

Toepassing van de Basisrivierbodemplugging op het IRM- nulalternatief

Actualisatie functie-eisen en toetsing bodem 2050



Toepassing van de Basisrivierbodemplugging op het IRM-nulalternatief

Actualisatie functie-eisen en toetsing bodem 2050

Auteur(s)

Eveline van der Deijl

Toepassing van de Basisrivierbodemplugging op het IRM-nulalternatief

Actualisatie functie-eisen en toetsing bodem 2050

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Yvo Snoek
Referenties	Basisrivierbodemplugging, BOA-rivieren, Integraal Rivier Management
Trefwoorden	Basisrivierbodemplugging, Integraal Rivier Management, Functie-overschrijdingen, Functie-conflicten

Documentgegevens

Versie	0.2
Datum	27-06-2022
Projectnummer	11208036-009
Document ID	11208036-009-ZWS-0001
Pagina's	48
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	Deltares

Samenvatting

Introductie

De Basisrivierbodempligging (BRL) is een signaleringsinstrument waarin de ligging van de rivierbodempligging wordt getoetst aan bodemhoogte-eisen en -wensen die gesteld worden vanuit verschillende functies van de rivier. Door Integraal Riviermanagement (IRM) is gevraagd om de BRL te gebruiken als aanvullende analyse van het IRM-nulalternatief dat momenteel wordt opgesteld voor de Rijnakken en Maas (Asselman et al., 2022).

Deze rapportage beschrijft de opzet van de bodem van het 2050 IRM-nulalternatief, de verandering in referentiewaterstand en de gebruikte actualisatie van de BRL functie-eisen welke nodig zijn voor de analyse van het IRM-nulalternatief. Deze rapportage is niet bedoeld om de belangrijkste resultaten te behandelen van de functie-eis overschrijdingen voor het IRM nulalternatief. De resultaten zelf zijn opgenomen in de PowerPointpresentaties voor de 4 thematische sessies en in het integrale IRM nulalternatief rapport (Asselman et al., 2022).

BRL bodem IRM-nulalternatief

Door zowel sedimentatie als autonome (of antropogene) bodemerosie is de bodem van het zomerbed van de rivier continu in ontwikkeling. Op sommige trajecten is er sprake van een trend van bodemerosie, op andere plekken juist een trend van sedimentatie. Voor de Rijnakken wordt de sterkste erosie verwacht in het splitsingspuntengebied, met name op de Boven-Waal (maximaal 0.5 m tot 2050). Op de Maas wordt maximaal 0.3 m erosie verwacht op de Grensmaas.

Verandering referentiewaterstand IRM-nulalternatief

Aangezien zowel de ligging van de rivierbodempligging als het klimaat tussen nu en 2050 veranderen, zal ook de referentiewaterstand in 2050 zijn veranderd. Op de bovenloop van alle drie de Rijnakken is de grootste daling van de referentiewaterstand van 0.3 tot 0.4 m te verwachten. Door erosie op de Waal neemt de afvoer richting de Waal toe, maar door de sterke bodemerosie daalt de referentiewaterstand op de Boven-Waal. Op de Beneden-Waal stijgt de referentiewaterstand licht door de toename in afvoer, terwijl de referentiewaterstand op de IJssel met 0.3 m daalt door deze afvoerverschuiving.

Veranderingen in de referentiewaterstand van de Maas zijn beperkt tussen +0.1 en -0.3 m. Op de gehele Grensmaas dalen de waterstanden het sterkst. Op de Bergsche Maas en Getijde Maas is een lichte stijging van referentiewaterstand zichtbaar door de trend van netto sedimentatie.

Aangepaste eisen voor het IRM-nulalternatief

Er zijn in totaal 5 BRL bovengrenzen direct aangepast met de verandering in referentiewaterstand. Daarnaast is er één ondergrens, namelijk die van "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" welke niet direct aan de referentiewaterstand is gerelateerd. Deze eis is in tegentelling tot de huidige eis voor 2021 voor het IRM-nulalternatief in 2050 onafhankelijk gemaakt van de maatgevende ondergrens op de IJssel en alleen nog afhankelijk van het verschil tussen de bodem van de IJssel in 2050 en 2015. Door deze aanpassing van de eis ligt de ondergrens voor "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" in 2050 gemiddeld 18 cm lager dan de huidige eis voor 2021.

Toekomstige toepassingen van de BRL voor IRM

Doordat de aanpassing van de BRL is opgezet op basis van modeluitkomsten per rivierkilometer kan later in het proces het effect van elke IRM bodem worden bepaald wanneer IRM de volgende gegevens aanlevert:

- Een raster met de toekomstige bodemligging
- De gemiddelde bodemverandering op de Boven-IJssel over rkm 879 t/m 930
- Per rivierkilometer de waterstanden van de Afvoerdistributie van het gewenste klimaatscenario i.c.m. de huidige bodemligging
- Per rivierkilometer de waterstanden van de Afvoerdistributie van het gewenste klimaatscenario i.c.m. de gewenste bodemligging

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.1.1	Toepassing Basisrivierbodemplugging (BRL) in het IRM-nulalternatief	8
1.1.2	Beknopte toelichting BRL	8
1.2	Doelstelling	9
1.3	Leeswijzer	9
2	Uitgangspunten en methode	10
2.1	Beschrijving van BRL 2021	10
2.2	BRL bodem IRM-nulalternatief 2050	10
2.3	Prognose verandering referentiewaterstand in 2050	12
2.4	Aan te passen eisen voor het IRM-nulalternatief 2050	16
2.4.1	Eisen gerelateerd aan de referentiewaterstand	16
2.4.2	Eisen niet gerelateerd aan de referentiewaterstand	16
3	Resultaten	18
3.1	Aangepaste eis 02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling	18
3.2	Aangepaste eisen gerelateerd aan de referentiewaterstand	21
3.2.1	03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen	21
3.2.2	04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel	21
3.3	Integrale kaarten en statistieken	30
3.3.1	Maatgevende bovengrens	30
3.3.2	Maatgevende ondergrens	30
3.3.3	Funcieconflicten	30
3.3.4	Statistieken	31
4	Conclusies en aanbevelingen	36
4.1	Bodem IRM-nulalternatief 2050	36
4.2	Referentiewaterstand IRM-nulalternatief 2050	36
4.3	De aanpassing van eisen voor het IRM-nulalternatief 2050	37
4.3.1	02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling	37
4.3.2	Overige aangepaste eisen	37
4.4	Toepassing op overige IRM alternatieven	38
5	Referenties	39
A	De BRL functie eisen	40
	01-01 Waterveiligheid - hoogwaterstanden	40
	01-02 Waterveiligheid - stabiliteit primaire waterkeringen	40

02-01	Voldoende water - Afvoerverdeling	41
03-01a	Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen	42
03-01b	Schoon en gezond water - instroompunt nevengeulen	42
04-01	Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel	43
04-02	Vlot en veilig verkeer over water: diepte bij harde lagen	44
04-03	Vlot en veilig verkeer over water - vlot varen	44
04-04	Vlot en veilig verkeer over water - onbeladen vaart	45
04-05	Vlot en veilig verkeer over water - Diepte boven harde lagen en sluizen	45
05-01	Beleidsversterkend - Stabiliteit oevers en kribben	46
05-02	Beleidsversterkend - Dekking infrastructuur	46
05-03	Beleidsversterkend - Stabiliteit kunstwerken	46
05-04	Beleidsversterkend - Monitoring erosiekuilen	47
05-05	Beleidsversterkend - Erosiebestendige lagen	47
05-06	Beleidsversterkend - Erosiegevoelige lagen	47

1 Inleiding

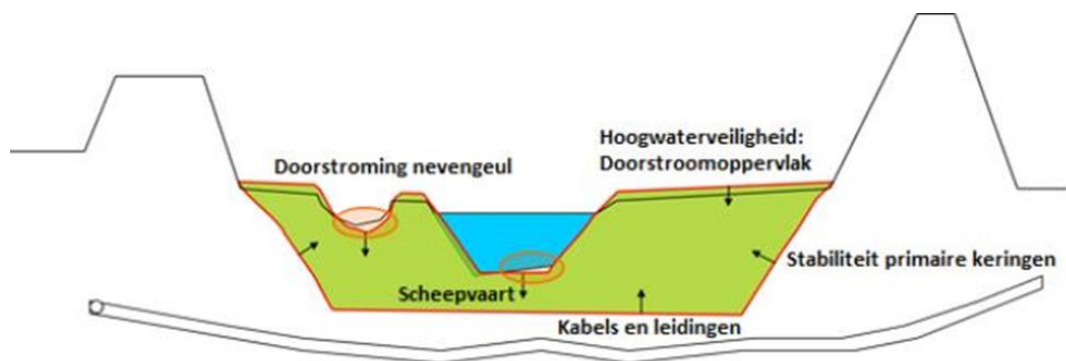
1.1 Aanleiding

1.1.1 Toepassing Basisrivierbodempligging (BRL) in het IRM-nulalternatief

De Basisrivierbodempligging (BRL) is een signaleringsinstrument waarin de ligging van de rivierbodem wordt getoetst aan bodemhoogte-eisen en -wensen die gesteld worden vanuit verschillende functies van de rivier. Door Integraal Riviermanagement (IRM) is gevraagd om de BRL te gebruiken als aanvullende analyse van het IRM-nulalternatief dat momenteel wordt opgesteld voor de Rijnakkers en Maas (Asselman et al., 2022). De vraag aan de BRL is om een analyse uit te voeren naar de functieruimte, -overschrijdingen en -conflicten in het IRM zichtjaar 2050 voor de verschillende functies die zijn opgenomen binnen de BRL. Met deze BRL analyse wordt onderzocht in hoeverre de BRL waardevolle aanvullende informatie over de effecten van het IRM-nulalternatief kan aanleveren boven op de effectenmethodiek, die is ontwikkeld t.b.v. IRM. Er wordt tevens onderzocht in hoeverre de BRL als Quick scan in de fase van alternatievenontwikkeling NKA ingezet zou kunnen worden.

1.1.2 Beknopte toelichting BRL

Bij de BRL worden voor verschillende functies van de rivier eisen en streefwaardes geconcretiseerd naar bodempliggingen. Deze bodempliggingen vormen als een enveloppe boven- en ondergrenzen waarbinnen de rivierbodem vrij mag bewegen: de beheerruimte, zie ook Figuur 1-1. Op het moment dat de rivierbodem hoger of lager dan de grenzen uitkomt, is er sprake van een functie-eis overschrijding (de oranje cirkels in het voorbeeld). Een uitgebreide beschrijving van de functie-eisen, die nu zijn opgenomen in de BRL, is te vinden in Flierman en Van der Sleen (2021) en is kort samengevat in Appendix A.



Figuur 1-1 Schematische weergave dwarsdoorsnede van de BRL.

Er wordt bij de BRL onderscheid gemaakt tussen twee types functie-eisen: eisen die direct aan de bodem gesteld kunnen worden en eisen die gerelateerd zijn aan de waterstand en dus indirect aan de bodem. Een aantal van de in de BRL opgenomen boven- en ondergrenzen zijn dus gebaseerd op waterstand gerelateerde rivierfuncties. Voor deze waterstand gerelateerde rivierfuncties is een minimale waterstand of waterdiepte nodig welke met behulp van een referentiewaterstand of referentiebodempligging zijn vertaald naar een minimale of juist maximale bodempligging. Voor de schematisatie van deze bodempligging als functie-eis is de bodempligging vaak gemiddeld per kilometervak, kribvak of uiterwaardenvak, omdat er vanuit wordt gegaan dat kleine en lokale bodemveranderingen geen effect hebben op de waterstand.

De referentiewaterstand is voor veel van de BRL functies in de Rijntakken gelijk aan de Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR), in de Maas aan het Gemiddeld Laagwater (MLW) en in de gebieden waar ook het getij van invloed is de referentiewaterstand gelijk aan de Overeengekomen Laagwaterstand (OLW). Zowel klimaatverandering als de verandering van de bodemligging over een groter traject zijn van invloed zijn op deze waterstand en dus ook op de daarmee gerelateerde functie-eisen.

1.2 Doelstelling

In IRM wordt rekening gehouden met de systeemontwikkelingen, rivierbodemplandelingen en klimaatverandering voor het zichtjaar 2050. Hierdoor verandert ook de referentiewaterstand in 2050. Deze verandering in referentiewaterstand moet worden doorgevoerd in de BRL functie-eisen die gerelateerd zijn aan deze referentiewaterstand, omdat anders de aannames die gedaan zijn om tot deze eisen te komen niet meer gelden. Deze rapportage beschrijft de gebruikte actualisatie van de BRL functie-eisen en de opzet van de bodem van het 2050 IRM-nulalternatief welke beiden nodig zijn voor de analyse van het IRM-nulalternatief.

Hiervoor worden in dit rapport de volgende vragen behandeld:

1. Hoe ziet de bodem van het 2050 IRM-nulalternatief er uit?
2. Welke eisen moeten worden aangepast in de BRL voor de IRM analyse waarbij wordt uitgegaan van de 2050 bodem en veranderend klimaat?
3. Welke specifieke aanpassing is nodig voor de betreffende eisen?
 - 3.1. Wat is de nieuwe referentiewaterstand op de Rijntakken?
 - 3.2. Wat is de nieuwe referentiewaterstand op de Maas?
 - 3.3. Wat is het bodemverschil tussen nu en 2050 op de Boven-IJssel t.b.v. de functie-eis afvoerverdeling?

Deze rapportage is niet bedoeld om de belangrijkste resultaten te behandelen van de functie-eis overschrijdingen voor het IRM nulalternatief. De resultaten zelf worden opgenomen in het integrale IRM nulalternatief rapport (Asselman et al., 2022).

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 beschrijft Paragraaf 2.1 eerst het huidige BRL instrument en de opbouw van de v2021 bodem. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 uitgewerkt hoe de bodem van 2050 is opgebouwd uit de 2021 bodem en de prognose voor de bodemverandering. Voor het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag is een uitgebreide uitleg van de huidige functie-eisen en de benodigde aanpassingen opgenomen in Appendix A. Alleen de daadwerkelijk aan te passen eisen worden samengevat en kort beschreven in paragraaf 2.4. Deze paragraaf beschrijft hoe de functie-eisen zijn aangepast op basis van de veranderingen in rivierbodemplandeling en referentiewaterstand van modelresultaten uit het project effectbeoordeling van het IRM-nulalternatief (Asselman et al., 2022).

De resultaten van de beoordeling van het IRM-nulalternatief met de BRL zijn gepresenteerd in 4 thematische sessies. De PowerPointpresentaties van deze sessies illustreren samen met de opgeleverde set aan kaarten en ArcMap bestanden het resultaat van de beoordeling van het IRM-nulalternatief met de BRL. Ter onderbouwing van deze resultaten wordt in Hoofdstuk 3 voor een aantal eisen een voorbeeld van de aangepaste eis beschreven. Dit wordt vervolgd in hoofdstuk 4 met een aantal conclusies en aanbevelingen en de benodigde input van IRM voor de beoordeling van eventuele toekomstige alternatieven.

2 Uitgangspunten en methode

2.1 Beschrijving van BRL 2021

In het voorjaar van 2021 is de BRL-Geoweb viewer binnen Rijkswaterstaat gepubliceerd (v2020)¹. Eind 2021 hebben een aantal functie-eisen een update ondergaan. Verder is de actuele bodem geüpdatet naar v2021 met beschikbare data uit het AHN4 en Lidar en multibeam-lodngen van 2021. De BRL-Geoweb viewer is geactualiseerd met de bodem en de eisenkaarten en functie-overschrijdingskaarten van v2021. Verder zijn statistieken van oppervlaktes en percentages van functieruimte en -overschrijding bepaald per netwerkschakel (de door Rijkswaterstaat gespecificeerde trajecten in het riviernetwerk die functioneel samenhangen). Naast de individuele kaarten per functie-eis zijn ook de integrale kaarten met de integrale beheerruimte en de omhullende enveloppe in de BRL-Geoweb viewer opgenomen.

Versie v2021 van het BRL instrument en de actuele bodem (v2021) vormen het uitgangspunt voor de beoordeling van het IRM-nulalternatief. Aanvullend op de v2021 kaarten in de BRL-Geoweb viewer zijn specifiek voor de IRM-effectbeoordeling de statistieken van de oppervlaktes en percentages van functieruimte en -overschrijding per IRM-gebied bepaald. Deze statistieken zijn extra opgeleverd bij de voorliggende beoordeling van het IRM-nulalternatief.

2.2 BRL bodem IRM-nulalternatief 2050

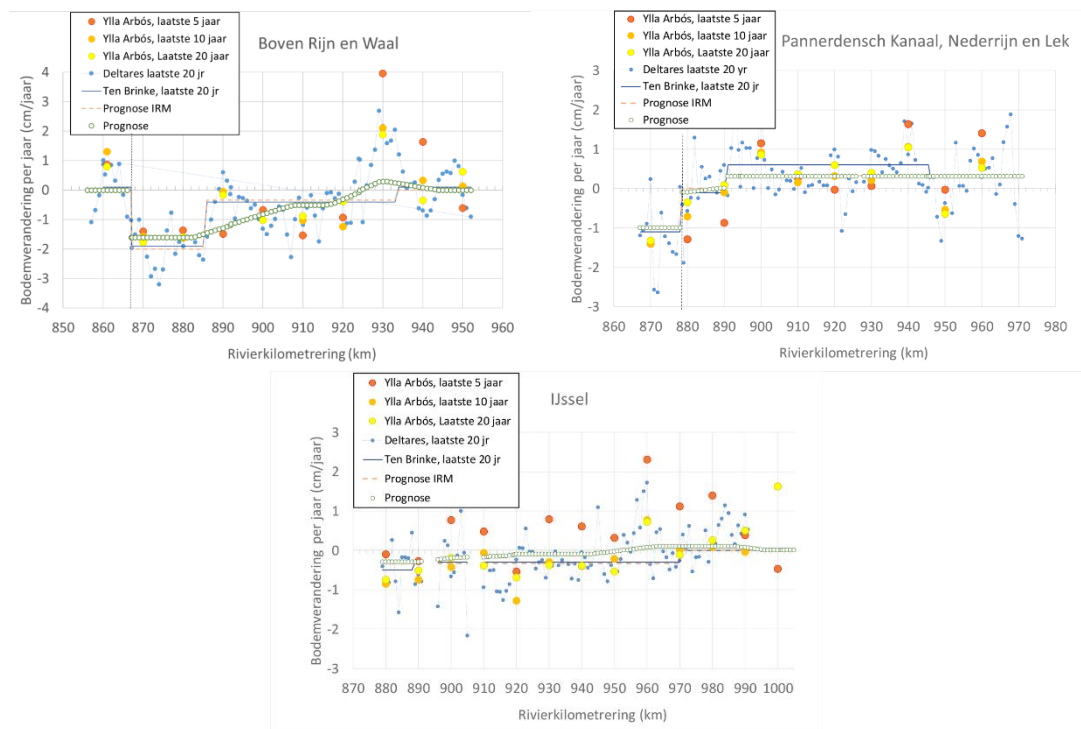
Door zowel sedimentatie als autonome (of antropogene) bodemerosie is de bodem van het zomerbed van de rivier continu in ontwikkeling. Op sommige trajecten is er sprake van een trend van bodemerosie, op andere plekken juist een trend van sedimentatie. Scenario's voor de bodemverandering in 2050 zijn per rivierkilometer ontwikkeld voor zowel de Rijn (Sloff, 2019) als de Maas (Sloff, 2021). Deze prognoses voor de bodemverandering (zie Figuur 2-1 voor de Rijntakken en Figuur 2-2 voor de Maas) zijn binnen de effectbeoordeling van het IRM-nulalternatief gebruikt om de bodem van de actuele modelschematisaties (2018 voor de Rijntakken en 2019 voor de Maas) binnen het zomerbed aan te passen naar de situatie van het jaar 2050. Bij deze aanpassing is rekening gehouden met de aanwezigheid van harde lagen welke zelf niet eroderen en welke een extra effect hebben op de lokale bodem trends (Asselman et al., 2022). Figuur 2-1 en Figuur 2-2 tonen dat voor de Rijntakken de sterkste erosie wordt verwacht in het splitsingspuntengebied, met name op de Boven-Waal (maximaal 0.5 m tot 2050). Op de Maas worden de grootste veranderingen in bodemligging verwacht op de Grensmaas (maximaal 0.3 m erosie).

Het genoemde bodemverschil voor de periode 2018-2050 (Rijntakken) en 2019-2050 (Maas) is vanuit het project IRM-effectbeoordeling (Asselman et al., 2022) als shapefile aangeleverd aan de BRL. Voor de beoordeling van het nulalternatief met de BRL is gebruik gemaakt van de meest actuele BRL bodem (v2021) welke is gebaseerd op meetdata van 2021. Om deze reden zijn de bodemverschillen vermenigvuldigd met 29/32 voor de Rijntakken en 29/31 voor de Maas. Deze verschillen zijn vervolgens bij de v2021 bodem van de BRL opgeteld:

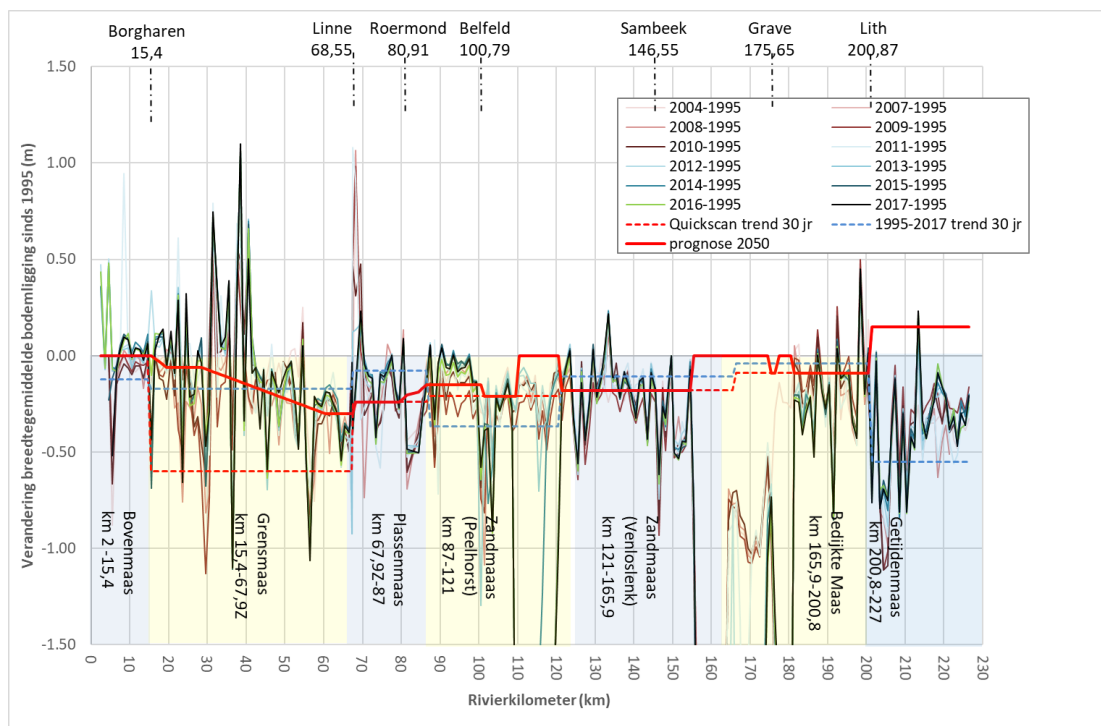
$$\begin{aligned} \text{Bodem_Rijntakken}_{2050} &= \text{Bodem_Rijntakken}_{2021} + \frac{29}{32} * \Delta \text{bodem_Rijntakken} \\ \text{Bodem_Maas}_{2050} &= \text{Bodem_Maas}_{2021} + \frac{29}{31} * \Delta \text{bodem_Maas} \end{aligned}$$

¹ Website alleen intern bij Rijkswaterstaat beschikbaar:

https://maps.intranet.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=Basis_Rivierbodem_Ligging.Webviewer



Figuur 2-1 Toegepaste trend in bodemontwikkeling op de Rijn (“Prognose”, groene bolletjes) in cm per jaar, in relatie tot de metingen. Om tot het scenario van 2050 te komen wordt dit vermenigvuldigd met 31 jaar. Het scenario “Prognose IRM” is het resultaat van een eerder project en in deze studie niet verder toegepast (Sloff, 2019).



Figuur 2-2 Bodemontwikkeling op de Maas (doorgetrokken rode lijn) in relatie tot de metingen (Sloff, 2021). Op de Bergsche Maas zijn geen gegevens in de analyse aanwezig. In het model is de bodemtrend op de op de Getijdenmaas ook toegepast op de Bergsche Maas.

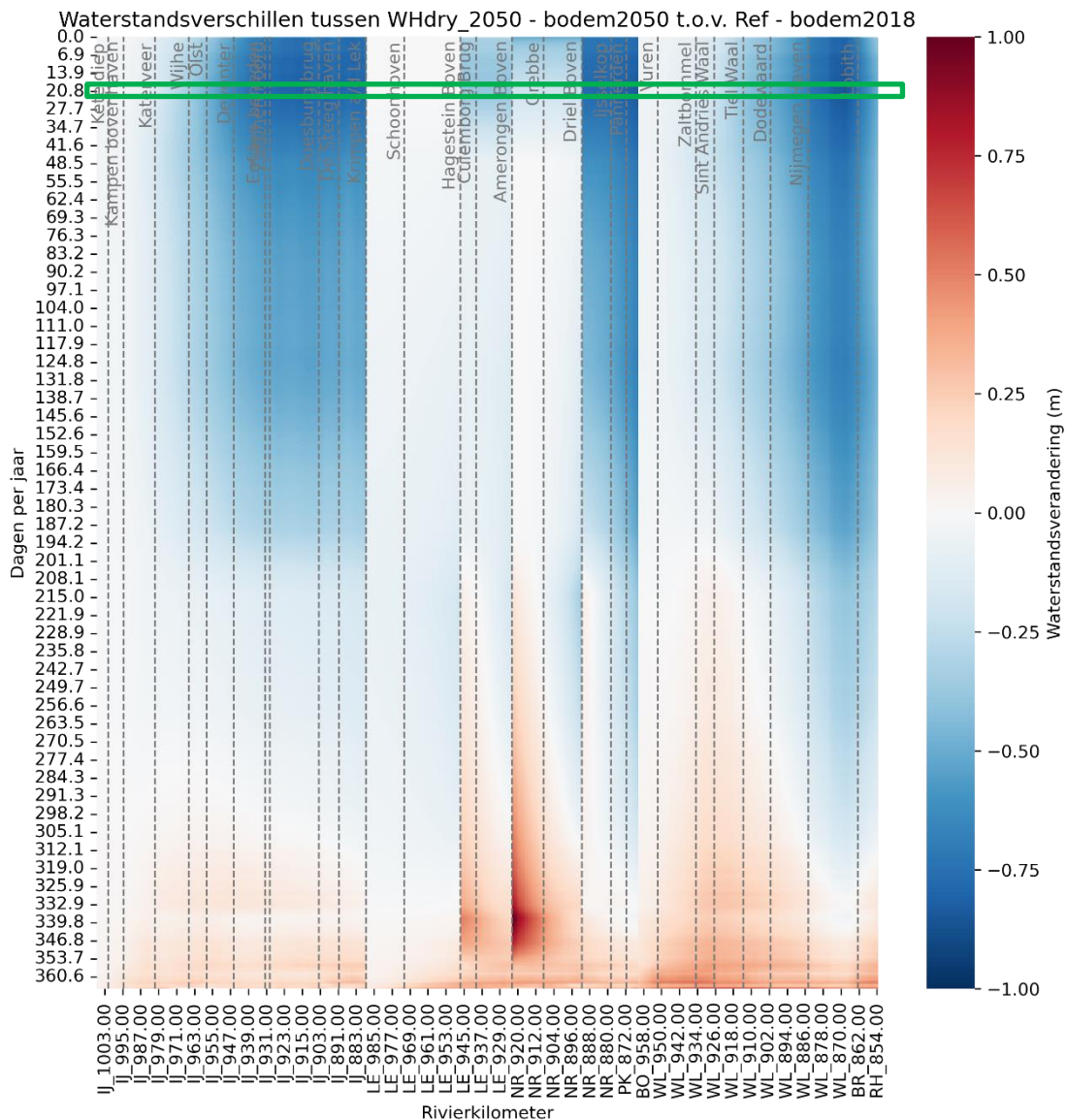
2.3 Prognose verandering referentiewaterstand in 2050

Parallel aan deze BRL effectbeoordeling van het IRM-nulalternatief is Deltares bezig met de ontwikkeling en uitvoering van de effectbeoordeling van het IRM-nulalternatief (Asselman et al., 2022), waarbij gebruik gemaakt wordt van hydraulische modelberekeningen. Uit de berekeningen volgen o.a. waterstanden, stroomsnelheden en overstromingsduren welke door IRM gebruikt worden voor de effectbeoordeling met modellen van de functies. Deze zelfde hydraulische resultaten zullen worden ook gebruikt als input voor de doorrekening van het IRM-nulalternatief met de BRL.

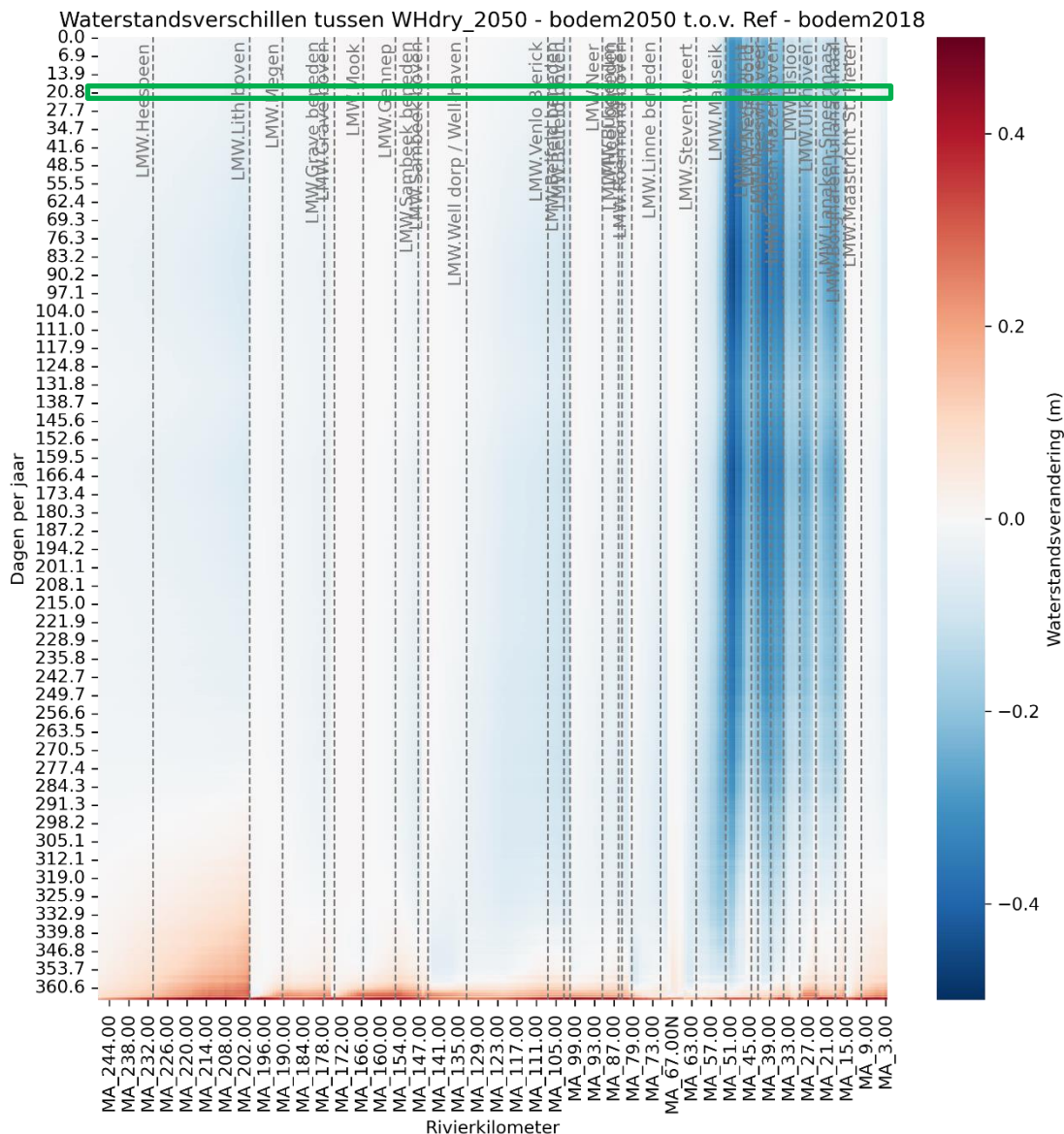
Voor de effectbeoordeling van het IRM-nulalternatief zijn analyses uitgevoerd met zowel het huidige als het toekomstige klimaat en de huidige en de toekomstige bodem. Voor de berekeningen van het IRM-nulalternatief is gebruik gemaakt van het scenario $W_{\text{Hdry}2050}$ uit de klimaatscenario's van het KNMI 2014 (KNMI, 2015) die gebruikt worden binnen de Deltascenario's (Wolters et al., 2017). Simulaties zijn uitgevoerd voor situaties met en zonder bodemverandering en voor 16 afvoeren voor de Rijn en 13 afvoeren voor de Maas. De distributiekromme bij Lobith en St. Pieter van zowel het huidige klimaat (Ref_{2018}) als het klimaatscenario $W_{\text{Hdry}2050}$ zijn gebruikt om per rivierkilometer de waterstandsdistibutiekromme op te stellen voor de volgende 4 scenario's (Asselman et al., 2022):

- 1 Afvoerdistributie Ref_{2018} i.c.m. Bodem₂₀₁₈
- 2 Afvoerdistributie Ref_{2018} i.c.m. Bodem₂₀₅₀
- 3 Afvoerdistributie $W_{\text{Hdry}2050}$ i.c.m. Bodem₂₀₁₈
- 4 Afvoerdistributie $W_{\text{Hdry}2050}$ i.c.m. Bodem₂₀₅₀

Aangezien zowel de ligging van de rivierbodem als het klimaat tussen nu en 2050 veranderen, zal ook de referentiewaterstand in 2050 zijn veranderd. Het is dan ook het verschil tussen de waterstandsdistibutiekrommes van scenario's 4 en 1 die van belang is voor de aanpassing van de referentiewaterstand en de hieraan gerelateerde BRL functie-eisen. Deze waterstandsverschillen (door de combinatie van zowel bodemerosie als klimaatverandering) zijn voor alle rivierkilometers van de Rijntakken en Maas weergegeven in de vorm van heatmaps in Figuur 2-3 en Figuur 2-4 (Asselman et al., 2022).



Figuur 2-3 Heatmap van de waterstandsverschillen in de distributiekrommes voor de Rijntakken. De horizontale as bevat de rivierkilometers (van rechts naar links) en de verticale as de onderschrijdingsduur (lage afvoer staat dus bovenaan). Weergegeven is klimaatscenario WHdry2050 met bodem2050 t.o.v. klimaatscenario Ref met bodem2018 (Asselman et al., 2022). Het groene kader geeft het verschil in referentiewaterstand aan welke is gebruikt voor de aanpassing van de BRL eisen.



Figuur 2-4 Heatmap van de waterstandsverschillen in de distributiekrommes voor de Maas. De horizontale as bevat de rivierkilometers (van rechts naar links) en de verticale as de onderschrijdingsduur (lage afvoer staat dus bovenaan). Weergegeven is klimaatscenario WHdry2050 met bodem2050 t.o.v. klimaatscenario Ref met bodem2018 (Asselman et al., 2022). Het groene kader geeft de het verschil in referentiewaterstand aan welke is gebruikt voor de aanpassing van de BRL eisen.

Uit de heatmaps zijn de waterstandverschillen die voorkomen bij een overschrijdingskans van 5 % (20 dagen per jaar) extra interessant, omdat de bijbehorende waterstanden bij benadering gelijk zijn aan de Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) in de Rijntakken, aan het Gemiddeld Laagwater (MLW) in de Maas en aan de Overeengekomen Laagwaterstand (OLW) in de gebieden waar ook het getij van invloed is. Om deze reden is het verschil in de waterstand die 20 dagen per jaar voorkomt (zie groene kaders in Figuur 2-3 en Figuur 2-4) gebruikt als het verschil in referentiewaterstand welke nodig is voor de aanpassing van de BRL eisen.

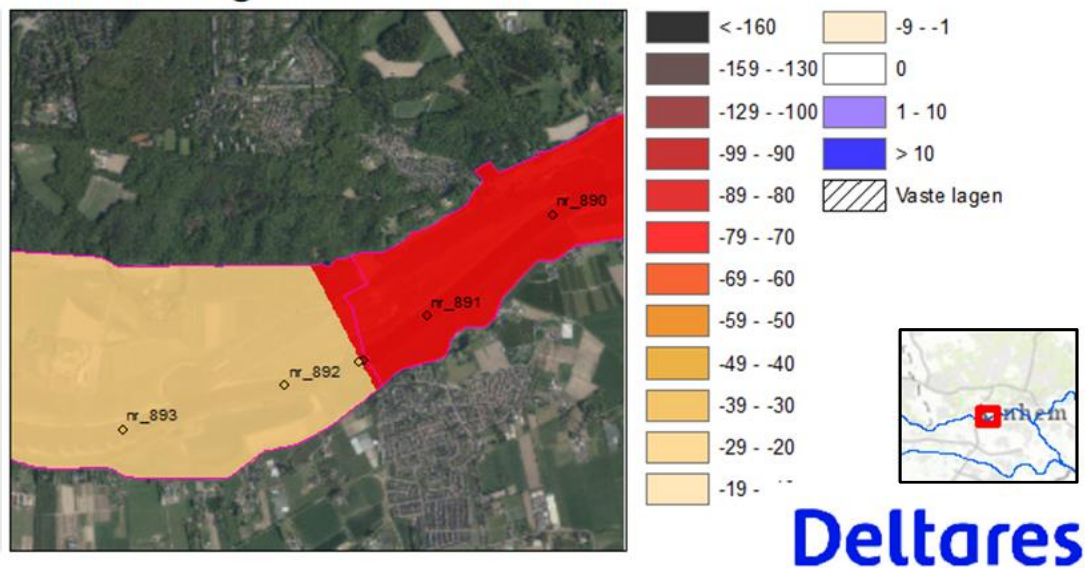
Op de bovenloop van alle drie de Rijntakken is de grootste daling van de referentiewaterstand van 0.3 tot 0.4 m te verwachten. De referentiewaterstand daalt op de IJssel in de orde van 0.3 m als gevolg van de lagere afvoeren en in beperkte mate de bodemerrosie. Door bodemerrosie op de Waal neemt de afvoer richting de Waal toe, maar door de sterke bodemerrosie daalt de referentiewaterstand op de Boven-Waal. Op de Beneden-Waal resulteert de toename in afvoer wel in een lichte stijging van de referentiewaterstand.

Op de Maas zijn de bodemveranderingen beperkt. Daarnaast wordt de waterstand van de Plassenmaas en Zandmaas bij laagwater sterk beïnvloed door het stuwpeil. Hierdoor zijn veranderingen in de referentiewaterstand van de Maas beperkt tussen +0.1 en -0.3 m. Op de gehele Grensmaas dalen de waterstanden het sterkst met een maximum van 0.3 m van op het benedenstroomse traject en op de Bergsche Maas en Getijde Maas is een lichte stijging van referentiewaterstand zichtbaar door de trend van netto sedimentatie.

Het per rivierkilometer aangeleverde verschil in referentiewaterstand is langs de rivierassen geïnterpoleerd naar een verschil voor elke 50 m. Tijdens deze interpolatie is door het invoegen van extra punten direct boven- en benedenstrooms van stuwen, rekening gehouden met de positie van de stuw en de abrupte overgang in het waterstandsverschil dat bij de stuw plaatsvindt. Figuur 2-5 toont als voorbeeld de abrupte overgang in het waterstandsverschil en de twee extra ingevoegde punten (zonder naam) bij stuw Driel.

Vervolgens is voor het BRL studiegebied een vlakdekkende kaart gemaakt van het verschil in referentiewaterstand door met behulp van interpolatie met Thiessen polygonen voor elke locatie het dichtstbijzijnde punt van de rivieras te bepalen (zie Figuur 2-5).

Verskil in laagwaterstand 2050-2019 Verskil [cm]



Figuur 2-5 Het tussen de rivierkilometers (zie ronde markers) geïnterpoleerde verschil in de referentiewaterstand ter hoogte van stuw Driel.

2.4 Aan te passen eisen voor het IRM-nulalternatief 2050

In appendix A staat per functie-eis de huidige opbouw, achtergrond en de reden voor de eventuele benodigde veranderingen van de BRL-functie-eisen beschreven. Voor de toepassing van de BRL in de IRM-effectanalyse van het nulalternatief moeten de volgende eisen aangepast worden:

Rijntakken:

- 02-01 Voldoende water - Afvoerverdeling
- 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen
- 04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel
- 04-03 Vlot en veilig verkeer over water - Vlot varen
- 04-04 Vlot en veilig verkeer over water - Onbeladen vaart
- 04-05 Vlot en veilig verkeer over water - Voldoende diepte bij harde lagen en sluzen

Maas:

- 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen
- 04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel

2.4.1 Eisen gerelateerd aan de referentiewaterstand

Alle aan te passen eisen, behalve de eis "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling", zijn bovengrenzen gerelateerd aan de referentiewaterstand. Deze eisen zijn aangepast met de te verwachten verandering in deze referentiewaterstand:

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens} + (\text{referentiewaterstand}_{2050} - \text{referentiewaterstand}_{nu})$$

De te verwachten verandering in referentiewaterstand voor 2050 is al in paragraaf 2.3 beschreven.

2.4.2 Eisen niet gerelateerd aan de referentiewaterstand

De eis "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" is de enige eis die niet afhankelijk is van de referentiewaterstand. Ook is dit de enige BRL-ondergrens welke aangepast is.

Een belangrijke conclusie uit de bodem prognose van Sloff (2019) is dat de huidige trends in grootschalige erosie een geringe afname vertonen. Echter zal de Waal sterker blijven dalen dan de bodem in het Pannerdensch Kanaal. De waargenomen trend in de verandering in afvoerverdeling zal daarmee ook doorgaan.

Voor de eis "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" is uit studies (Hydrologic, 2019 en 2020) bepaald dat t.o.v. de referentiesituatie in 2015 de bodem van de Boven-Waal nog 55 cm verder mag zakken dan dat de bodem van de Boven-IJssel zakt, voordat de maximale afvoerverschuiving van 2 % richting de Waal wordt bereikt. Dit betekent dat er bij elke mogelijke bodemligging van de IJssel een specifieke minimale bodemligging voor de Waal geldt:

$$\text{Ondergrens BovenWaal}_{2050} = \text{bodem Waal}_{2015} + \Delta \text{bodem IJssel} - 55$$

Met:

$$\Delta \text{bodem IJssel} = \text{bodem IJssel}_{2050} - \text{bodem IJssel}_{2015}$$

Deze afhankelijkheid past niet in de systematiek van de BRL toepassing binnen het huidige management aangezien de BRL niet werkt met afhankelijke functie-eisen en alle eisen een op zichzelf staand 3D bodemvlak moeten zijn. Om deze reden is als basis voor de huidige BRL functie-eis (dus v2021) de maatgevende ondergrens vanuit andere waterstand gerelateerde functie-eisen op de Boven-IJssel gebruikt. Daaruit en met het genoemde maximale zakkingsverschil is de ondergrens voor de Boven-Waal bepaald:

$$\text{Ondergrens BovenWaal} = \text{bodem Waal}_{2015} - \text{max. daling IJssel}_{2015} - 55$$

Met :

$$\text{max. daling IJssel}_{2015} = \text{bodem IJssel}_{2015} - \text{maatgevende ondergrens}_{IJssel} = -12$$

Volgens de huidige BRL eis is er op de IJssel in de huidige situatie gemiddeld al 12 cm ruimte tekort t.o.v. de daar geldende maatgevende ondergrenzen voor “03-01b Schoon en gezond water – instroompunt nevengeulen” en “04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen”. Dit is de reden dat de Waal volgens de huidige eis voor afvoerverdeling gemiddeld nog maar $55 - 12 = 43$ cm mag dalen t.o.v. de bodem van 2015 voordat de maximale verschuiving van 2 % van de Waalafvoer in de afvoerverdeling is bereikt (zie Appendix A1.2).

De maatgevende ondergrens voor “03-01b Schoon en gezond water – instroompunt nevengeulen” en “04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen” voor de IJssel is echter niet vastgelegd anders dan in de BRL. IRM zal in de effectbeoordeling zelf de effecten voor de verschillende functies vergelijken, analyseren en beoordelen. De functie-eis is daarom voor het IRM-nulalternatief in 2050 onafhankelijk gemaakt van de maatgevende ondergrens op de IJssel. De eis is alleen afhankelijk van het verschil tussen de bodem van de IJssel in 2050 en 2015. Voor de BRL eis is gebruik gemaakt van de gemiddelde bodemligging op de trajecten Waal (rkm. 868 t/m 886) en Boven-IJssel (rkm. 879 t/m 930) van 2015. Sloff (2019) heeft per rivierkilometervak zowel de prognose in cm/jaar als de totale bodemverandering tot 2050 in cm bepaald. De prognose is dat in de bodem van km 879 t/m 930 van de Boven-IJssel gemiddeld 0.19 cm per jaar daalt. Dit betekent dat in 2050 de Waalbodem gemiddeld $55 + 6.7$ (gemiddelde daling op Boven-IJssel) = 61.7 cm mag dalen t.o.v. de referentiebodem van 2015. Door deze aanpassing van de eis ligt de ondergrens voor “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” in 2050 gemiddeld 18 cm lager dan de huidige eis voor 2021.

$$\text{Ondergrens BovenWaal}_{2050} = \text{bodem Waal}_{2015} + (-0.19 * (2050 - 2015)) - 55$$

$$\text{Ondergrens BovenWaal}_{2050} = \text{bodem Waal}_{2015} - 6.70 - 55$$

3 Resultaten

De beoordeling van de verschillende rivierfuncties in het IRM-nulalternatief met de BRL is gepresenteerd in 4 thematische sessies. De onderstaande PowerPointpresentaties van deze sessies illustreren samen met de opgeleverde set aan kaarten en ArcMap-bestanden het resultaat van de beoordeling van het IRM-nulalternatief met de BRL:

- 1 **Natuur:** 20220404 IRM nulalternatief - Natuur.pptx
- 2 **Waterbeschikbaarheid:** IRM nulalt waterbeschikbaarheid.pptx
- 3 **Scheepvaart:** 20220411 IRM nulalternatief - Scheepvaart.pptx
- 4 **Waterveiligheid:** 20220420 IRM nulalternatief - Waterveiligheid.pptx

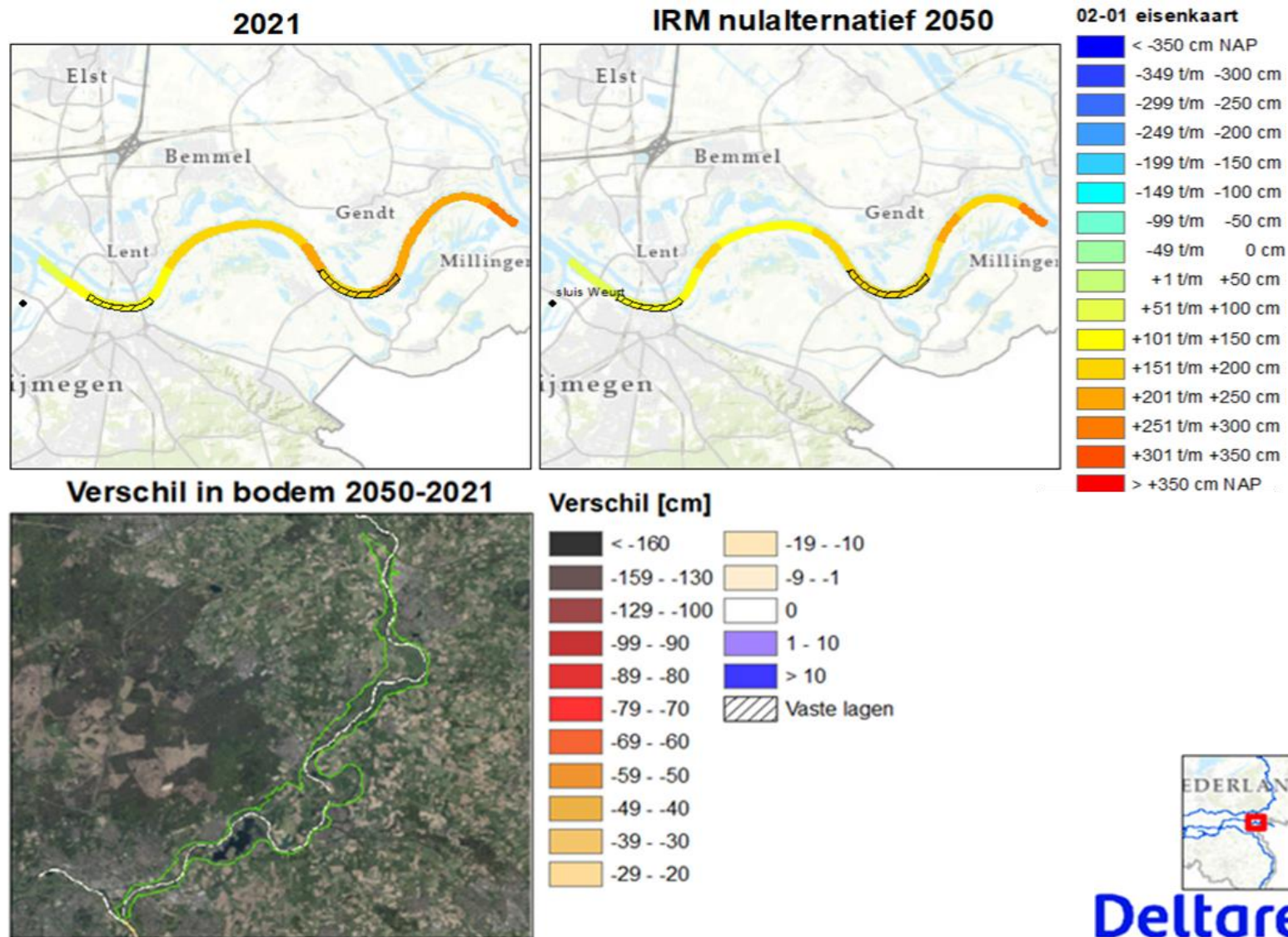
Ter onderbouwing en documentatie van deze resultaten wordt in deze rapportage voor een aantal eisen een voorbeeld van de aangepaste eis en de verandering in functieoverschrijding voor het traject van de Waalbochten beschreven. Ten slotte wordt kort aangegeven hoe dit doorwerkt in de integrale kaarten.

3.1 Aangepaste eis 02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling

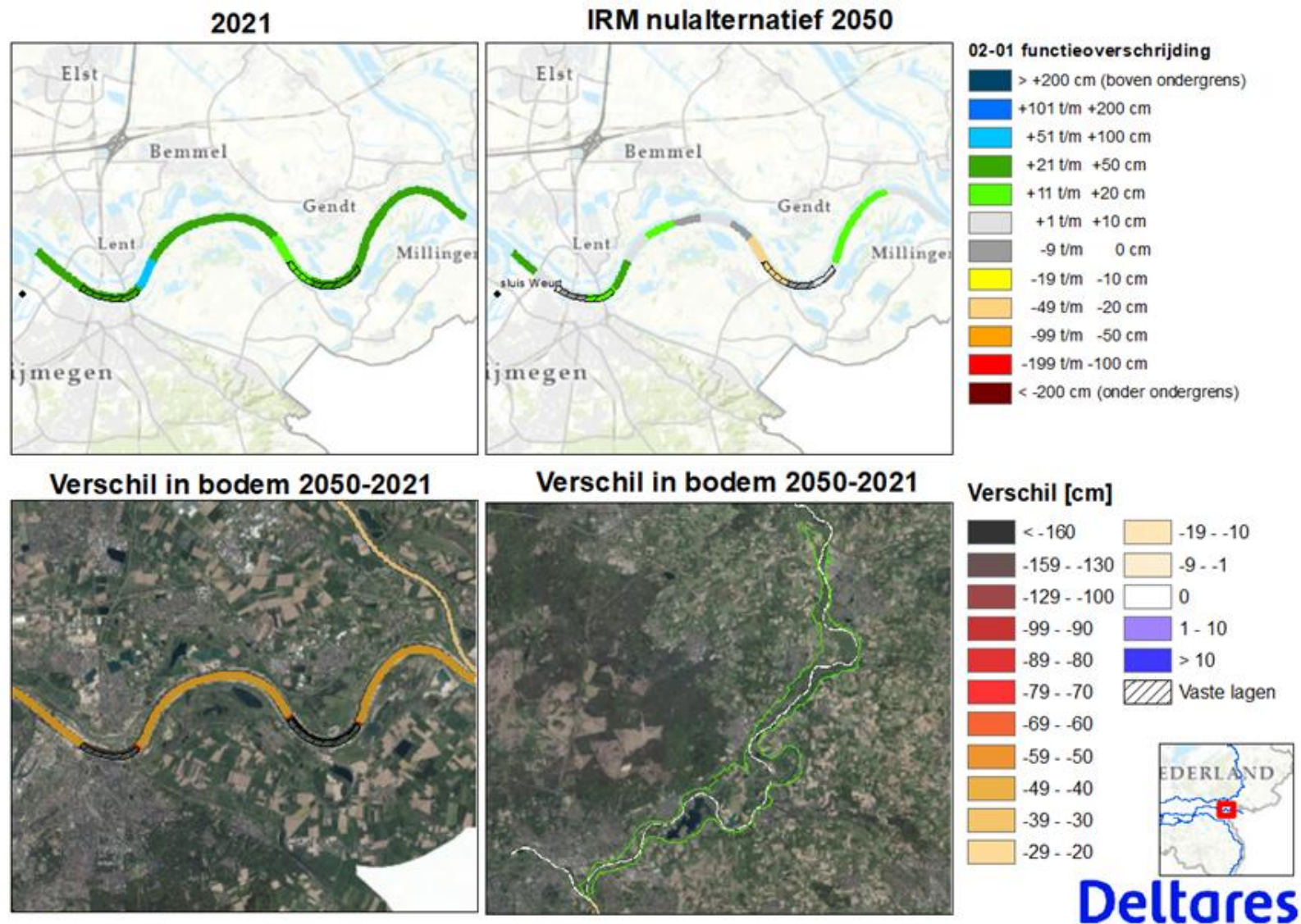
De eis “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” is een eis die voor beoordeling van het IRM-nulalternatief is aangepast. Deze eis is als enige niet gerelateerd aan de referentiewaterstand, maar aan de relatieve bodemdaling van de Boven-Waal en de Boven-IJssel.

In paragraaf 2.4.2 is beschreven dat de eis “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” in 2050 in tegenstelling tot de huidige eis voor 2021 alleen nog afhankelijk is van het verschil tussen de bodem van de IJssel in 2050 en 2015 en niet meer van de maatgevende ondergrenzen voor “03-01b Schoon en gezond water – instroompunt nevengeulen” en “04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen”. Door deze aanpassing van de eis ligt de ondergrens voor “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” in 2050 gemiddeld 18 cm lager dan de huidige eis voor 2021. Dit is zichtbaar in Figuur 3-1.

Figuur 3-2 laat zien dat er in de huidige situatie nog 20 tot 50 cm ruimte is tussen de actuele bodemligging en de ondergrens voor afvoerverdeling. Doordat de eis voor IRM is aangepast is deze ruimte met 18 cm toegenomen. Echter is de prognose dat de bodem van de Boven-Waal in 2050 gemiddeld 40 tot 60 cm zal zijn geërodeerd met uitschieters van >160 cm direct naast de harde laag van Nijmegen en bodemkribben bij Erlecom. Dit is de reden dat enkele rivierkilometervakken in 2050 nog maar 1 tot 10 cm ruimte over hebben en er naast en rondom de bodemkribben van Erlecom in 2050 zelfs 20 tot 50 cm ruimte tekort zal zijn voor de eis “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling”. Dit betekent dat de grote bodemerosie van de Boven-Waal in 2050 een risico vormt voor de overschrijding van de maximale 2 % afvoerverschuiving van de IJssel richting de Waal.



Figuur 3-1 De eis voor "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" in 2021 en 2050. De aanpassing in de eis is afhankelijk van bodemverandering in de Boven-IJssel.



Figuur 3-2 De functieoverschrijding voor "02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling" in 2021 en 2050 en de bodemverandering van de Boven-Waal en Boven-IJssel.

3.2 Aangepaste eisen gerelateerd aan de referentiewaterstand

Bij alle andere eisen dan de eis “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” werkt de verandering in referentiewaterstand direct door in de eis voor 2050 (zie Figuur 3-4 en Figuur 3-8).

3.2.1 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen

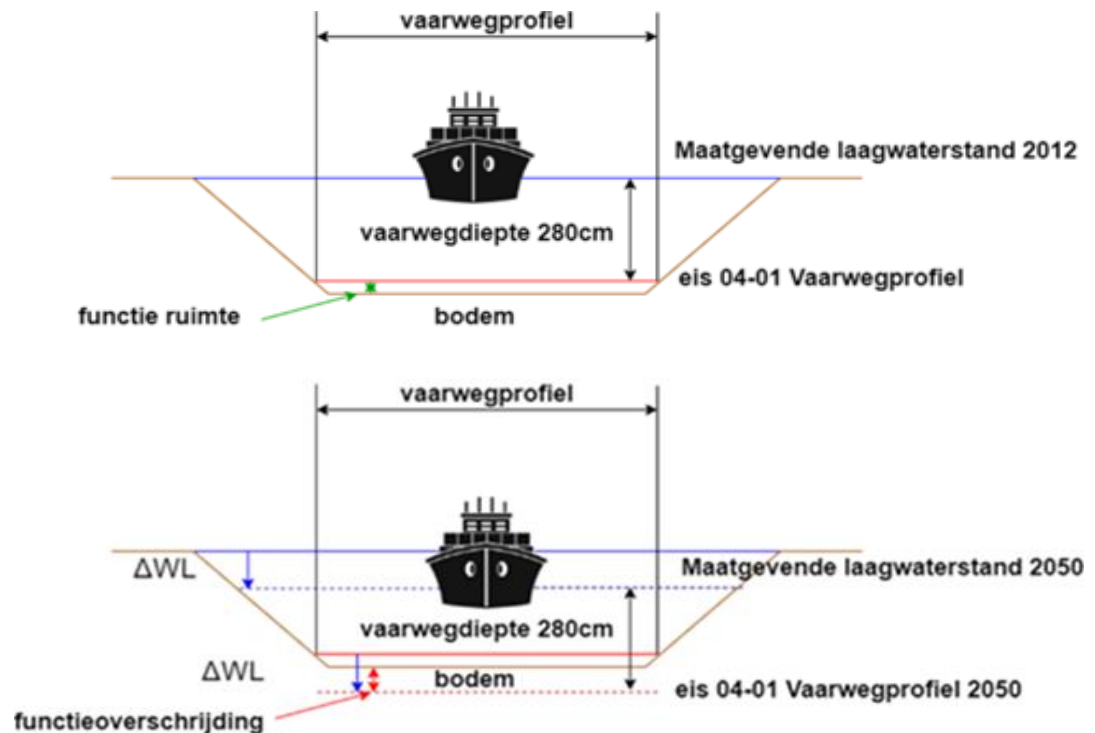
Figuur 3-4 laat zien dat in het traject van de Waalbochten de bovengrens voor “03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen” in 2050 gemiddeld 60 tot 80 cm lager ligt doordat de laagwaterstand op dit traject met respectievelijk 60 tot 80 cm daalt. Er wordt verondersteld dat de bodem van de nevengeulen wordt onderhouden. Dit betekent dat er wordt getoetst of de huidige nevengeulen nog voldoende dagen per jaar zullen doorstromen als in 2050 de laagwaterstanden door zowel het klimaat als de bodemerosie op het traject van de Boven-Waal zijn verlaagd. Deze toetsing is zichtbaar in Figuur 3-5. De close-up van de instroompunten in Figuur 3-6 toont een toename aan functie-overschrijding en een versmalling van het instroompunt tijdens laagwater. Dit betekent dat de doorstroming bij laagwater waarschijnlijk zal afnemen. Verder zal de geul aan de bovenstroomse zijde tijdens laagwater verder droogvallen dan in de huidige situatie.

Figuur 3-7 toont voor alle IRM trajecten de fracties van het gebied waar er ruimte is t.o.v. de eis voor “03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen” (donkergroen), waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), waar de bodem de eis overschrijdt (rood), en waar geen meetdata beschikbaar is voor de vergelijking (oranje) voor zowel de actuele situatie als 2050 (gearceerd). In het figuur is zichtbaar dat voor het gebied van de Waalbochten de fractie van het gebied met functieoverschrijding inderdaad toeneemt, terwijl het gebied met functieruimte afneemt. Er is verder echter ook zichtbaar dat er voor een relatief groot gedeelte van de nevengeulen geen lodingen beschikbaar zijn. Dit is ook het geval voor de nevengeulen in de andere IRM trajecten. Uit het figuur is echter ook duidelijk dat op bijna alle trajecten de fractie van de nevengeulen toeneemt waar functieoverschrijding plaatsvindt. De fracties blijven echter gelijk op de gestuwde delen van de Maas en de benedenstroomse trajecten waar ook de zeespiegelstijging en het getij van invloed zijn, omdat de referentiewaterstand in deze trajecten minder of niet afneemt tussen nu en 2050.

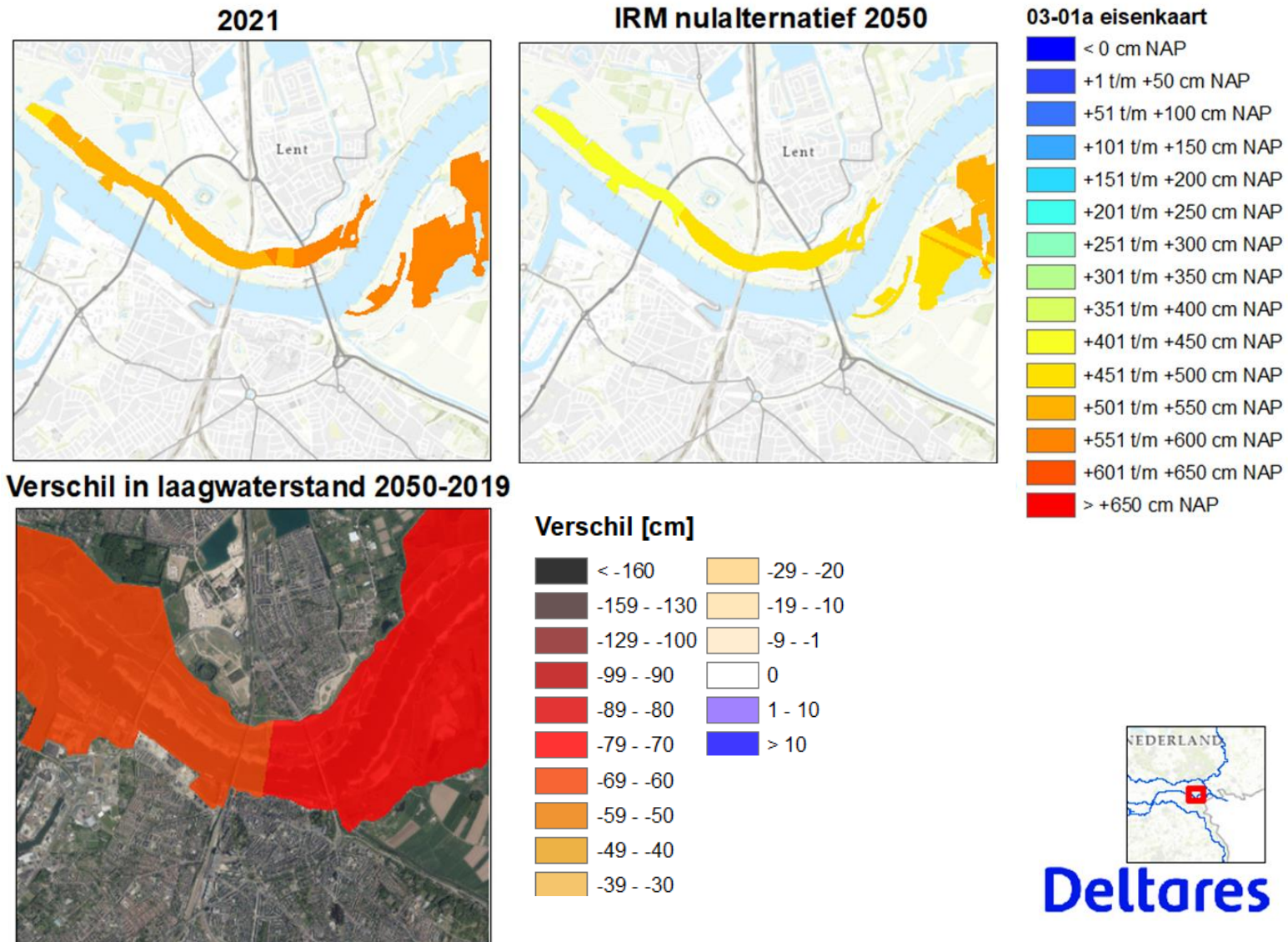
3.2.2 04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel

In Figuur 3-8 is zichtbaar dat de bovengrens “04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel” in 2050 ook met 60 tot 80 cm zal zijn verlaagd t.o.v. de huidige eis. Deze eis geldt voor het zomerbed, waarvan ook de bodem wordt aangepast naar de 2050 situatie. Daarom geeft Figuur 3-8 niet alleen de verandering in laagwaterstand weer, maar ook de verandering in bodem. In het figuur is zichtbaar dat de waterstanden met 60 tot 80 cm dalen terwijl de bodem gemiddeld 50 tot 60 cm erodeert met een uitschieter van >160 cm naast de harde laag van Nijmegen. Een verlaging van de bodem t.o.v. de bovengrens voor voldoende vaardiepte zou positief zijn, mits de bovengrens gelijk zou blijven (zie Figuur 3-3). Figuur 3-9 toont dat de verandering in laagwaterstand en dus ook de verandering in de bovengrens over het algemeen groter is dan de verandering van de bodem. Dit is de reden dat er in 2050 een ruimtetekort ontstaat, met name in de binnenbochten waar al relatief weinig ruimte was voor voldoende vaardiepte. Verder ontstaan er tekorten tot 50 cm op en net naast de harde lagen welke niet mee dalen met de bodem, maar waar de laagwaterstanden wel dalen.

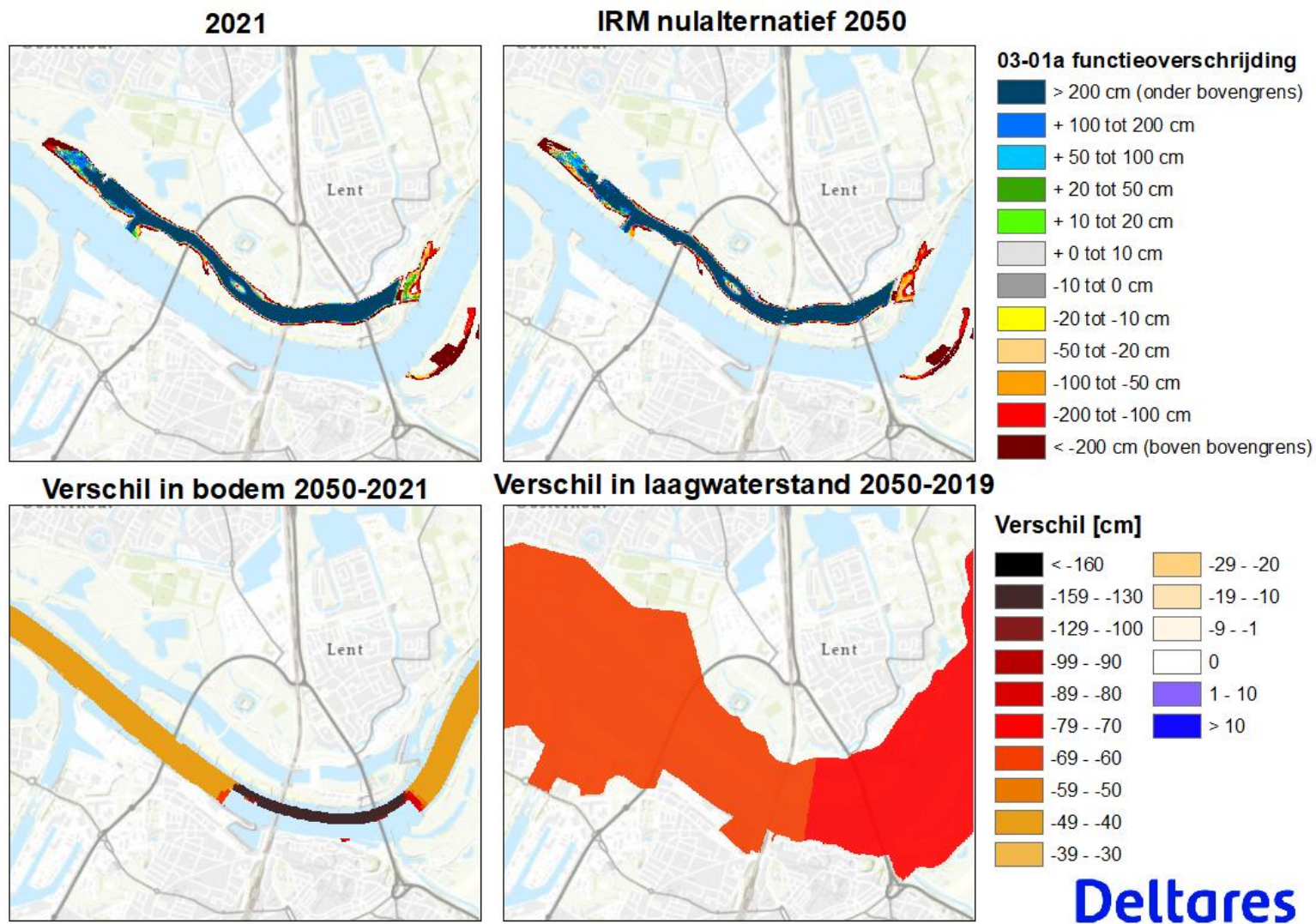
Figuur 3-10 toont voor alle IRM trajecten de fracties van het gebied waar voor zowel de huidige situatie als in 2050 (gearceerd) ruimte is t.o.v. de bovengrens “04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel” (donkergroen), waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), en waar de bodem de eis overschrijdt (rood). Dit figuur toont dat er in 2050 in een grotere fractie van het gebied van de Waalbochten functieoverschrijding plaatsvindt. Dit komt doordat de maatgevende laagwaterstand hier verder daalt dan dat de bodem hier erodeert. Het figuur toont dat er op veel van de trajecten in de Rijntakken een toename is van het gebied met functieoverschrijding, ondanks dat de gemiddelde trend van bodemerosie op deze trajecten. Op de Maas is er juist vaak een afname van het gebied met functieoverschrijding zichtbaar. Dit komt doordat er op deze trajecten over het algemeen erosie plaatsvindt en er extra ruimte ontstaat t.o.v. de eis aangezien deze trajecten ofwel worden gestuwd ofwel onder invloed zijn van zeespiegelstijging en getij waardoor de laagwaterstanden en de eis voor het vaarwegprofiel niet strenger wordt in 2050.



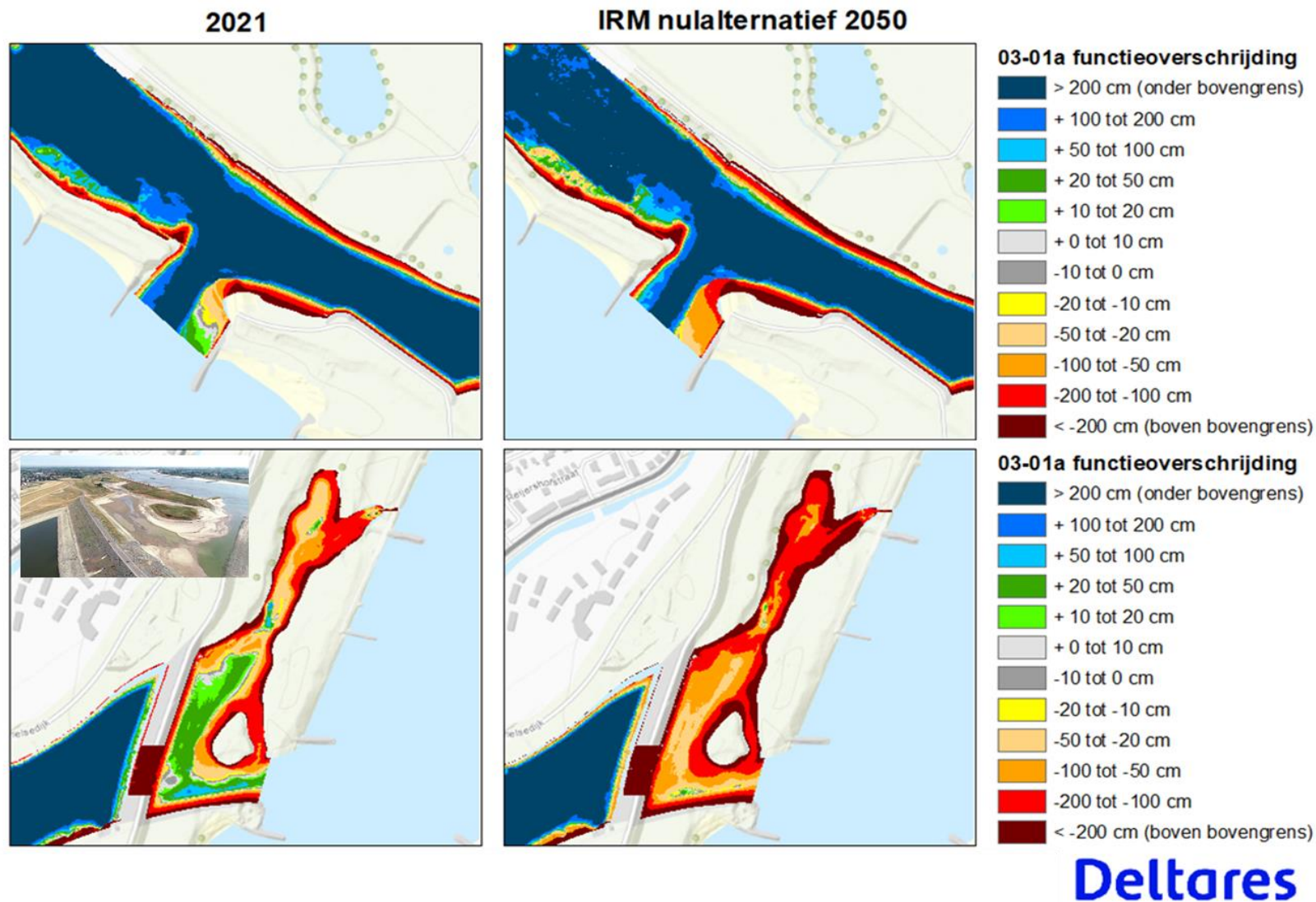
Figuur 3-3 Schematische weergave van de verandering in bodem en maatgevende laagwaterstand voor 2050 en het effect hiervan op de eis en functieoverschrijding voor de functie 04-01 vaarwegprofiel.



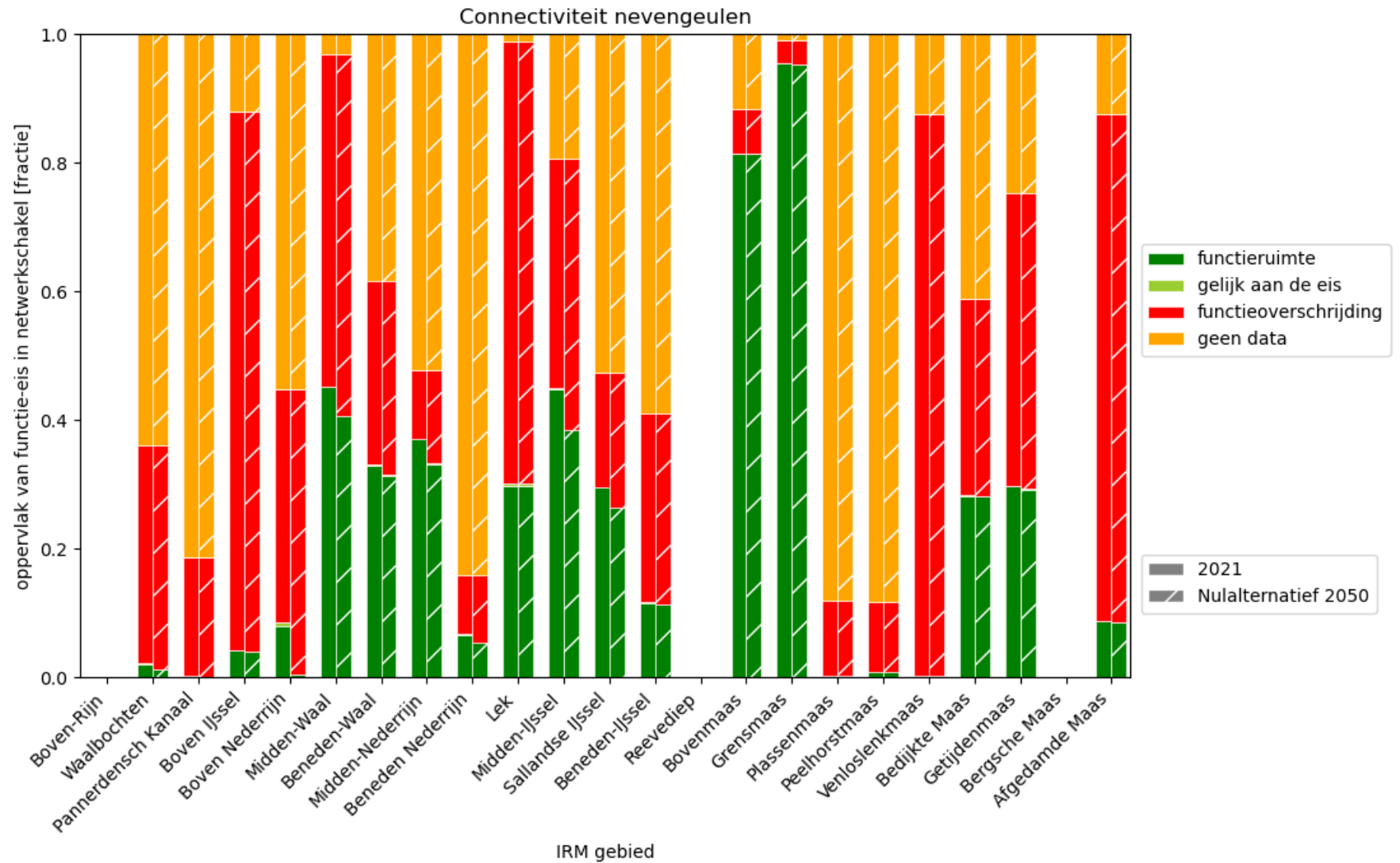
Figuur 3-4 De eis "03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen" in 2021 en 2050. De aanpassing in de eis is gelijk aan het verschil in de laagwaterstand.



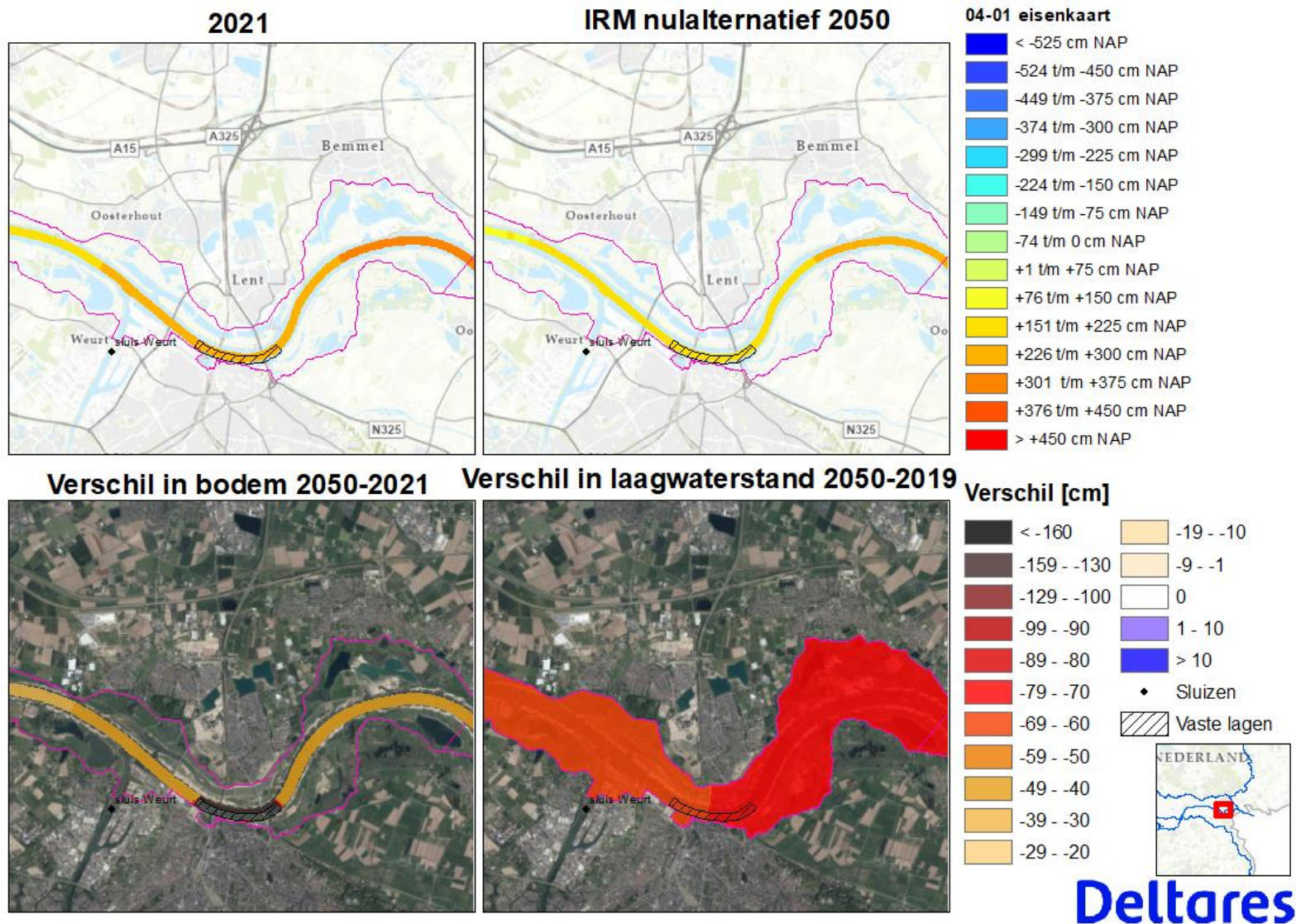
Figuur 3-5 De functieoverschrijding voor “03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen” in 2021 en 2050. De bovengrens is voor 2050 verlaagd met het verschil in de laagwaterstand.



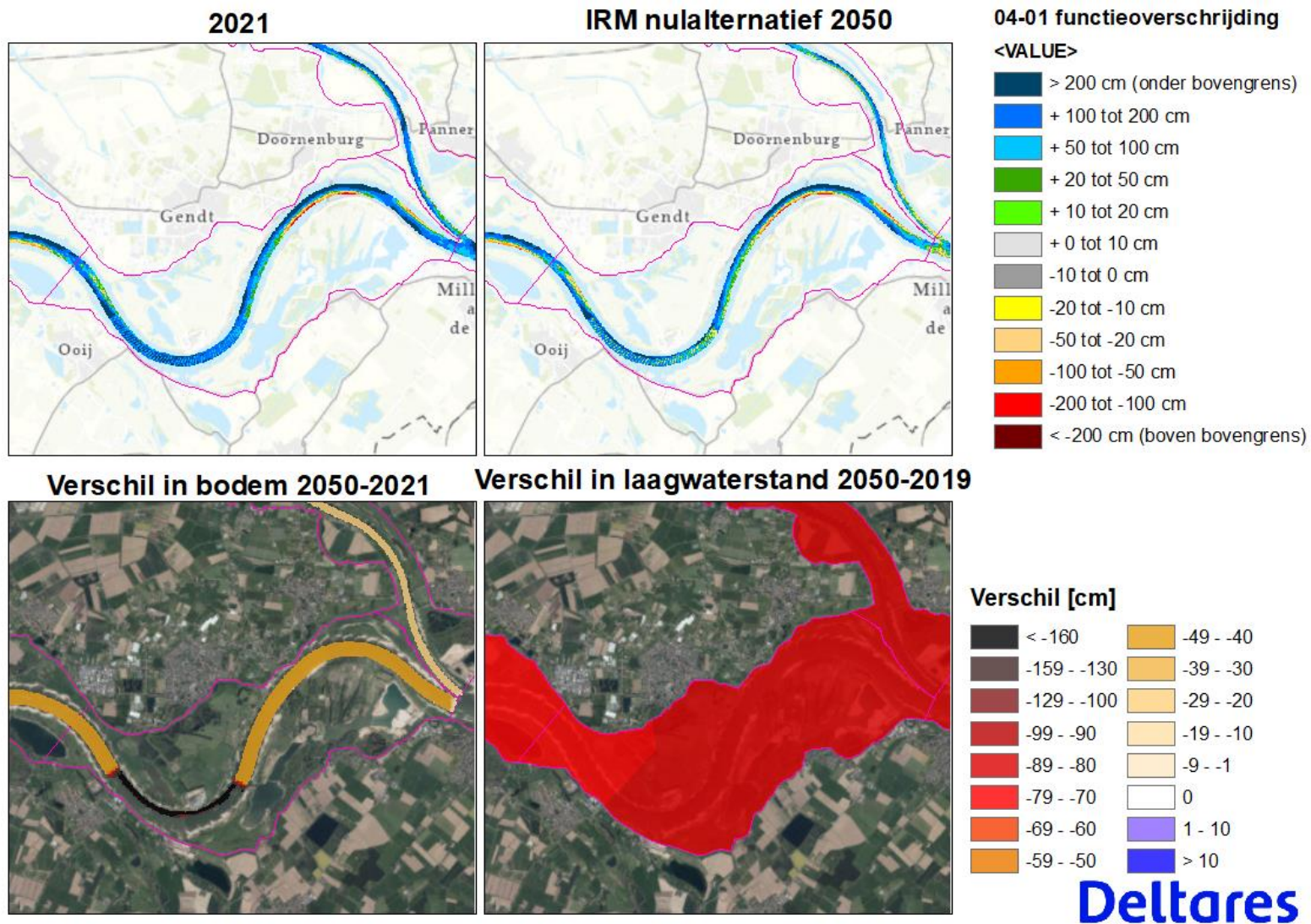
Figuur 3-6 De functieoverschrijding voor "03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen" in 2021 en 2050 voor het instroompunt van de nevengeul bij Lent.



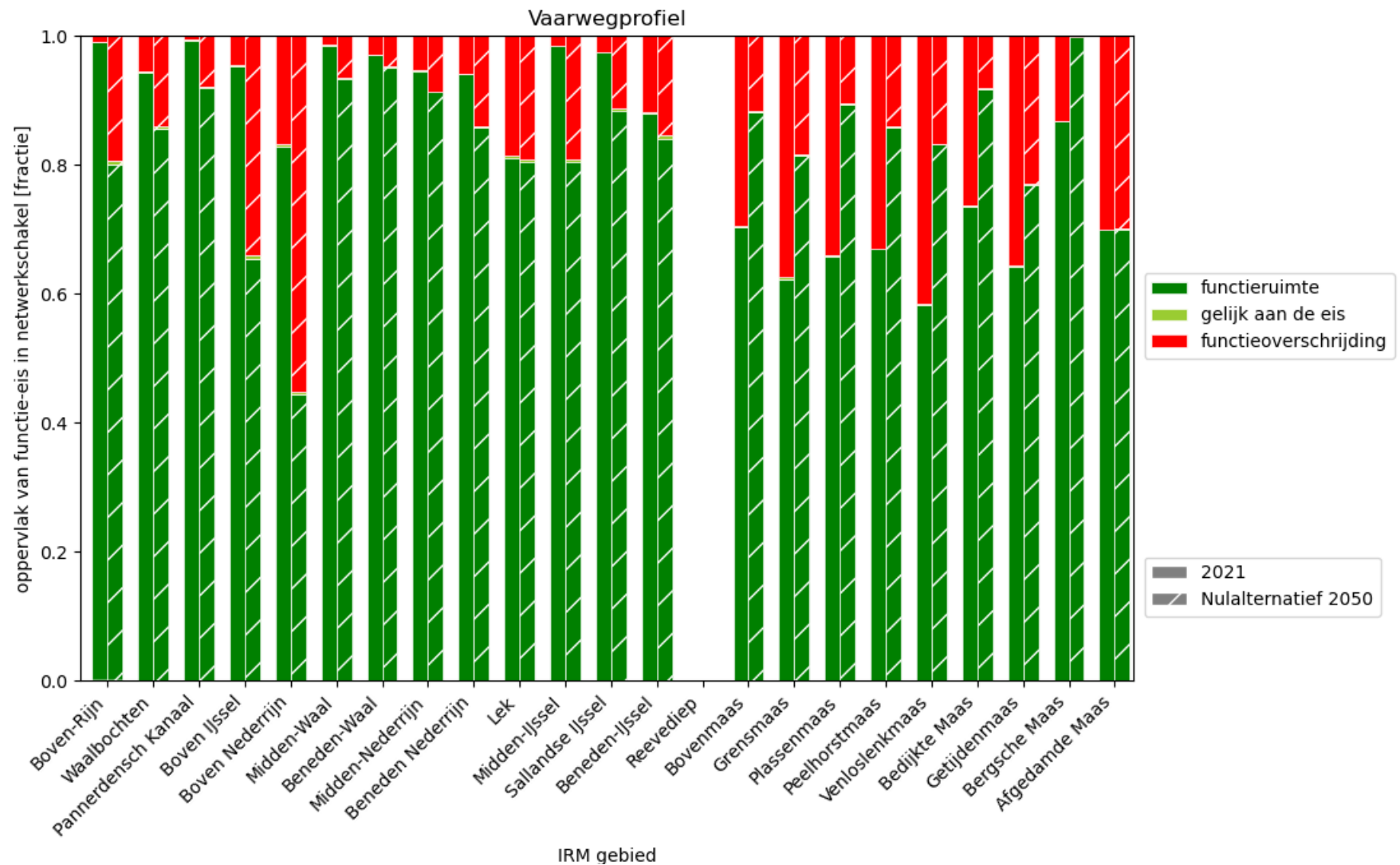
Figuur 3-7 De fracties van de IRM trajecten waar ruimte is t.o.v. de eis voor 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen” (donkergroen), waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), waar de bodem de eis overschrijdt (rood), en waar geen meetdata beschikbaar is voor de vergelijking (oranje) voor zowel de actuele situatie als 2050 (gearceerd).



Figuur 3-8 De eis "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel" in 2021 en 2050. De aanpassing in de eis is gelijk aan het verschil in de laagwaterstand.



Figuur 3-9 De functieoverschrijding voor "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel" in 2021 en 2050. De aanpassing in de eis is gelijk aan het verschil in de laagwaterstand.



Figuur 3-10 De fracties van de IRM trajecten waar ruimte is t.o.v. de eis voor "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel" (donkergroen), waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), en waar de bodem de eis overschrijdt (rood voor zowel de actuele situatie als 2050 (gearceerd)).

3.3 Integrale kaarten en statistieken

3.3.1 Maatgevende bovengrens

Naast de individuele kaarten per functie-eis zijn ook de kaarten met de integrale beheerruimte en de omhullende enveloppe samengesteld voor het IRM-nulalternatief. Deze kaarten kunnen gebruikt worden in de beoordeling van de verschillende rivierfuncties tezamen en bij het identificeren van functieconflicten.

Aangezien er een aantal eisen zijn aangepast voor de beoordeling van het IRM-nulalternatief zijn ook de integrale kaarten veranderd. In de huidige situatie vormt de eis "01-01 hoogwaterveiligheid – hoogwaterstanden" in het overgrote deel van het rivierengebied de maatgevende bovengrens. Doordat deze bovengrens niet is aangepast is in 2050, maar de bovengrenzen voor de functies van "04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel" en "03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen" zijn verlaagd, is in 2050 met name de eis voor het vaarwegprofiel vaker de oorzaak van de maatgevende bovengrens (de laagste bovengrens). Dit is zichtbaar in Figuur 3-11. In het figuur is ook zichtbaar dat er in 2050 op het traject van de Waalbochten ondanks de trend van bodemerosie toch meer locaties zijn ontstaan waar overschrijding van de maatgevende bovengrens plaatsvindt, met name daar waar de eis "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel" is verlaagd en maatgevend is geworden.

3.3.2 Maatgevende ondergrens

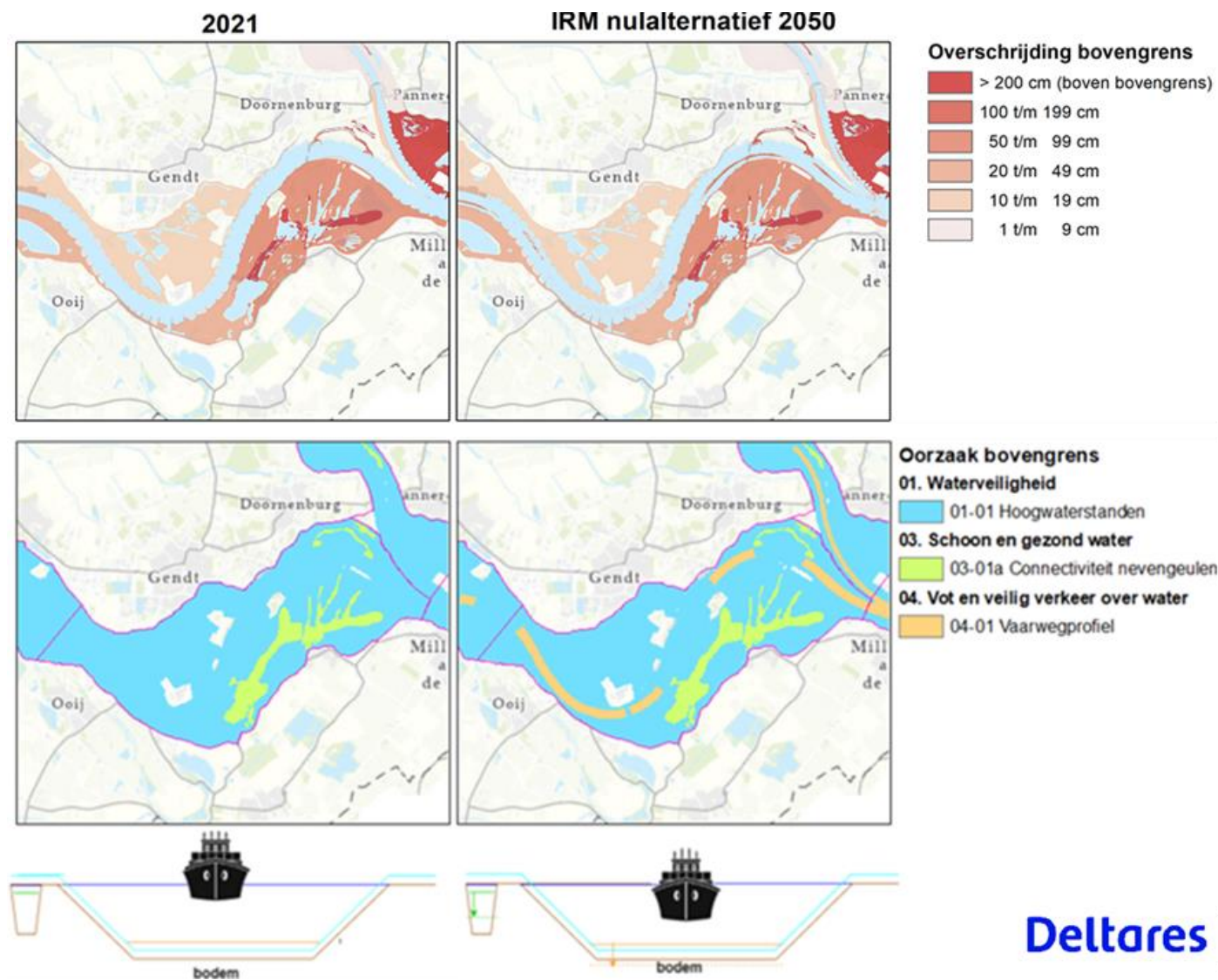
De ondergrens "02-01 – Afvoerdeling is aangepast voor het jaar 2050. Echter was deze ondergrens alleen van toepassing op de Boven-Waal en was deze bovendien niet maatgevend, omdat deze niet de hoogstgelegen (strengste) ondergrens was. Hierdoor is de verandering van deze ondergrens niet zichtbaar in de oorzakenkaart van de maatgevende ondergrens in de BRL (zie Figuur 3-12). Dit figuur toont dat de ondergrens voor voldoende instroming bij het instroompunt van de nevengeulen over het algemeen de strengste (hoogst gelegen) ondergrens is en blijft in het zomerbed. In Figuur 3-12 is wel zichtbaar dat de overschrijding van deze maatgevende ondergrenzen in de BRL sterk zal zijn toegenomen in 2050 van 10 cm tot in de orde van 100 tot 200 cm door de verwachte bodemerosie op dit traject.

3.3.3 Functieconflicten

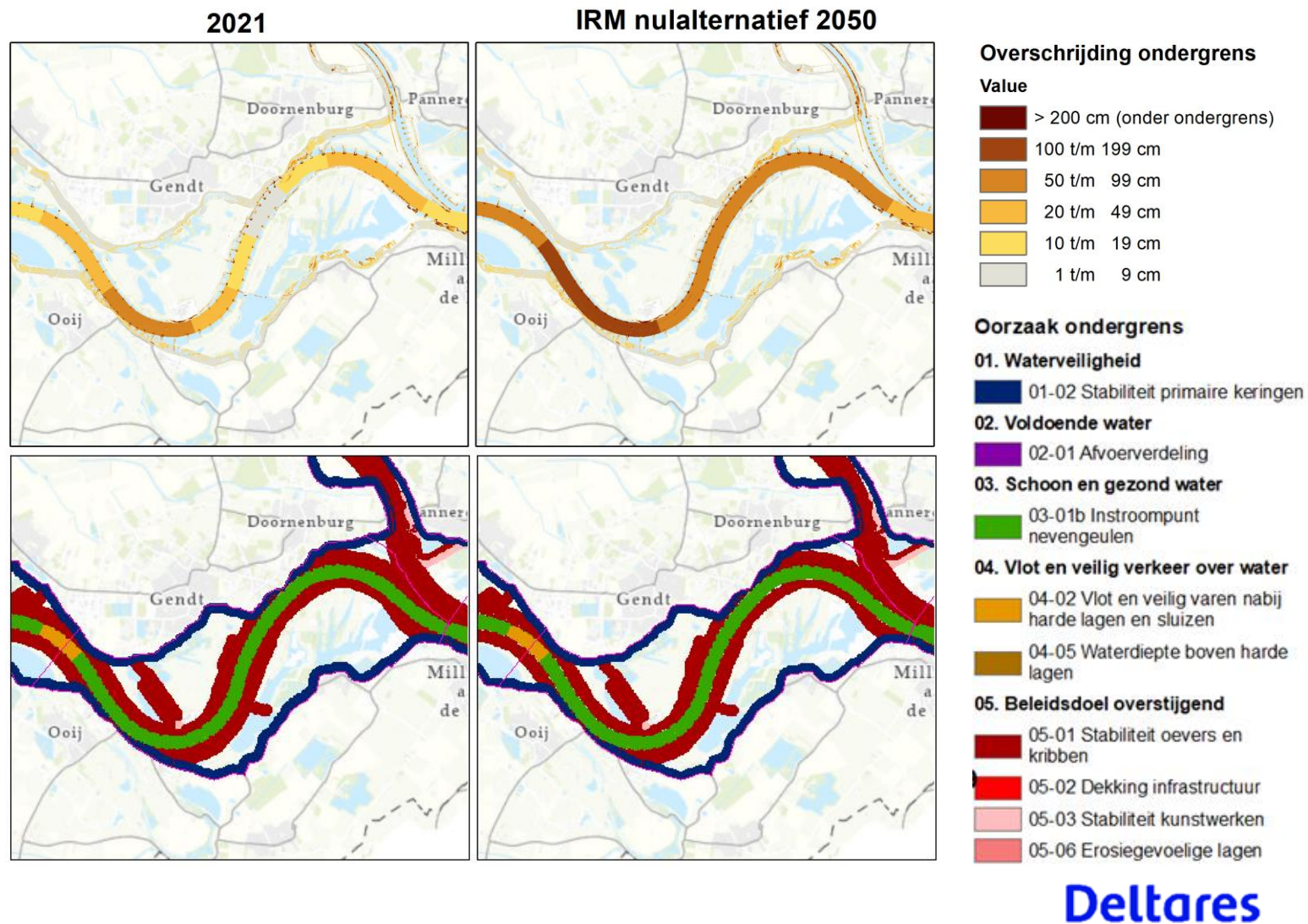
Zowel de kaarten met de functieoverschrijdingen voor de individuele functies, als de integrale overschrijdingskaarten in Figuur 3-11 en Figuur 3-12 geven de ruimte tekorten aan voor functies die opgelost dienen te worden om aan de gestelde eisen voor die functies te voldoen. Echter is het niet altijd mogelijk om aan de eisen van alle functies te voldoen omdat de boven- en ondergrenzen van de verschillende functies kunnen conflicteren. Figuur 3-13 toont dat er in 2021 al diverse locaties met functieconflicten aanwezig zijn. Op deze locaties liggen één of meerdere bovengrenzen lager dan één of meerdere ondergrenzen. Tussen deze grenzen moet dus gekozen worden aangezien er nooit aan de eis voor beide grenzen tegelijk kan worden voldaan. Het figuur toont ook dat de functieconflicten in het zomerbed toenemen, dit komt met name doordat de maatgevende bovengrens strenger voor het vaarwegprofiel strenger is geworden en nu vaker conflicteert met de maatgevende ondergrenzen.

3.3.4 Statistieken

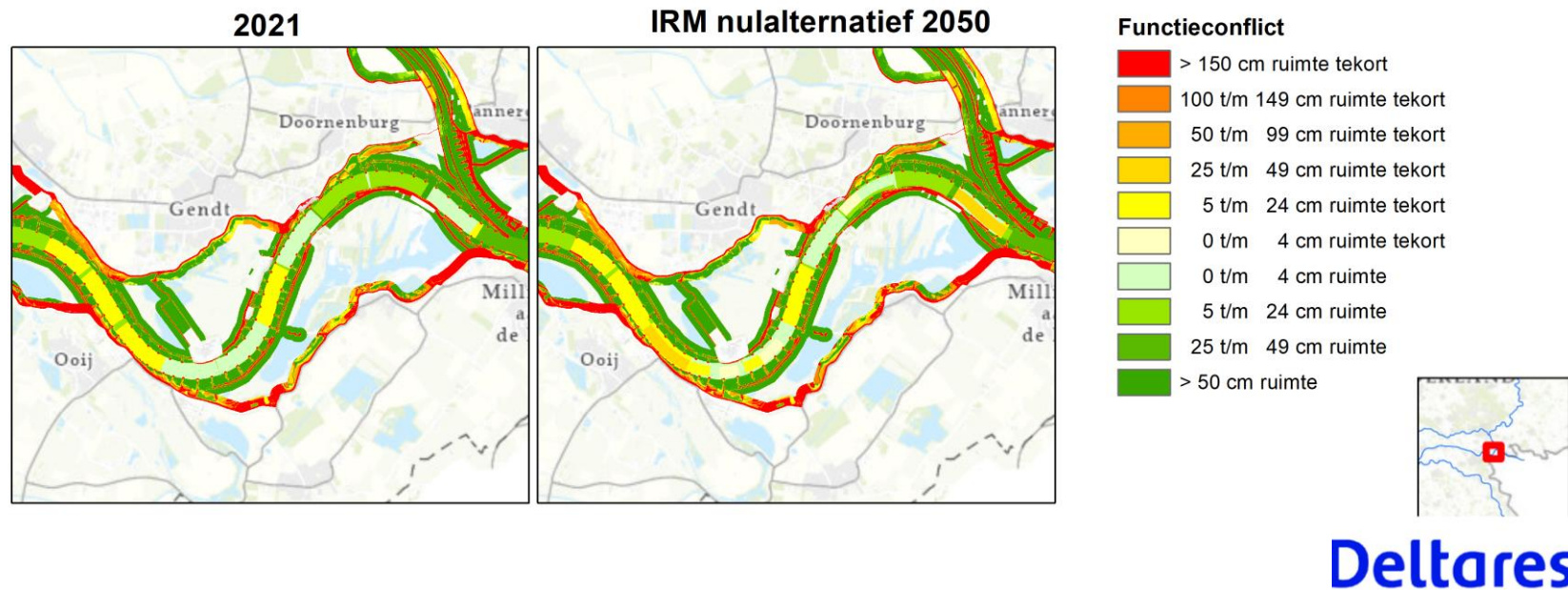
In paragraaf 3.2.1 en 3.2.2 kwamen al kort de statistieken voor de individuele eisen van het vaarwegprofiel en de connectiviteit nevengeulen aan bod. Binnen de BRL zijn er echter ook figuren met de statistieken van alle functies per IRM traject beschikbaar. Figuur 3-14 toont voor het IRM-gebied van de Waalbochten voor zowel de actuele situatie als 2050 (gearceerd) voor elke eis de fractie van het gebied met ruimte, het gebied waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), en van het gebied waar de bodem de boven- of ondergrens overschrijdt (rood). Dit figuur toont dat voor bijna alle eisen het gebied met functieoverschrijding toeneemt tussen nu en 2050. Alleen voor de eis "01-01 Hoogwaterveiligheid – Hoogwaterstanden" is de gemiddelde erosie op het traject van de Waalbochten positief, aangezien er nu meer ruimte ontstaat op locaties waar de bodem nog gelijk was aan de eis. Echter neemt de fractie van het gebied met functieoverschrijding niet af. Verder is zichtbaar dat ook de aanwezige kunstwerken qua stabiliteit er in 2050 nog goed bij blijven liggen.



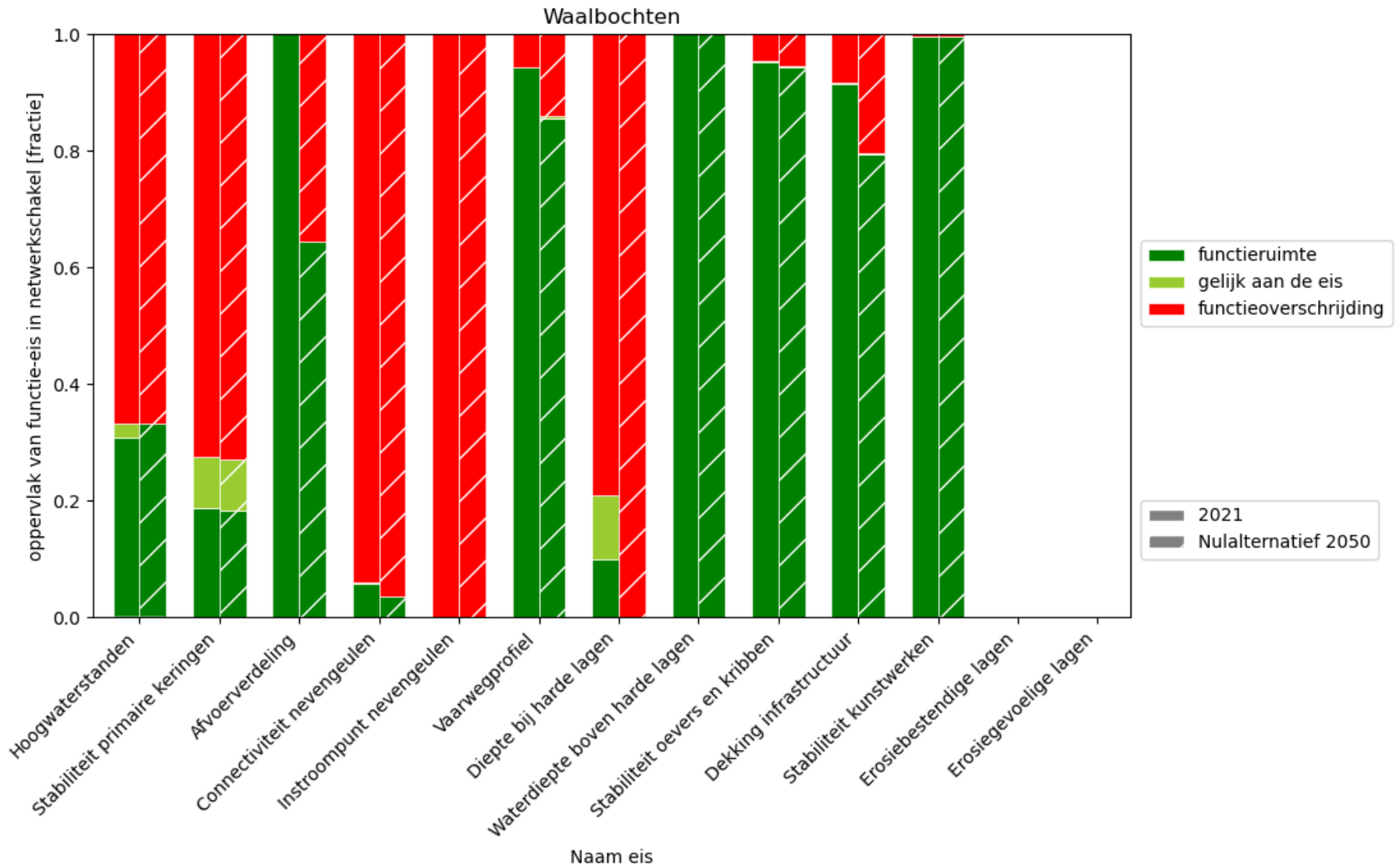
Figuur 3-11 De strengste bovengrenzen vormen tezamen de maatgevende bovengrens in de BRL voor de huidige situatie en het IRM nulalternatief in 2050.



Figuur 3-12 De strengste ondergrenzen vormen tezamen de maatgevende ondergrens in de BRL voor de huidige situatie en het IRM-nulalternatief in 2050.



Figuur 3-13 De grootte van het functieconflict tussen de maatgevende bovengrens en maatgevende ondergrens in 2021 en in 2050.



Figuur 3-14 Voor het IRM-gebied van de Waalbochten is per eis de fractie weergegeven van het gebied met ruimte, het gebied waar de bodem gelijk is aan deze eis (lichtgroen), en waar de bodem de eisen overschrijdt (rood voor zowel de actuele situatie als 2050 (gearceerd)).

4 Conclusies en aanbevelingen

Parallel aan de pilot van de IRM-effectanalyse van het nulalternatief is gewerkt aan actualisatie en toepassing van de BRL voor dit scenario. Deze rapportage beschrijft op basis van 3 onderzoeksvragen de opzet van de bodem van het 2050 IRM-nulalternatief (vraag 1), de verandering in referentiewaterstand (vraag 2) en de gebruikte actualisatie van de BRL functie-eisen (vraag 3) welke nodig zijn voor de analyse van het IRM-nulalternatief. Deze rapportage is niet bedoeld om resultaten van de BRL toepassing te beschrijven. De resultaten zelf zijn opgenomen in de PowerPointpresentaties voor de 4 thematische sessies en in het integrale IRM nulalternatief rapport (Asselman et al., 2022).

4.1 Bodem IRM-nulalternatief 2050

Door zowel sedimentatie als autonome (of antropogene) bodemerosie is de bodem van het zomerbed van de rivier continu in ontwikkeling. Op sommige trajecten is er sprake van een trend van bodemerosie, op andere plekken juist een trend van sedimentatie. Scenario's voor de bodemverandering in 2050 zijn per rivierkilometer ontwikkeld voor zowel de Rijn (Sloff, 2019) als de Maas (Sloff, 2021). Voor het bepalen van de 2050 bodem zijn de scenario's voor de bodemverandering toegepast op de huidige 2021 bodem. Hierbij is rekening gehouden met de aanwezigheid van harde lagen welke zelf niet eroderen en welke een extra effect hebben op de lokale bodem trends (Asselman et al., 2022). Voor de Rijntakken wordt de sterkste erosie verwacht in het splitsingspuntengebied, met name op de Boven-Waal (maximaal 0.5 m tot 2050). Op de Maas worden de grootste veranderingen in bodemligging verwacht op de Grensmaas (maximaal 0.3 m erosie).

4.2 Referentiewaterstand IRM-nulalternatief 2050

Aangezien zowel de ligging van de rivierbodem als het klimaat tussen nu en 2050 veranderen, zal ook de referentiewaterstand in 2050 zijn veranderd.

Op de bovenloop van alle drie de Rijntakken is de grootste daling van de referentiewaterstand van 0.3 tot 0.4 m te verwachten. De referentiewaterstand daalt op de IJssel in de orde van 0.3 m als gevolg van de lagere afvoeren en in beperkte mate de bodemerosie. Door bodemerosie op de Waal neemt de afvoer richting de Waal toe, maar door de sterke bodemerosie daalt de referentiewaterstand op de Boven-Waal. Op de Beneden-Waal resulteert de toename in afvoer wel in een lichte stijging van de referentiewaterstand.

Op de Maas zijn de bodemveranderingen beperkt. Daarnaast wordt de waterstand van de Plassenmaas en Zandmaas bij laagwater sterk beïnvloed door het stuwpeil. Hierdoor zijn veranderingen in de referentiewaterstand van de Maas beperkt tussen +0.1 en -0.3 m. Op de gehele Grensmaas dalen de waterstanden het sterkst met een maximum van 0.3 m van op het benedenstroomse traject en op de Bergsche Maas en Getijde Maas is een lichte stijging van referentiewaterstand zichtbaar door de trend van netto sedimentatie.

4.3 De aanpassing van eisen voor het IRM-nulalternatief 2050

Voor de toepassing van de BRL in de IRM-effectanalyse van het nulalternatief zijn de volgende eisen aangepast:

Rijntakken:

- 02-01 Voldoende water - Afvoerverdeling
- 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen
- 04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel
- 04-03 Vlot en veilig verkeer over water - Vlot varen
- 04-04 Vlot en veilig verkeer over water - Onbeladen vaart
- 04-05 Vlot en veilig verkeer over water - Voldoende diepte bij harde lagen en sluizen

Maas:

- 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen
- 04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel

4.3.1 02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling

Volgens de BRL is er op de IJssel in de huidige situatie gemiddeld al 12 cm ruimte tekort t.o.v. de daar geldende maatgevende ondergrenzen voor “03-01b Schoon en gezond water – instroompunt nevengeulen” en “04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen”. Dit is de reden dat de Waal volgens de huidige ondergrens voor “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” gemiddeld nog maar $55 - 12 = 43$ cm mag dalen t.o.v. de bodem van 2015 voordat de maximale verschuiving van 2 % van de Waalafvoer in de afvoerverdeling is bereikt

De eis “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” is voor het IRM-nulalternatief in 2050 onafhankelijk gemaakt van de maatgevende ondergrens op de IJssel en alleen nog afhankelijk van het verschil tussen de bodem van de IJssel in 2050 en 2015. De prognose is dat in de bodem van km 879 t/m 930 van de Boven-IJssel gemiddeld 0.19 cm per jaar daalt. Dit betekent dat in 2050 de Waalbodem gemiddeld $55 + 6.7$ (gemiddelde daling op Boven-IJssel) = 61.7 cm mag dalen t.o.v. de referentiebodembodem van 2015. Door deze aanpassing van de eis ligt de ondergrens voor “02-01 Voldoende water – Afvoerverdeling” in 2050 gemiddeld 18 cm lager dan de huidige eis voor 2021.

De prognose is dat de bodem van de Boven-Waal in 2050 gemiddeld 40 tot 60 cm zal zijn geërodeerd met uitschieters van >160 cm. Hierdoor is er in 2050 gemiddeld 1 tot 10 cm ruimte over met uitschieters naar een tekort van 20 tot 50 cm.

4.3.2 Overige aangepaste eisen

Alle overige aan te passen eisen zijn bovengrenzen, welke zijn aangepast met behulp van het verschil tussen de toekomstige en huidige referentiewaterstand:

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens} + (\text{referentiewaterstand}_{2050} - \text{referentiewaterstand}_{nu})$$

De functie ruimte voor de bovengrenzen in 2050 hangt in de nevengeulen alleen af van zowel de verandering in referentiewaterstand en dus de eis. De referentiewaterstand daalt over de meeste trajecten, waardoor de eis voor doorstroming van de nevengeulen strenger wordt en er in de nevengeulen over het algemeen in 2050 meer functieoverschrijdingen en dus minder doorstroom plaats vindt. Alleen op de gestuwde delen van de Maas en de benedenstroomse Rijn-trajecten neemt de doorstroming toe, omdat hier de referentiewaterstand stijgt door netto sedimentatie in het zomerbed of de invloed van zeespiegelstijging en het getij.

Voor de overige bovengrenzen hangt de functieoverschrijding in 2050 af van zowel de verandering van de bodem van het zomerbed als de verandering in de waterstand. Op veel van de trajecten in de Rijntakken ontstaan extra locaties met functieoverschrijding, ondanks de gemiddelde trend van bodemerosie. Dit komt doordat hier de afname in referentiewaterstand groter is dan de afname in de bodemhoogte. Op de Maas is er juist vaak een afname van het gebied met functieoverschrijding zichtbaar. Dit komt doordat er op deze trajecten over het algemeen erosie plaatsvindt en er extra ruimte ontstaat t.o.v. de eis aangezien deze trajecten ofwel worden gestuwd ofwel onder invloed zijn van zeespiegelstijging en getij waardoor de laagwaterstanden en de eis voor het vaarwegprofiel niet strenger wordt in 2050.

4.4 Toepassing op overige IRM alternatieven

Doordat de methode nu is opgezet op basis van modeluitkomsten per rivierkilometer kan later in het proces het effect van elke IRM bodem worden bepaald wanneer IRM de volgende gegevens aanlevert:

- Een raster met de toekomstige bodemligging
- De gemiddelde bodemverandering op de Boven-IJssel over rkm 879 t/m 930
- Per rivierkilometer de waterstanden van de Afvoerdistributie van het gewenste klimaatscenario i.c.m. de huidige bodemligging
- Per rivierkilometer de waterstanden van de Afvoerdistributie van het gewenste klimaatscenario i.c.m. de gewenste bodemligging

Er moet worden opgemerkt dat de beschreven aanpassing van BRL functie-eisen alleen geldig is voor de rivierfuncties in de huidige inrichting van het systeem. De BRL heeft voor het in kaart brengen van de functie-eisen immers de huidige staat van het systeem gebruikt. Voor het nulalternatief van IRM wordt alleen gekeken naar een veranderde bodem in het zomerbed. Soortgelijke alternatieven met andere snelheden van bodemerosie of met suppleties zijn met de beschreven methode door te rekenen en te beoordelen.

Echter kan de eventuele beoordeling van een nieuwe bodemligging als gevolg van nieuwe planmaatregelen als bijvoorbeeld een nieuwe nevengeul alleen plaatsvinden ten opzichte van de huidige BRL functie-eisen. De beoordeling van deze eventuele nieuwe nevengeul kan dan alleen plaatsvinden voor de eisen van de huidige oevers, keringen en kunstwerken. De stabiliteit van eventuele nieuwe of verlegde oevers en keringen en de doorstroming en aantakking van de nieuw ontworpen nevengeul kunnen niet getest worden met de BRL zonder eisen verder aan te passen of aan te vullen.

Er wordt aanbevolen om binnen de ontwikkeling van de BRL eisen te starten met het opnemen van de eis voor de aansluiting op drempels van sluizen en andere harde objecten op de niet gestuwde trajecten (zie Appendix A4).

5 Referenties

- Asselman, N., De Jong, J., Mens, M., Maarse, M., Maas, B., De Grave, P. (2022). Effectbepaling nulalternatief IRM. Deltares rapport 11208036-004-ZWS-0002 (concept)
- Wolters, H.A., Born, van den G.J., Dammers, E., Reinhard, S., 2018. Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017, Deltares, Utrecht
- De Jong, J., 2019. KBN: Bedreiging klimaatverandering - Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus. Deltares memo 11203738-005-GS-0002. 14-12-2019
- HydroLogic (2019). Effect afvoerverschuiving Pannerden op de waterbeschikbaarheid vanuit het IJsselmeer, 18 december 2019.
- HydroLogic (2020). Duiding Afvoerverschuiving op Splitsingspunt Pannerden. 17 maart 2020
- KNMI, 2015. Klimaatscenario's voor Nederland 2014. Herziene uitgave 2015
- Rijkswaterstaat, 2021. De 7 Maasstuwen. Online geraadpleegd op 10-12-2021:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/dammen-sluizen-en-stuwen/de-7-maasstuwen> .
- Sieben, A. (2021). Identificatie bodemligging die past bij referentie-afvoerdeling Basisprognose 2018. RWS-WVL, d.d. 26-01-2021
- Sloff, K., 2019. Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050. Trends voor scheepvaart en waterbeschikbaarheid. Deltares rapport : 11203738-005-8GS-0008
- Sloff, K., 2020. KBN HVWN – Stresstest droogte Maas – Bedreiging van bodemhoogteverandering voor de scheepvaart. Deltares memo 11205274-004-BGS-0007. 03-09-2020
- Sloff, K., 2021 Prognose bodemligging Maas 2050 voor IRM. Memo, d.d. 3 november 2021.
- Van der Deijl, E., Flierman, M., Berends, K & Levelt, O., 2020. BRL voldoet de actuele bodem aan de gestelde eisen? – berekeningsresultaten. PowerPoint presentatie voor IRM 31 juli 2020
- Verbeek, M. & Sieben, A. (2020). Korte notitie identificatie bodemligging die past bij referentie-afvoerdeling Basisprognose 2018. RWS-ON, RWS-WVL: d.d. 16-12-2020
- Verbeek, M. & Sieben, A. (2021). Referentiebodem en -afvoerdeling BRL. Vergelijking Basisprognose 2018 met 1D modelsimulaties. RWS-ON, RWS-WVL: dd 27-01-2021 concept.

A De BRL functie eisen

De BRL functie-eisen zijn gebaseerd op de 4 kerntaken van Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn er nog beleid overstijgende functies toegevoegd. Zo zijn alle BRL functies onderverdeeld onder de volgende 5 beleidsdoelen, namelijk:

- 1) Waterveiligheid
- 2) Voldoende water
- 3) Schoon en gezond water
- 4) Vlot en veilig verkeer over water
- 5) Beleidsdoel overstijgend

Omdat voor een aantal functies nog gewerkt wordt aan het vaststellen van de functie-eis, is de analyse tot nu toe beperkt tot de volgende functies:

- 01-01 Waterveiligheid - hoogwaterstanden
- 01-02 Waterveiligheid - stabiliteit primaire waterkeringen
- 02-01 Voldoende water - Afvoerverdeling
- 03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen
- 03-01b Schoon en gezond water - instroompunt nevengeulen
- 04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel
- 04-02 Vlot en veilig verkeer over water - diepte bij harde lagen
- 04-03 Vlot en veilig verkeer over water - vlot varen
- 04-04 Vlot en veilig verkeer over water - onbeladen vaart
- 04-05 Vlot en veilig verkeer over water - waterdiepte boven harde lagen en sluizen
- 05-01 Beleidsoverstijgend - Stabiliteit oevers en kribben
- 05-02 Beleidsoverstijgend - Dekking infrastructuur
- 05-03 Beleidsoverstijgend - Stabiliteit kunstwerken
- 05-04 Beleidsoverstijgend - Monitoring erosiekuilen
- 05-05 Beleidsoverstijgend - Erosiebestendige lagen
- 05-06 Beleidsoverstijgend - Erosiegevoelige lagen

01-01 Waterveiligheid - hoogwaterstanden

Iedere 12 jaar worden de primaire keringen getoetst op de normen zoals die zijn vastgesteld in de Waterwet. Deze toetsing wordt uitgevoerd met o.a. een bodem die van invloed is op de hoogwaterstanden welke weer van invloed is op de hydraulische belastingen. Deze bodem wordt aangeleverd door RWS WVL. In de meest recente toetsing is hierbij gebruik gemaakt van de Baseline WBI2017 bodem. Er is geen verhoging van de hoogwaterstanden t.o.v. WBI2017 door bodem veranderingen in het rivierbed toegestaan. Zodra de actuele bodem gemiddeld hoger ligt dan deze Baseline WBI2017 bodem (gemiddeld over hetzelfde gebied) is niet meer met zekerheid te zeggen dat de resultaten van de meest recente toetsing nog geldig zijn. Om deze reden is deze WBI2017 bodem gemiddeld over km-en uiterwaardvakken als bovengrens gesteld voor de eis "01-01 Waterveiligheid - Hoogwaterstanden".

Het is niet mogelijk om te zeggen wat de uitgangsbodem voor de beoordeling en het ontwerp van de primaire keringen in 2050 zal zijn. Aangezien de bedoeling van IRM is om de alternatieven te testen t.o.v. het huidige beleid is besloten om voor de IRM analyse deze eis niet aan te passen.

01-02 Waterveiligheid - stabiliteit primaire waterkeringen

Voor een robuuste en toekomstgerichte inrichting van het hoofdwatersysteem is het noodzakelijk het achterland te beschermen tegen overstromingen. Het waterschap is verantwoordelijk voor de stabiliteit van de eigen keringen. In algemene zin is er een

vergunning nodig voor graafwerkzaamheden / maatregelen die in de beschermingszone (ook wel keurzone genaamd) worden uitgevoerd. De exacte eis kan verschillen per keur. RWS is verantwoordelijk voor de stabiliteit van de eigen keringen. In de BRL is dit voor alle keringen samen geschematiseerd naar een eis voor de keurzone en naar een talud vanaf de keurzone rand van deze keringen. In de keurzone / beschermingszone wordt de referentiebodempligging (\pm bodem 2015) aangehouden als grens. Vanaf het einde van de keurzone / beschermingszone wordt een ondergrens geconstrueerd met een helling van 1:6. Voor de Rijn-Maasmonding geldt een extra eis voor het voorkomen van zettingsvloeiing: vanaf de teen van de dijk geldt een 1:20 vlak over een lengte van 200 m als ondergrens.

Aangezien het IRM nul-alternatief uit gaat van het huidige beheer is de aanname dat de oevers en keringen behouden zullen blijven. Om deze reden blijft de ondergrens "01-02 Waterveiligheid - stabiliteit primaire waterkeringen" in de huidige vorm bestaan

02-01 Voldoende water - Afvoerverdeling

Uit voorafgaande studies (Sieben, 2021; Verbeek en Sieben 2020 en 2021) is bepaald dat t.o.v. de referentiesituatie in 2015 de bodem van de Boven-Waal nog 55 cm verder mag zakken dan dat de bodem van de Boven-IJssel zakt, voordat de maximale afvoerverschuiving van 2 % (Hydrotec, 2019 en 2020) richting de Waal wordt bereikt. Dit betekent dat er bij elke mogelijke bodempligging van de IJssel een specifieke minimale bodempligging voor de Waal geldt:

$$\text{Ondergrens BovenWaal} = \text{bodem Waal}_{2015} + \Delta \text{bodem IJssel} - 55$$

Met :

$$\Delta \text{bodem IJssel} = \text{bodem IJssel}_{\text{nu}} - \text{bodem IJssel}_{2015}$$

Deze afhankelijkheid past niet in de systematiek van de BRL toepassing binnen het huidige management aangezien de BRL niet werkt met afhankelijke functie-eisen en alle eisen een op zichzelf staand 3D bodemvlak moeten zijn. Om deze reden is als basis voor de huidige BRL functie-eis de maatgevende ondergrens vanuit andere waterstand gerelateerde functie-eisen op de Boven-IJssel gebruikt. Daaruit en met het genoemde maximale zakkingsverschil is de ondergrens voor de Boven-Waal bepaald:

$$\text{Ondergrens BovenWaal} = \text{bodem Waal}_{2015} - \text{max. daling IJssel}_{2015} - 55$$

Met :

$$\text{max. daling IJssel}_{2015} = \text{bodem IJssel}_{2015} - \text{maatgevende ondergrens}_{IJssel} = -12$$

Volgens de huidige BRL eis is er op de IJssel al geen ruimte meer voor bodemdaling t.o.v. de daar geldende maatgevende ondergrenzen voor "03-01b Schoon en gezond water – instroompunt nevengeulen" en "04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen". Dit is de reden dat de Waal volgens de huidige eis voor afvoerverdeling nog maar 55-12 = 43 cm mag dalen.

De maatgevende ondergrens van de IJssel is echter niet vastgelegd anders dan in de BRL. Daarnaast zal IRM in de effectbeoordeling zelf de effecten voor de verschillende functies vergelijken, analyseren en beoordelen. Om dit goed te kunnen doen is de huidige afhankelijkheid van de eis voor afvoerverdeling t.o.v. de andere maatgevende ondergrenzen onwenselijk. Om deze reden zal de functie eis voor de afvoerverdeling voor IRM worden aangepast. De functie eis zal voor het IRM-nulalternatief afhankelijk worden gemaakt van het verschil tussen de bodem van de IJssel in 2050 en 2015, aangezien er volgens het huidige beheer nog een maximale verschuiving van 2 % in de 2015-afvoerverderling is toegestaan.

Dit betekent dat in 2050 de gemiddelde Waalbodem maximaal 55 cm extra mag zakken dan dat de gemiddelde bodem van de Boven-IJssel zakt. Voor IRM zal daarom de eis voor de afvoerverdeling als volgt moeten worden bepaald:

$$\text{Ondergrens BovenWaal}_{2050} = \text{bodem Waal}_{2015} + \Delta \text{bodem IJssel} - 55$$

Met:

$$\Delta \text{bodem IJssel} = \text{bodem IJssel}_{2050} - \text{bodem IJssel}_{2015}$$

03-01a Schoon en gezond water - connectiviteit nevengeulen

In het project Grip op Nevengeulen is de norm gesteld dat een nevengeul minimaal 335 dagen per jaar in verbinding moet staan met de rivier. Dit betekent dat de bodem van de nevengeul lager moet liggen dan een rivierwaterstand die 31 dagen per jaar wordt onderschreden. Er is voor de vertaling van deze norm naar de BRL bovengrens "03-01a Schoon en gezond water- connectiviteit nevengeulen" gekozen om de overeengekomen lage rivierstand (OLR) te gebruiken. De OLR wordt namelijk ongeveer 20 dagen per jaar onderschreden en leent zich daarmee goed voor dit doel, maar is iets strenger dan de boven genoemde signaleringswaarde voor de nevengeulen. Voor De Rijn-Maasmonding en Maas zijn de soortgelijke GLW en MLW peilen gebruikt als referentiewaterstand.

Wanneer de hele rivierbodem gaat dalen over een traject of wanneer het klimaat verandert, dan verandert ook de referentiewaterstand en daarmee dus ook de bovengrens voor de eis "03-01a Schoon en gezond water-connectiviteit nevengeulen". Omdat IRM uitgaat van het voortzetten van het huidige beheer en de referentiewaterstand eens in de 10 jaar wordt vast gesteld zal deze eis met de verwachte verandering in referentiewaterstand worden aangepast:

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens} + (\text{referentiewaterstand}_{2050} - \text{referentiewaterstand}_{2012})$$

03-01b Schoon en gezond water - instroompunt nevengeulen

De meestroomfrequentie van nevengeulen is niet alleen afhankelijk van de bodemligging van de nevengeul zelf, maar ook de rivierwaterstand en een eventuele drempel bij het instroompunt zijn van invloed. Wanneer de rivierwaterstand daalt zullen geulen minder meestromen, daarom is er ook een ondergrens ontwikkeld voor de rivierbodem in het zomerbed.

Met de vaststelling van KRW in 2009 is afgesproken dat de situatie niet mag verslechteren t.o.v. dit jaar. Het invloedgebied waar de rivierbodem van invloed is op de waterstand en de doorstroomfrequentie van de nevengeulen is gebaseerd op de halveringslengte van de stuwkromme op de Rijntakken. Volgens de stuwkromme vinden de grootste effecten plaats binnen de 20 km bovenstrooms van een verandering. De ondergrens voor de eis "03-01b Schoon en gezond water - instroompunt nevengeulen" bestaat daarom uit de per km gemiddelde bodemligging van het zomerbed tot 20 km benedenstrooms van elke nevengeul.

Deze eis gaat eigenlijk om de relatieve daling van het zomerbed t.o.v. de nevengeul. Het ligt dus eigenlijk aan de relatieve verandering van de bodem in de nevengeul t.o.v. de bodem van het zomerbed of deze eis aangepast zou moeten worden voor 2050. Echter gaat IRM uit van het huidige beheer waarin nevengeulen op hun huidige diepte worden gehouden. Dit is de reden dat deze eis niet wordt aangepast voor de IRM effect analyse.

04-01 Vlot en veilig verkeer over water - Vaarwegprofiel

Voor het in stand houden van een robuust vaarwegennet zijn er vastgestelde breedte- en dieptenormen voor toegangseuilen zeehavens-, hoofdtransportas, doorgaande hoofdvaarwegen en overige hoofdvaarwegen.

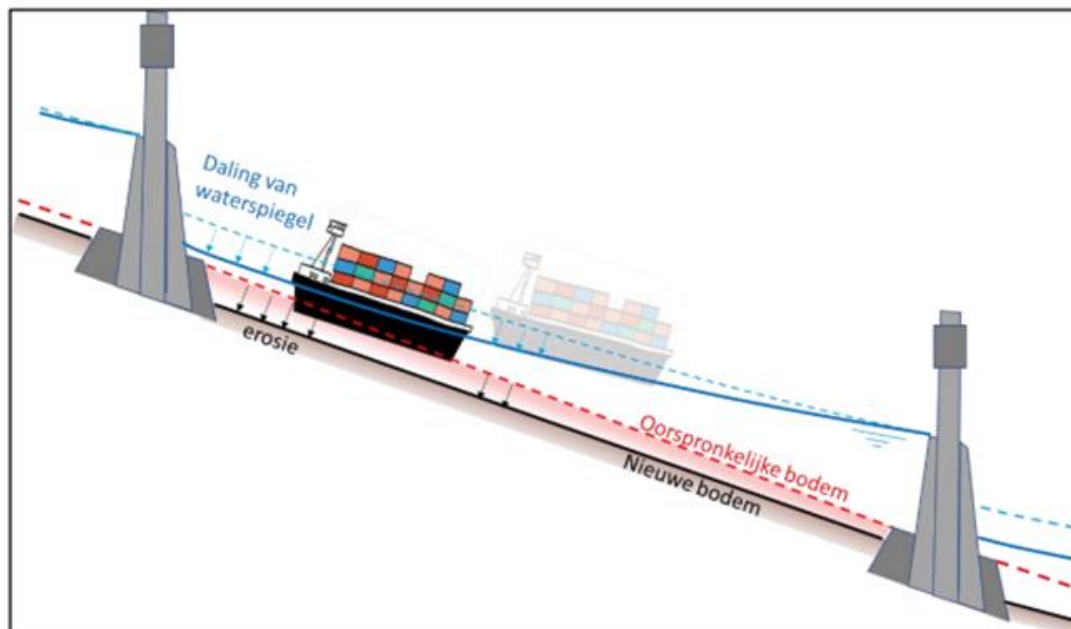
De theoretische normen voor de bovenrivieren zijn gebaseerd op afspraken gemaakt met de Centrale Commissie voor de Rijnvaart. Hierin worden dieptes afgesproken ten opzichte van de referentiewaterstand. Dit is voor de Rijnakken de Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) welke overeenkomt met de waterstand voor de Overeengekomen Lage Rivierafvoer (OLA). De waterdieptes tijdens deze referentiewaterstand vormen de basis voor de baggercontactvlakken welke rechtstreeks zijn overgenomen in de BRL bovengrens "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel". Voor de gestuwde Maas en Rijn-Maasmonding zijn de baggercontactvlakken op soortgelijke wijze samengesteld maar dan op basis van de waterdiepte tijdens de gemiddeld laagwaterstand (MLW) en voor het gebied met getijde de waterstand tijdens het gemiddeld laag water (GLW).

In 2022 worden er weer nieuwe afspraken gemaakt over de referentieafvoer in de Rijnakken en wordt de referentiewaterstand opnieuw berekend. Op basis hiervan zullen de baggerdieptes ook weer worden aangepast. Deze verwachte referentiewaterstand aanpassing en daaropvolgende aanpassing van de baggerdieptes van 2022 komt echter te laat om te verwerken in de IRM effect-analyse. Omdat IRM uitgaat van het voortzetten van het huidige beleid zal daarom de huidige eis "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel" met de verwachte verandering in referentiewaterstand worden aangepast. Dit gaat er van uit dat de benodigde waterdiepte bij de referentiewaterstand gelijk blijft.

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens} + (\text{referentiewaterstand}_{2050} - \text{referentiewaterstand}_{2012})$$

Gestuwde Maas – extra eis?

De waterstand wordt echter niet alleen bepaald door de rivierafvoer, maar ook door de bodemligging. Een te grote hoeveelheid sedimentatie en daardoor afname in waterdiepte wordt gesignaleerd door de bovengrens "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – vaarwegprofiel", maar bodemerosie niet. Over het grootste deel van de stuwpannen neemt de waterdiepte toe door eventuele grootschalige bodemerosie, maar bovenin het stuwpaand is de invloed van de stuw uitgewerkt en daalt de waterstand mee met de bodemligging (zie Figuur 5-1). De waterdiepte blijft gelijk, want de waterstand daalt in gelijke mate met de bodemligging, maar op de aansluiting met bovenstroomse sluzen kan dit mogelijk wel tot beperkingen leiden omdat de bodem van deze harde elementen (de drempel) niet mee daalt. Op dit moment zijn alleen nog de drempels van sluzen en andere harde objecten van niet gestuwde trajecten meegenomen in de BRL eis "04-02 Vlot en veilig verkeer over water – diepte bij harde lagen". Het opnemen van de minimale vaardiepte voor de drempel van stuwten staat echter nog op de BRL wensenlijst en kan daarom eventueel pas in een latere fase meegenomen worden voor de IRM analyse.



Figuur 5-1 Schematische weergave van erosie in een stuwpand, en de effecten op scheepvaart (Sloff, 2020)

04-02 Vlot en veilig verkeer over water: diepte bij harde lagen

Bij harde lagen, aansluitingen naar havens, sluisen, etc. moet er voldoende waterdiepte zijn bij de overgangen tijdens maatgevende lage waterstand. Door rivierbodemdaling daalt de waterstand, terwijl harde lagen niet mee dalen. Hierdoor neemt de waterdiepte af met een globaal bereik van de lengte van de stuwkromme. Om deze reden is in de BRL de eis “04-02 – Vlot en veilig verkeer over water: diepte bij harde lagen”. Voor deze eis mag per sluis of harde laag benedenstrooms van het object tot 20 km de bodem niet lager worden dan de gemiddelde 2012 bodem per km. De bodem van 2012 is een redelijk arbitraire keuze, zeker voor de Maas. Voor de Rijntakken is deze keuze gebaseerd op de vastlegging van de overeengekomen lage rivierwaterstand (OLR) en daarmee wordt de diepte onder de gemiddeld lage waterstand (MLW) op de vaste laag bij Nijmegen uit 2012 behouden.

Aangezien IRM voor de effectanalyse uitgaat van het huidige beheer en er binnenkort nog geen nieuwe afspraken zijn of worden verwacht voor de benodigde vaardiepte is besloten om het huidige beheer door te zetten en voor deze eis de bodem van 2012 als ondergrens te behouden.

04-03 Vlot en veilig verkeer over water - vlot varen

Voor efficiënt, veilig en duurzaam goederenvervoer dat de concurrentiekracht versterkt van mainports en maritieme sector wordt gestreefd naar 40 % kielspeling bij OLR of stuwpeil. De benodigde kielspeling (40 %) wordt berekend op basis van de veilig varen norm (“04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel”). Van deze baggervlakken wordt 40 % van de waterdiepte extra afgetrokken om tot de streefwaarde voor “04-03 Vlot en veilig verkeer over water - vlot varen” te komen. Omdat deze streefwaarde nergens hard is vastgelegd, zijn de kaarten van deze eis alleen bedoeld om inzicht te bieden en niet om op te sturen. Omdat het een streefwaarde is waar nu niet overal aan werd voldaan en deze eis ook alleen is opgesteld voor RWS ON was besloten om deze eis niet in de BRL statistieken op te nemen.

Omdat IRM uitgaat van het voortzetten van het huidige beleid en de “04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel” voor 2050 wordt aangepast met de te verwachte verandering in OLR wordt ook de eis “04-03 Vlot en veilig verkeer over water - vlot varen” op dezelfde wijze aangepast:

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens}_{nu} + (\text{OLR}_{2050} - \text{OLR}_{2012})$$

Deze streefwaarde is nergens hard vastgelegd, maar het is aan IRM om zelf de keuze te maken of deze eis ook voor 2050 van belang is, daarom is besloten om deze eis op te gaan nemen in de statistieken.

04-04 Vlot en veilig verkeer over water - onbeladen vaart

Om extra ruimte te geven aan onbeladen- en recreatievaart kunnen de stroken tussen de normaallijnen (de begrenzing van het zomerbed welke loopt over de kribkoppen of langs de gestrekte oever van de rivier) en de vaarweg gebruikt worden. Het bieden van extra ruimte voor onbeladen en recreatievaart is echter niet vastgelegd in documenten, maar het draagt wel bij aan het vergroten van de vaarwegcapaciteit. Om deze reden heeft RWS ON gevraagd om deze streefwaarde op te nemen als signalerende eis in de BRL. De huidige streefwaarde voor de bovengrens “04-04 Vlot en veilig verkeer over water - onbeladen vaart” is overgenomen van de waterdieptevierder van RWS ON. Hierin is gebruikt gemaakt van OLR en een ruimte t.o.v. dit peil variërend tussen -1,80 en 2 m voor de verschillende Rijntakken. Omdat deze streefwaarde nergens is vastgelegd, zijn de kaarten alleen bedoeld om inzicht te bieden en niet om op te sturen. Om deze reden was ook besloten om deze eis niet in de BRL statistieken op te nemen.

Voor IRM wordt ook deze eis “04-04 Vlot en veilig verkeer over water - onbeladen vaart” aangepast met de te verwachte verandering in OLR:

$$\text{bovengrens}_{2050} = \text{bovengrens}_{nu} + (\text{OLR}_{2050} - \text{OLR}_{2012})$$

04-05 Vlot en veilig verkeer over water - Diepte boven harde lagen en sluizen

Bij harde lagen en sluizen moet er voldoende waterdiepte zijn bij de maatgevende lage waterstand. De waterdiepte boven harde lagen en sluizen mag niet te weinig zijn door rivierbodemdaling benedenstrooms van de harde lagen en sluizen. Over een lengte van de stuwkromme benedenstrooms van harde lagen geldt daarom de BRL ondergrens “04-05 Vlot en veilig verkeer over water - Diepte boven harde lagen en sluizen”. Deze ondergrens is bepaald door te kijken wat het verschil is tussen de beschikbare waterdiepte op de harde laag en de geldende eis voor deze waterdiepte. Met behulp van een stuwkromme is voor elk hectometerpunt bepaald hoeveel de gehele rivierbodem benedenstrooms van dit punt nog mag dalen tot de minimale waterdiepte exact gehaald wordt.

Een belangrijk aandachtspunt is dat in de berekening van de stuwkromme er vanuit wordt gegaan dat een stuwkromme zich volledig heeft kunnen ontwikkelen. Dat betekent dat wanneer er een overschrijding zichtbaar is in de BRL, dat dit alleen tot een tekort aan waterdiepte leidt indien over de lengte van een stuwkromme de bodemerrosie aanwezig is vanaf dat punt. Anderzijds, als de BRL-eis op meerdere locaties bijna wordt overschreden (en de stuwkromme zich volledig heeft kunnen ontwikkelen), zal dit leiden tot een tekort aan waterdiepte boven de harde lagen, terwijl dit nog niet zichtbaar is in de BRL-kaarten.

De opbouw van deze eis is door het gebruik van een stuwkromme afhankelijk van zowel het verschil is tussen de beschikbare waterdiepte op de harde laag en de minimaal benodigde waterdiepte op de harde laag, als het verhang in de waterstand met elk benedenstrooms gelegen hectometerpunt. Om deze reden is voor het aanpassen van deze eis voor de IRM-effectbeoordeling de nieuwe referentiewaterstand op zowel de harde laag als elk benedenstroomse hectometerpunt nodig. Het opstellen van de stuwkrommes en maximale bodemerosie benedenstrooms van alle nu in de BRL opgenomen harde lagen en sluizen is op dit moment nog een handmatig proces en niet geautomatiseerd. Om deze reden is besloten om voor de IRM-effectanalyse de huidige eis benedenstrooms van de sluizen en harde lagen te behouden, maar om extra per individuele harde laag en sluis te kijken naar de nog beschikbare speling in 2050, zoals volgt uit de eis. Immers, wanneer de bodem van 2050 al niet voldoet aan de aangepaste eis "04-01 Vlot en veilig verkeer over water – Vaarwegprofiel", is er al onvoldoende speling op de harde laag over en mag de gehele bodem benedenstrooms van de harde laag niet meer verder dalen omdat dit tot een verergering van de situatie zou leiden.

05-01 Beleidsversterkend - Stabiliteit oevers en kribben

De oevers incl. kribben, kribvakoevers, zomerkades, langsdammen, stroomgeleidingskades, gestrekte oevers (oevers met normaalprofiel en talud 1:3 deels versterkt met steenstort) en oevers van nevengeulen moeten stabiel blijven door voldoende grondmassief onder en rondom de oever of de in stand te houden bodem ter hoogte van de erosielimietlijnen. Hiervoor geldt in de BRL de ondergrens "05-01 Beleidsversterkend - Stabiliteit oevers en kribben". Voor deze eis wordt voor de contouren van de oevers, oeverlijnen, overige genoemde objecten en de erosielimietlijnen (x, y) een hoogte toegekend aan de hand van de BRL-referentiebodembodem. Vanaf daar is een 1:3 vlak gegenereerd.

Aangezien het IRM nul-alternatief uitgaat van het huidige beheer is de aanname dat de oevers en kribben behouden zullen blijven. Om deze reden blijft de ondergrens "05-01 Beleidsversterkend - Stabiliteit oevers en kribben" in de huidige vorm bestaan.

05-02 Beleidsversterkend - Dekking infrastructuur

Er moet voldoende dekking zijn bij kabels en leidingen en tunnels onder de rivierbodembodem. Voldoende dekking voor kabels en leidingen valt onder de verantwoordelijkheid van de kabels- en leidingeigenaren, maar een goed overzicht van de minimale benodigde dekking is ook voor Rijkswaterstaat en voor IRM van belang wanneer er maatregelen worden onderzocht en is daarom binnen de BRL opgenomen als ondergrens "05-02 Beleidsversterkend - Dekking infrastructuur". Voor deze eis is afhankelijk van het type infrastructuur een vlak met een minimale hoogteligging boven het object (kabel, leiding of tunnel) bepaald om te voorkomen dat het object beschadigd raakt.

Aangezien het IRM nul-alternatief uitgaat van het huidige beheer is de aanname dat de huidige kabels en leidingen en tunnels behouden zullen blijven. Om deze reden blijft de ondergrens "05-02 Beleidsversterkend - Dekking infrastructuur" in de huidige vorm bestaan.

05-03 Beleidsversterkend - Stabiliteit kunstwerken

Rondom kunstwerken moet voldoende grondmassief zijn om de stabiliteit te garanderen. In de BRL is dit opgenomen in de ondergrens "05-03 Beleidsversterkend - Stabiliteit kunstwerken". Om de stabiliteit van kunstwerken te garanderen mag de bodemhelling om de kunstwerken niet steiler zijn dan 1 op 3. Aan de contouren van de kunstwerken is een hoogte toegekend aan de hand van de referentiebodembodem en vanaf daar is een 1:3 vlak toegepast.

Aangezien het IRM nul-alternatief uit gaat van het huidige beheer is de aanname dat de huidige kunstwerken behouden zullen blijven. Om deze reden blijft de ondergrens “05-03 Beleidsoverstijgend - Stabiliteit kunstwerken” in de huidige vorm bestaan.

05-04 Beleidsoverstijgend - Monitoring erosiekuilen

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het op orde houden van de vaargeul, maar heeft geen wettelijke verantwoordelijkheid voor natuurlijke erosie rondom eigendommen van derden. Echter, wanneer RWS aanpassingen doet in de rivier met erosie tot gevolg, heeft RWS wel een verantwoordelijkheid. Ook heeft RWS als systeemverantwoordelijk beheerder een informerende rol. Erosiekuilen zijn een gevaar voor meerdere functies, bijvoorbeeld de stabiliteit van de oevers. Vanuit de beheerders in WNZ en ZN is daarom behoefte om erosiekuilen vroegtijdig te signaleren. Hiervoor is de ondergrens “05-04 Beleidsoverstijgend - Monitoring erosiekuilen” ontwikkeld. Deze eis heeft het doel om instabiliteit en doorgroeien van erosiekuilen te signaleren. Voor de eis is een vlak begrensd op 5 m onder de vaarweg diepte (gemiddelde van het baggervlak). Voor de Grensmaas wordt een begrenzing op 2 m onder de gemiddelde diepte van de referentiebodem gehanteerd.

Deze eis signaleert het ontstaan en ontwikkelen van diepe kuilen. Voor IRM wordt gekeken naar geheel nieuwe bodemliggingen en daarom is deze eis niet van belang.

05-05 Beleidsoverstijgend - Erosiebestendige lagen

De laag basisveen (veen) en de laag van Wijchen (ziltig tot zandige klei die plaatselijk sterk humeus tot sterk venig kan zijn), worden gezien als erosiebestendige lagen. Wanneer deze erosiebestendige lagen geheel worden doorsneden en de onderliggende fijne zanden vrij komen te liggen is de kans groot dat er erosiekuilen ontstaan. Verder zullen te grote verdiepingen van de rivierbodem zoutindringing bevorderen. Om deze redenen is vanuit het beheer van de Rijn-Maasmonding gevraagd om de erosiebestendige lagen als signalerende eis op te nemen in de BRL als ondergrens voor de bodem. Dit resulteert in de ondergrens “05-05 Beleidsoverstijgend - Erosiebestendige lagen”.

Voor deze eis wordt de hoogste waarde van de top van de twee lagen (de laag van Wijchen of de laag basisveen) aangehouden. Dit is gebaseerd op de Ondergrondatlas RMM (Deltares, 2014). Bovenop deze top wordt een buffer van 0,5 m toegekend vanwege de onzekerheden in de geïnterpoleerde boringen en lokale variaties in de geologie. De eis is opgesteld voor RWS WNZ, maar de dekking van de ondergrondatlas loopt door tot in het gebied van de Maas en Rijntakken waar ook deze laag nog als eis is opgenomen.

Aangezien deze eis gebaseerd is op data van de ondergrond zal deze eis niet veranderen voor de analyses van IRM alternatieven.

05-06 Beleidsoverstijgend - Erosiegevoelige lagen

Voor de Maas is geen data beschikbaar van de dikte en hoogteligging van erosiebestendige lagen. Daarom is voor dit gebied de ondergrens “05-06 Beleidsoverstijgend - Erosiegevoelige lagen” in de BRL opgenomen. De rivierbodemligging mag de erosiegevoelige lagen niet doorsnijden, dit om erosiekuilen te voorkomen. In 2011 heeft Arcadis een Inventarisatie en interpretatie van de ondergrondgegevens van de Maas uitgevoerd en voor het jaar 2000 de dikte van de deklaag boven de top van de fijne zanden bepaald. Op basis hiervan is destijds een ondergrens voor interventie (top fijne zanden) bepaald voor delen van de Grensmaas welke nu is herleid uit die studieresultaten en is opgenomen als eis binnen de BRL.

Aangezien deze eis gebaseerd is op data van de ondergrond zal deze eis niet veranderen voor de analyses van IRM alternatieven.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl