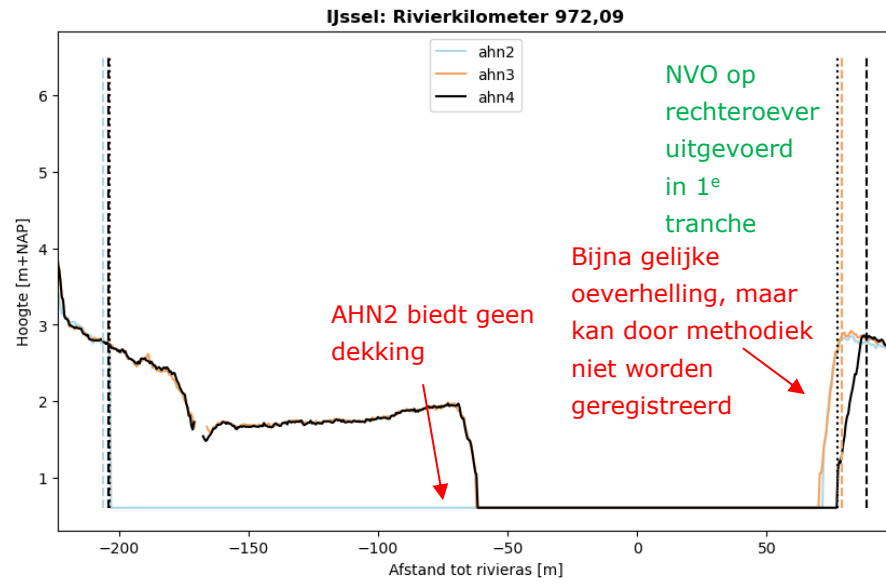
Helling :
 ahn4: 1:6 (L) / 1:4 (R)
 ahn3: 1:6 (L) / 1:999999 (R)
 ahn2: 1:7 (L) / 1:999999 (R)



Helling :
 ahn4: 1:4 (L) / 1:7 (R)
 ahn3: 1:4 (L) / 1:10 (R)
 ahn2: 1:999999 (L) / 1:6 (R)

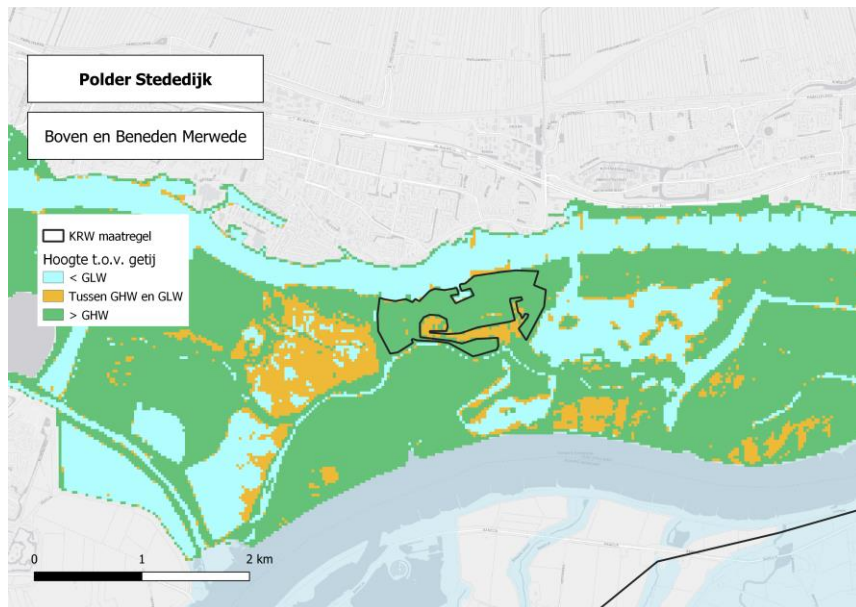
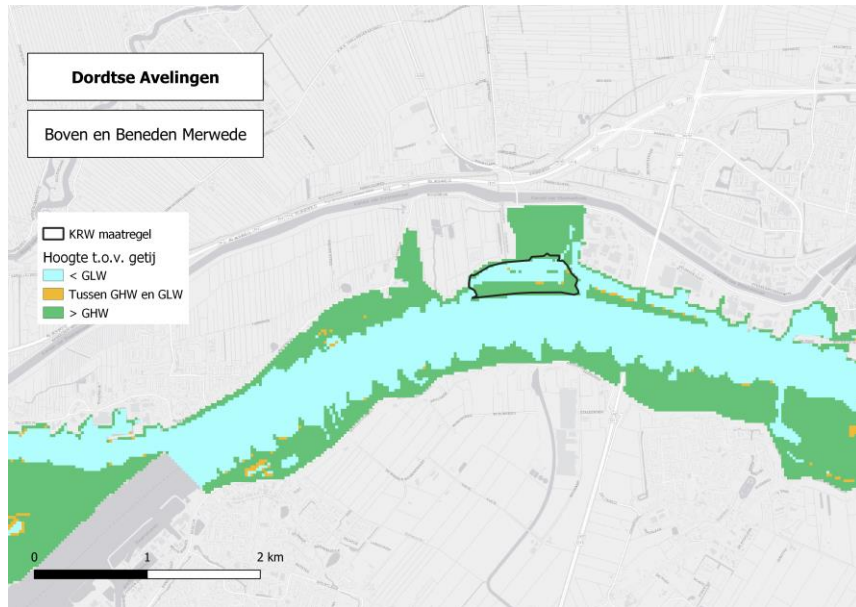


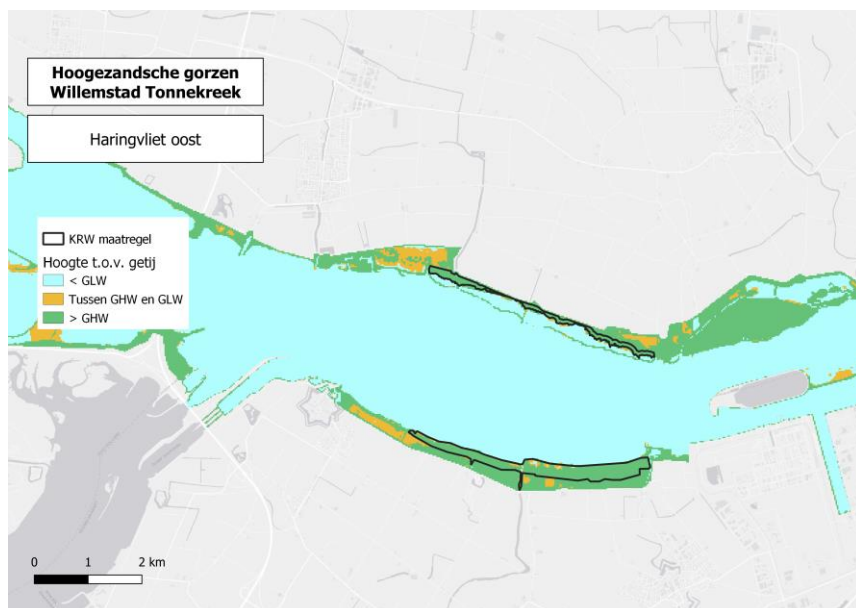
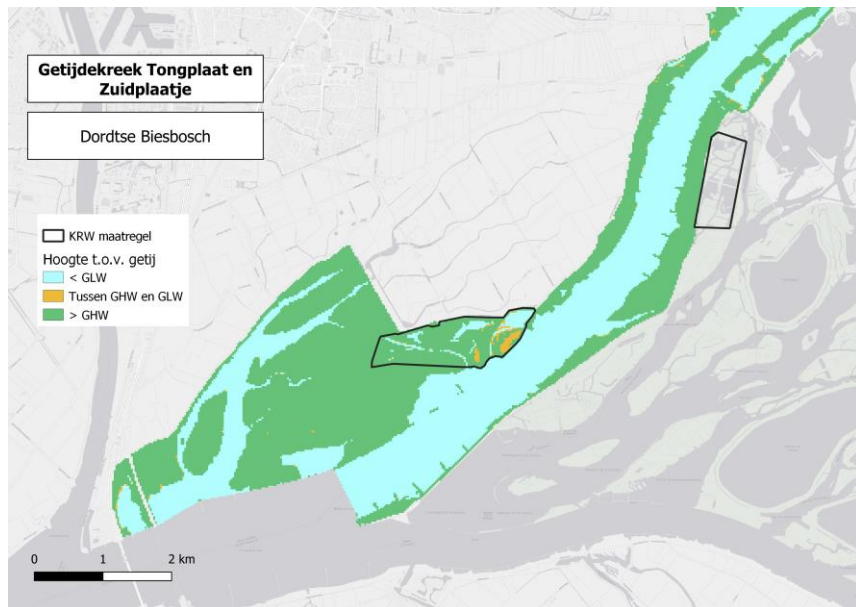
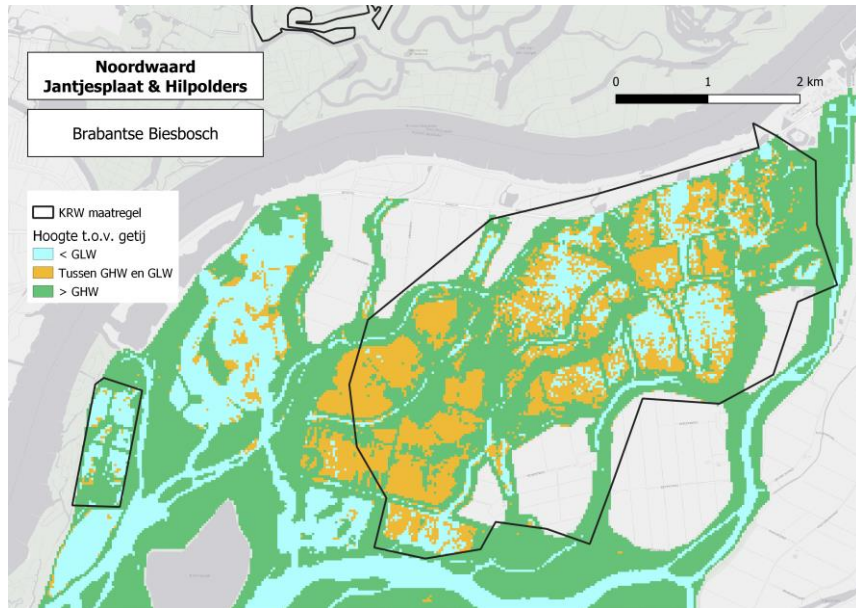
Helling :
 ahn4: 1:8 (L) / 1:8 (R)
 ahn3: 1:9 (L) / 1:7 (R)
 ahn2: 1:9 (L) / 1:8 (R)

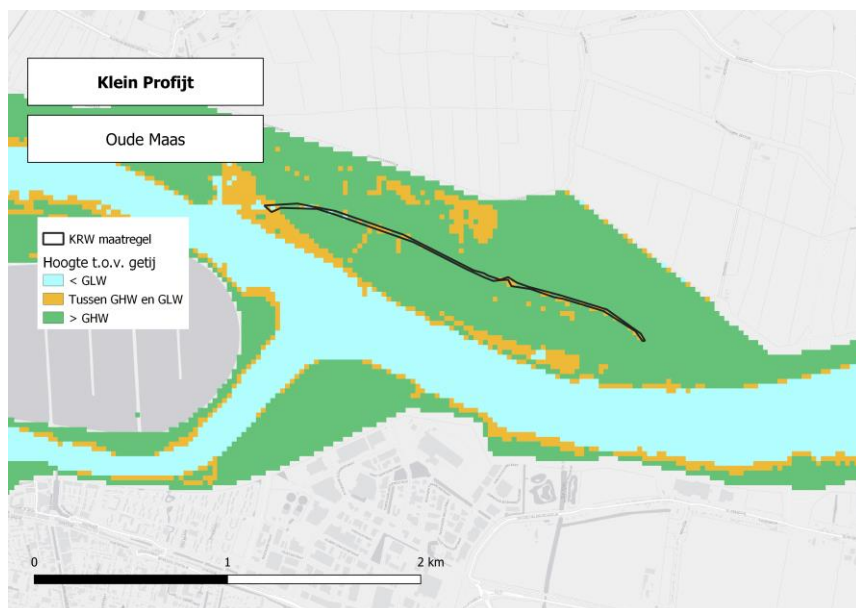
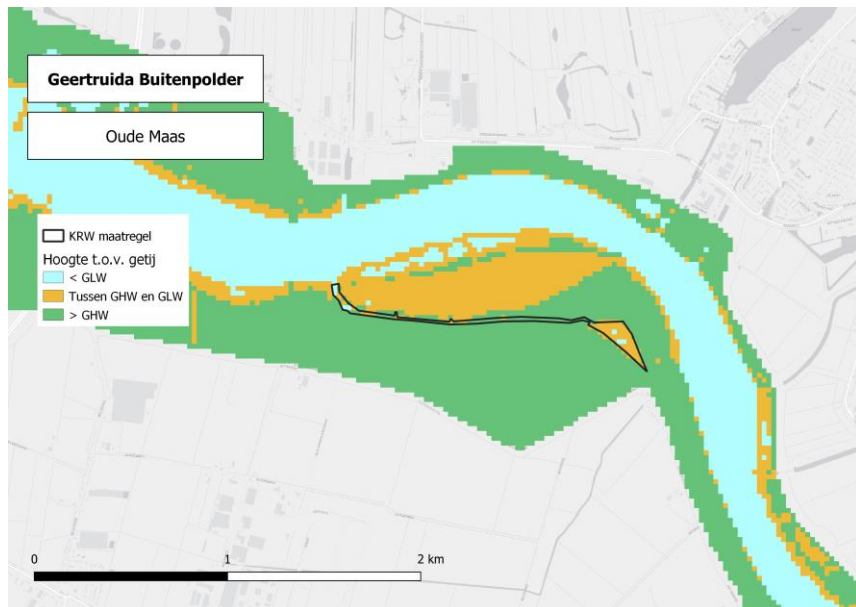
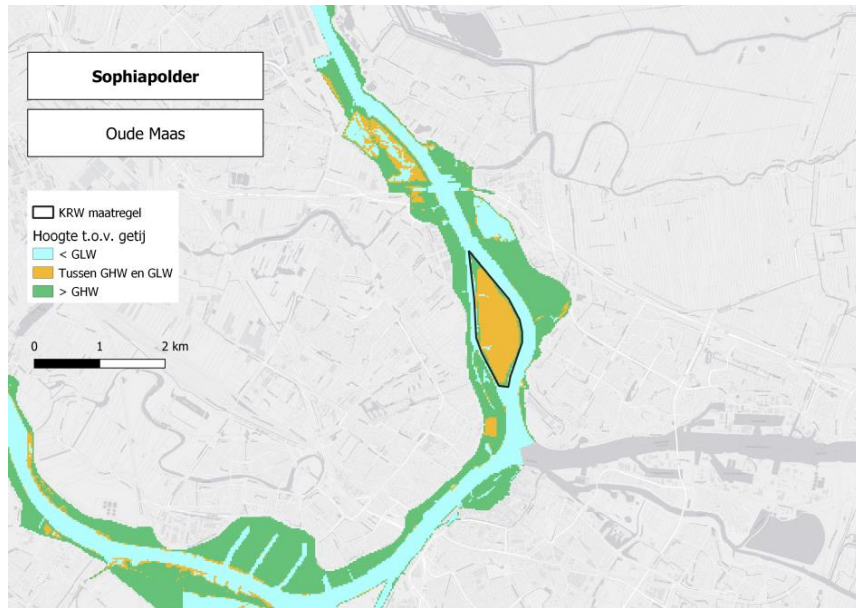


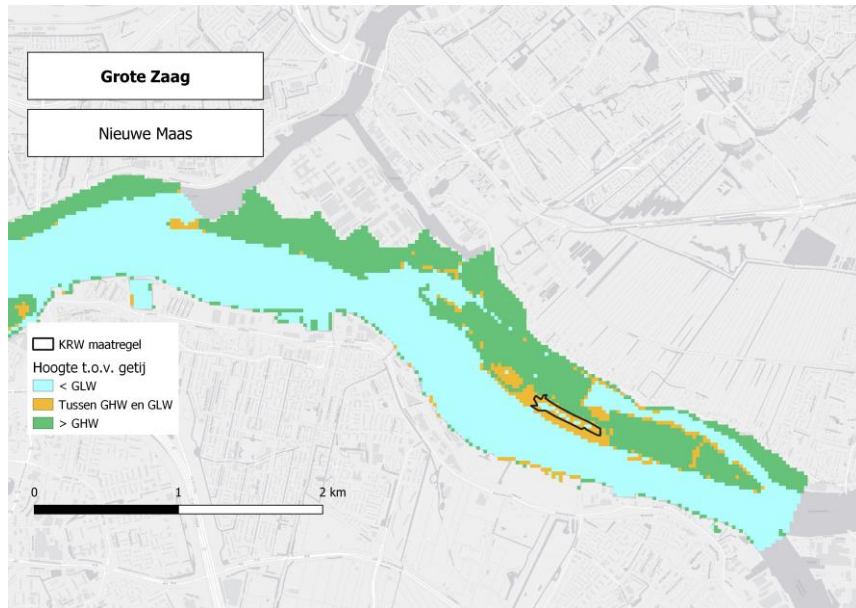
Helling :
 ahn4: 1:999999 (L) / 1:6 (R)
 ahn3: 1:999999 (L) / 1:999999 (R)
 ahn2: 1:999999 (L) / 1:999999 (R)

D Figuren getijgedreven inundatie











HKV lijn in water BV

Locatie Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Locatie Delft

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

Locatie Amersfoort

Berkenweg 7
3818 LA Amersfoort

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl