Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Synthese BOA-onderzoeken Rijn

Ruimte voor de rivier 2.0

Rivierbodemligging Rijntakken, afvoerverdeling laag- en hoogwater, uitwerking meergeulensysteem Waal, kostenramingen, zomerbedverdieping IJssel: bevindingen van het geheel aan onderzoeken en advies voor vervolg binnen RvdR 2.0

Datum	18 december 2025
Versie	2.0
Status	Definitief eindrapport

Colofon

Uitgegeven door	RWS WVL
Auteur	Bescherming persoonlijk levenssfeer
Eindredactie	Bescherming persoonl jk levenssfeer
Informatie	Bescherming persoonlijk levenssfeer
Mobiel	Bescherming persoonlijk levenssfeer
E-mail	Bescherming persoonlijk levenssfeer
Datum	18 december 2025
Versie	2.0
Status	Definitief eindrapport

Samenvatting

Het syntheserapport voor Ruimte voor de Rivier 2.0 brengt de inzichten samen van meerdere onderzoeken naar de toekomst van het Rijnsysteem. De centrale opgave is hoe we ervoor zorgen dat het riviersysteem ook in de toekomst veilig, robuust en multifunctioneel blijft functioneren, ondanks klimaatverandering en het vaker voorkomen van extreem hoog- en laagwater.

Inleiding
Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 (RvdR2.0) richt zich op het verbeteren van vijf maatschappelijke functies van de Rijn en Maas, die steeds meer onder druk staan door hogere (piek)afvoeren, lagere en langdurige laagwaters en voortdurende rivierbodemerosie.

In het Programma onder de Omgevingswet POW IRM zijn beleidsdoelen geformuleerd voor het stabiliseren van de rivierbodem en het vergroten van afvoer- en bergingscapaciteit, waarvoor binnen RvdR2.0 op dit moment haalbare alternatieven worden onderzocht. Daarnaast is een belangrijke wens uit het Deltaprogramma Zoet Water (DPZW), het verbeteren van de afvoerverdeling bij laagwater. RvdR2.0 onderzoekt de mogelijkheden hiervan, zodat in 2026 een beleidskeuze kan worden gemaakt.

In 2024 zijn door Rijkswaterstaat onder BOA (inzet op beleidsondersteuning en advisering) onderzoeken gestart rond de maakbaarheid en haalbaarheid van alternatieven gericht op deze beleidskeuzes: rivierbodemligging Rijntakken, afvoerverdeling bij lage afvoeren, afvoerverdeling bij hoge afvoeren. Een meergeulensysteem voor de Waal is daarin als kansrijke alternatief naar voren gekomen. Van deze onderzoeken is in het voorjaar van 2025 een eerste synthese document verschenen. In 2025 is dit alternatief Meergeulensysteem Waal verder uitgewerkt door 2 onderzoeksvarianten te schetsen en deze op zijn werking en effecten te onderzoeken. Ook is voor beide onderzoeksvarianten een eerste kostenraming uitgevoerd. Tenslotte zijn in een onderzoek de huidige zomerbedverdiepingen tegen het licht gehouden, waaronder de verdieping in de Beneden-IJssel.

De onderzoeken richten zich vooral op de beleidskeuze voor de rivierbodemligging, maar benaderen die vanuit verschillende invalshoeken: van het direct tegengaan van bodemerosie met suppleties of een meergeulensysteem tot maatregelen die de afvoerverdeling bij zowel lage als hoge afvoeren verbeteren. De onderlinge samenhang is daarbij cruciaal.

Het synthesedocument vat de resultaten van deze onderzoeken samen en biedt een aangescherpte synthese op het geheel van uitkomsten. Het brengt de samenhang tussen deze onderzoeken in beeld en formuleert aanbevelingen voor een toekomstbestendig Rijnsysteem, ter ondersteuning van de besluitvorming door de Stuurgroep RvdR2.0.

Conclusies
Het stabiliseren van de rivierbodem in de Rijntakken blijkt haalbaar en kan worden bereikt door grootschalig suppleren of door de aanleg van een meergeulensysteem, al dan niet gecombineerd met suppleren. Een meergeulensysteem werkt daarbij sterker naarmate er meer ruimte beschikbaar is voor de inpassing: hoe ruimer het ontwerp, hoe effectiever bodemerosie zal worden tegengegaan en hoe groter de

bijdrage aan de rivierfuncties. In beide alternatieven speelt sedimentmanagement (suppleren, baggeren en storten) nog een belangrijke rol. Vooral bij het meergeulensysteem is de uiteindelijke omvang van het beheer en onderhoud nog onzeker.

Kostenramingen geven een indicatie van de bandbreedte van de kosten voor een meergeulensysteem op de Waal, en laten zien dat de instandhoudingskosten een grote rol spelen. Meer zicht op beheer en onderhoud kan die bandbreedte verkleinen.

De meerwaarde van een meergeulensysteem voor de Waal komt duidelijk naar voren in de verbetering van een aantal belangrijke rivierfuncties: het leidt tot hogere waterstanden bij lage afvoeren, waardoor de scheepvaart beter kan opereren; het helpt om bij laagwater meer water naar de IJssel te sturen en daarmee de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten; het verlaagt de waterstanden bij hoogwater en versterkt daarmee de waterveiligheid; en het creëert nieuw geulen- en natuurareaal dat de ecologische waterkwaliteit en het rivierenlandschap versterkt.

Voor een goede systeembalans zijn aanvullende maatregelen nodig, met name in het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel, om daar verdere bodemerosie te voorkomen en om de laagwaterverdeling dichter bij de wensen vanuit het DPZW te brengen. Daarnaast kan de zomerbedverdieping in de IJsseldelta gehandhaafd blijven. Deze verdieping voldoet aan haar beoogde functie en er zijn geen dwingende redenen om de ingreep ongedaan te maken.

Bij uitblijven van ingrepen zal de functionaliteit van het riviersysteem sterk verslechteren door aanhoudende bodemerosie, in combinatie met klimaatverandering en vaker voorkomende lage rivierafvoeren. Een meergeulensysteem vergroot in dat licht de robuustheid van het systeem, pakt de bodemerosie aan en versterkt de rivierfuncties, waardoor de toekomstige klimaatimpact kan worden gedempt of uitgesteld. Tegelijk blijft onzeker hoelang een meergeulensysteem op de Waal optimaal blijft functioneren en in welke mate het de gewenste robuustheid kan blijven bieden.

Aanbevelingen
De onderzoeksresultaten laten zien dat er twee haalbare routes zijn om de rivierbodem te stabiliseren: inzet van sedimentsuppleties als direct toepasbare maatregel op de korte termijn om de huidige situatie niet te laten verslechteren en een meergeulensysteem als structurele, robuustere oplossing. Beide opties bieden duidelijke kansen, maar brengen ook onzekerheden en beheeropgaven met zich mee. Een combinatie van correctieve maatregelen (suppleren) en inrichtingsmaatregelen, die de robuustheid van het systeem versterken (een meergeulensysteem), is daarom voor de hand liggend.

Zolang de bodem verder erodeert, verschuift de laagwaterafvoer steeds meer richting de Waal en wordt het moeilijker om de gewenste verdeling te realiseren. Suppleren is daarom op korte termijn noodzakelijk, ook om verdere bodemdaling en verslechtering van de andere rivierfuncties, zoals de bevaarbaarheid en verdroging van uiterwaarden zoveel mogelijk te voorkomen. Ook bij een keuze voor een meergeulensysteem blijft suppleren onmisbaar, omdat de aanleg en volledige werking daarvan zeker tien tot twintig jaar zal vergen en om na aanleg lokale knelpunten weg te nemen.

Een oplossingsstrategie waarbij het meergeulensysteem op de Waal centraal staat levert voor de lange termijn de grootste synergie op met de verschillende rivierfuncties, en vereist ruimte in het rivierbed. Het is daarom wenselijk om deze strategie verder uit te werken, varianten te combineren en het ontwerp te optimaliseren zodat het effect op de rivierfuncties in balans blijft en het beheer en onderhoud van oever- en uiterwaardgeulen uitvoerbaar is. Het is hierbij ten zeerste aan te bevelen het meergeulensysteem op de Waal een plek te geven in de binnendijkse ruimtevraag.

Tegelijk is het van belang om parallel een vervolgonderzoek te starten naar vergroting van de laagwaterafvoer richting de IJssel en stabilisering van de rivierbodem van het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel. Daarbij verdient het beperken van onzekerheden rond het beheer en onderhoud van een mogelijk meergeulensysteem extra aandacht.

Voor hoge afvoeren blijft het uitgangspunt “Lek ontzien” boven 16.000 m^3/s leidend. Het ligt voor de hand om bij de toekomstige afvoerverdeling uit te gaan van het effect van een meergeulensysteem op de Waal en het benodigde bereik van de regelwerken nader te onderzoeken. Deze combinatie maakt een verdeling van 80/20 haalbaar tot 17.000 m^3/s zonder grote extra investeringen en biedt op termijn—bij 18.000 m^3/s—perspectief op een verdeling richting 2/3 – 1/3.

Tenslotte zijn vanuit de verschillende onderzoeken onzekerheden en kennisleemtes geïdentificeerd die aanleiding geven voor verder onderzoek rond zaken als stabiliteit van geulen, scenarioanalyses, sedimentsamenstelling, modelinstrumentarium en effecten in benedenstrooms gebied.

Inhoud

Inhoud 6

1 Inleiding 8
1.1 Context van Ruimte voor de rivier 2.0 8
1.2 Doel van het synthesedocument 9
1.3 Context van de onderzoeken 9
1.4 Leeswijzer 10

2 Overzicht van de onderzoeken 11
2.1 Rivierbodemligging Rijntakken 11
2.1.1 Doelstellingen 11
2.1.2 Aanpak op hoofdlijnen 12
2.1.3 Belangrijkste uitkomsten 13
2.1.4 Reflectie op resultaten 17
2.2 Afvoerverdeling lage afvoeren 18
2.2.1 Doelstellingen 18
2.2.2 Aanpak op hoofdlijnen 19
2.2.3 Belangrijkste uitkomsten 19
2.2.4 Reflectie op resultaten 21
2.3 Afvoerverdeling hoge afvoeren 21
2.3.1 Doelstellingen 21
2.3.2 Aanpak op hoofdlijnen 22
2.3.3 Belangrijkste uitkomsten 23
2.3.4 Aanvullend onderzoek vanuit Meergeulensysteem Waal en inzet van regelwerken. 27
2.3.5 Reflectie op resultaten 30
2.4 Uitwerking meergeulensysteem Waal 32
2.4.1 Doelstellingen 32
2.4.2 Uitleg onderzoeksvarianten “Meergeulensysteem Waal” 32
2.4.3 Teken- en ontwerpsessies 34
2.4.4 Modelschematisatie 36
2.4.5 Effectbepaling hydraulica 37
2.4.6 Effectbepalingen morfologie 38
2.4.7 Effectbepalingen rivierfuncties 43
2.5 Kostenramingen varianten rivierbodemligging Waal 48
2.5.1 Doelstellingen 48
2.5.2 Aanpak op hoofdlijnen 50
2.5.3 Uitkomsten van de kostenraming 51
2.5.4 Conclusies tav de kostenramingen 53
2.6 Zomerbedverdiepingen 53
2.6.1 Doelstellingen 53
2.6.2 Aanpak op hoofdlijnen 54
2.6.3 Belangrijkste uitkomsten 55
2.6.4 Reflectie op resultaten 56

3 Synthese: samenhang, kansen en belemmeringen 58
3.1 Rivierbodem leidend als uitgangspunt voor een rivierenprogramma 58
3.2 Mogelijke maatregelen en alternatieven 58
3.3 Aandachtspunten bij het ontwerp van een meergeulensysteem 60

3.4 Aanvullende maatregelen 63
3.5 Reflectie vanuit scheepvaart (TEN-T-verordening) 64
3.6 Hoogwater en laagwater in samenhang 65
3.7 Integrale effectbepaling 66
3.8 Kostenramingen Suppleren en meergeulensysteem 68

4 Conclusies, advies en aanbevelingen 70
4.1 Introductie 70
4.2 Conclusies uit de onderzoeken 71
4.2.1 Sedimentsuppleties: 71
4.2.2 Meergeulensysteem 71
4.2.3 Kosteninschatting: suppleren en meergeulensysteem Waal 72
4.2.4 Effecten op de rivierfuncties 73
4.2.5 Overkoepelende conclusie 75
4.3 Advies aan het programma RvdR 2.0 76
4.4 Aanbevelingen voor verdere uitwerking 77

Referenties 81

Bijlagen 83
Bijlage A – Kostenraming: suppleties en onderhoudsvolumes per bodemalternatief Waal 83
Bijlage B – Effectentabel: effecten oplossingsrichtingen op rivierfuncties 90

1 Inleiding

1.1 Context van Ruimte voor de rivier 2.0

Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 (RvdR 2.0) richt zich voor de Rijn en de Maas op vijf rivierfuncties die om verschillende redenen onder druk staan en door ontwikkelingen in de toekomst vaker en/of grotere problemen zullen ervaren: de veilige afvoer van hoogwater, dynamisch riviersysteem met robuuste riviernatuur, robuuste waterbeschikbaarheid en (drink-) watervoorziening, vlot en veilig transport over water en ruimtelijke ontwikkelingen met versterking van de ruimtelijke kwaliteit.

Er zijn drie ontwikkelingen die de rivierfuncties in bijzondere mate negatief beïnvloed en: vaker voorkomende en hogere hoge afvoeren, vaker voorkomende en lagere lage afvoeren, en een steeds verder en ongelijkmatig uitschurende rivierbodem op de bovenstroomse delen van de Rijntakken met als gevolg een verschuiving in laagwater afvoerverdeling richting de Waal, ten koste van de IJssel.

In het Programma onder de Omgevingswet IRM (POW), dat de inhoudelijke basis vormt voor Ruimte voor de Rivier 2.0, zijn **twee beleidskeuzes** opgenomen die zich richten op de verbeteringen van de inrichting van de rivier ten behoeve van de vijf rivierfuncties.
Voor de beleidskeuze **Rivierbodemligging en sedimenthuishouding** is in het POW reeds een minimum aan verbetering vastgesteld die verdere uitwerking behoeft. De gemaakte keuze is, om:

- de rivierbodemligging te stabiliseren en waar mogelijk en nodig weer terug te brengen naar een historisch niveau.
- geen sediment meer te onttrekken uit het zomerbed (wel sedimentbeheer).

Voor de beleidskeuze **Afvoer- en bergingscapaciteit** is in het POW nog geen minimum aan verbeteringen vastgelegd. In het programma RvdR 2.0 worden hierom:

- eerdere onderzoeken naar oplossingen geïnventariseerd.
- een visie op de inrichting van het riviersysteem op de lange termijn en oplossingsstrategieën uitgewerkt (in 2025) voor de te reserveren benodigde binnendijkse ruimte die nodig is voor het vergroten van de afvoer- en bergingscapaciteit (besluit in 2026)[1].

De wens voor verbetering van de afvoerverdeling bij lage afvoeren wordt geformuleerd door het Deltaprogramma Zoet Water (DPZW). RvdR 2.0 onderzoekt in deze fase wat de maakbaarheid en effecten zijn van deze wens.

In het programma RvdR 2.0 wordt nu bepaald wat maakbare en haalbare alternatieven zijn om de gewenste verbetering te behalen. Op basis van inzichten

[1] *N.B. het programma RvdR 2.0 is voornemens om eind 2028 maatregelpakketten vast te stellen op basis waarvan projecten (buitendijks en binnendijks in relatie tot dijkversterking op de lange termijn) kunnen worden geprogrammeerd. Op basis van deze programmering kan tegen die tijd besloten worden verkenningen te starten. Het huidige besluit concentreert zich op het doen van ruimtelijke reserveringen. Het onderzoek naar ruimtelijke reserveringen valt buiten de scope van BOA-onderzoeken en wordt onderzocht door het Consortium Ruimte en Afvoercapaciteit.*

over de maakbaarheid kan in 2026 een beleidskeuze worden gemaakt voor een alternatief (met het niveau van een oplossingsstrategie), zodat op basis hiervan voorbereidingen getroffen kunnen worden richting een MIRT-traject.

1.2 Doel van het synthesedocument

In 2024 zijn door Rijkswaterstaat onder BOA (inzet op beleidsondersteuning en advisering) onderzoeken gestart rond de maakbaarheid en haalbaarheid van alternatieven gericht op deze beleidskeuzes: rivierbodemligging Rijntakken, afvoerverdeling bij lage afvoeren, afvoerverdeling bij hoge afvoeren. Een meergeulensysteem voor de Waal is daarin als kansrijke alternatief naar voren gekomen. Van deze onderzoeken is in het voorjaar van 2025 een eerste synthese document verschenen. In 2025 is dit alternatief Meergeulensysteem Waal verder uitgewerkt door 2 onderzoeksvarianten te schetsen en deze op zijn werking en effecten te onderzoeken. Ook is voor beide onderzoeksvarianten een eerste kostenraming uitgevoerd. Tenslotte zijn in een onderzoek de huidige zomerbedverdiepingen tegen het licht gehouden, waaronder de verdieping in de Beneden-IJssel.

Dit rapport biedt een aangescherpte synthese van de uitkomsten van al deze onderzoeken. Doel van dit synthesedocument is om vanuit de resultaten van de afzonderlijke onderzoeken de samenhang te bezien en te komen tot aanbevelingen richting DGWB/RvdR 2.0 rond alternatieven voor een “goed functionerend, toekomstbestendig, meervoudig bruikbaar Rijnsysteem”.

Dit rapport presenteert het beeld en bijbehorende adviezen op een inzichtelijke manier, zodat het meegenomen kan worden in de besluitvorming rond de invulling van de te nemen beleidskeuzes binnen RvdR 2.0, door de Stuurgroep in april 2026.

1.3 Context van de onderzoeken

De afzonderlijke onderzoeken rond de Rijntakken kennen elk hun eigen scope en focus. Het onderzoek rond rivierbodemligging richt zich op maakbaarheid van ingrepen waarmee de grootschalige rivierbodemerosie kan worden gestopt. Het laat conceptueel zien hoe dat met suppleren van bodemmateriaal is te bereiken, en hoe door middel van een meergeulensysteem de rivierbodemerosie uit het systeem is te halen. In de uitwerking van het meergeulensysteem Waal zijn vanuit die uitkomsten 2 onderzoeksvarianten geschetst: één met de focus op oevergeulen en één met de focus op uiterwaardgeulen. Deze zijn vervolgens hydraulische doorgerekend en van daaruit zijn effecten op het watersysteem, de morfologie en de rivierfuncties in beeld gebracht. Het onderzoek rond afvoerverdeling bij lage afvoeren laat zien via welke ingrepen bij lage afvoeren weer meer water naar de IJssel is te sturen (en tegemoet te komen aan wensen vanuit DP Zoetwater). Het onderzoek naar afvoerverdeling bij hoge afvoeren laat zien met welke ingrepen (en consequenties) het surplus boven 16.000 m^3/s is te verdelen over Waal en IJssel en hoe daarbij invulling is te geven aan het vastgestelde beleid “Lek ontzien”.

Bij het opstellen van oplossingsrichtingen is het vervolgens van belang rekening te houden met de onderlinge samenhang en raakvlakken tussen de verschillende onderzoeksresultaten en de daarin verkende maatregelen. Zo zorgen riviersuppleties voor het stabiliseren van de rivierbodem van de Waal waardoor de

verdeling bij lage afvoeren niet verder verschuift richting de Waal. Een meergeulensysteem op de Waal draagt via verruimingen bij aan stabilisering van de bodem en via versmallingen aan herstel van de afvoerverdeling bij lage afvoeren. Tegelijkertijd kan diezelfde verruiming binnen een meergeulensysteem zorgen voor extra afvoercapaciteit, waardoor bij hoge afvoeren juist meer water naar de Waal stroomt.

1.4 Leeswijzer

Doel van dit rapport is om vanuit de resultaten van een reeks samenhangende onderzoeken rondom de Rijntakken bij te dragen aan formulering van alternatieven voor een "goed functionerend, toekomstbestendig, meervoudig bruikbaar riviersysteem". Om dit navolgbaar te doen geven we hier samenvattingen van die onderzoeken, beschrijven we samenhangende inzichten, en uiteindelijk samenvattende conclusies en aanbevelingen. De opbouw van het document is als volgt:

- Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de onderzoeken die zijn uitgevoerd. Voor ieder deelonderzoek wordt ingegaan op het doel, de aanpak en de resultaten, inclusief een korte reflectie daarop.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de samenhangende inzichten vanuit de onderzoeken, vanuit de samenhang tussen de rivierbodemligging en de afvoerverdeling bij laag- en hoogwater, en vanuit specifieke uitwerkingen van een meergeulensysteem. Het hoofdstuk geeft antwoord op de vraag hoe rivierbodemerosie kan worden gestopt en welke aanvullende maatregelen nodig zijn om tot de gewenste of mogelijke afvoerverdeling hoog- en laagwater te komen. Daarbij is ook aandacht voor de effecten op o.a. de rivierfuncties.
- Hoofdstuk 4 geeft tot slot samenvattend de hoofdconclusies, aandachtspunten voor de beleidsadvisering en aanbevelingen voor aanvullend onderzoek.

Een eerste versie van het Synthese rapport is opgeleverd in het voorjaar van 2025. Op basis van de bevindingen is de studie *Uitwerking meergeulensysteem Waal* en *Kostenramingen varianten Waal* uitgevoerd in het najaar van 2025. Alle onderlinge studies worden kort samengevat (H2) en geïntegreerd (H3 & H4) in deze update van het synthesedocument.

2 Overzicht van de onderzoeken

Dit hoofdstuk geeft een samenvattende beschrijving van opzet en resultaten van de afzonderlijke onderzoeken rond rivierbodemligging, afvoerverdeling bij lage afvoeren en bij hoge afvoeren, uitwerking van een meergeulensysteem Waal, en zomerbedverdiepingen.

2.1 Rivierbodemligging Rijntakken

Dit onderzoek is uitgevoerd door Barneveld *et al.*, 2025.

2.1.1 Doelstellingen

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de effectiviteit van deze verschillende maatregelpakketten om de rivierbodemerosie op de Rijntakken tegen te gaan in combinatie met het in beeld brengen van de effecten op de rivierfuncties.

Door grootschalige bodemerosie daalt het zomerbed van de Rijntakken. Het gaat met name om de bovenstroomse trajecten: de Boven- en Midden-Waal en de Boven-IJssel. Over de afgelopen decennia varieerde de daling tussen de 1-3 meter. De oorzaak is menselijke ingrepen in het riviersysteem, zoals bochtafsnijdingen, aanleg van kribben, etc. Hierdoor is het rivierbed vernauwd en zijn stroomsnelheden in de hoofdgeul toegenomen. Dit heeft erin geresulteerd dat meer sediment wordt afgevoerd dan er bovenstrooms wordt aangevoerd. Dit leidt tot grootschalige bodemerosie, zoals die al decennia is waargenomen. Dit heeft negatieve gevolgen voor de natuur, zoetwaterbeschikbaarheid, laagwater afvoerverdeling, de bevaarbaarheid en ook op de toegang tot sluizen & havens, en dekking boven kabels en leidingen. Het leidt tot verdroging van agrarisch gebied en het droogvallen van funderingen. Klimaatverandering versterkt dit effect.

Om invulling te geven aan het beleidsbesluit ‘stoppen van de bodemerosie’ uit het POW IRM is in het uitgevoerde numerieke modelonderzoek (Barneveld *et al.*, 2025) een conceptueel uitgangspunt gehanteerd: het creëren van een constant sedimenttransport van zand en grind (beddingmateriaal) langs de riviertakken, waarbij de hierboven genoemde transportgradiënt wordt vereffend. Dat betekent dat er net zoveel sediment vanuit bovenstrooms wordt aangevoerd als er benedenstrooms wordt afgevoerd. In deze situatie zijn er geen grootschalige bodemveranderingen meer te verwachten.

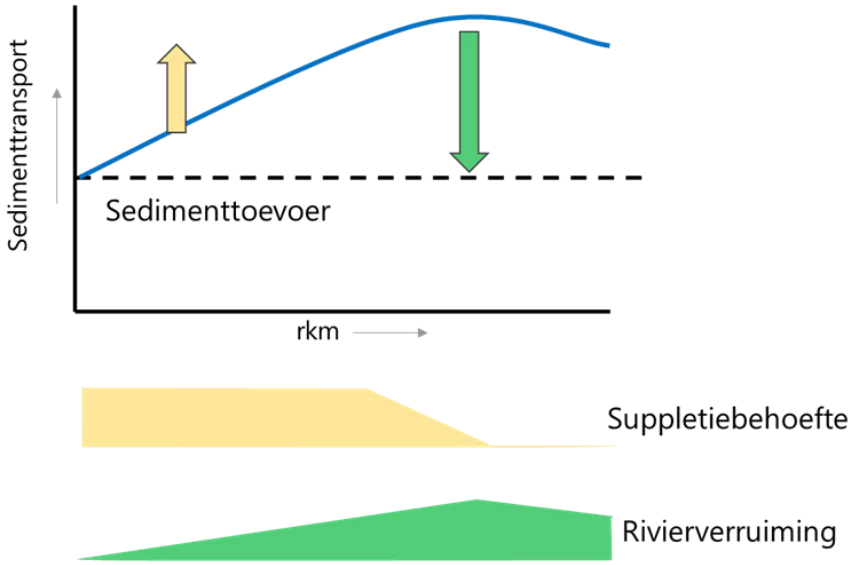
Het vereffenen van de gradiënt in sedimenttransport is op twee manieren onderzocht:

- Toevoegen van extra sediment aan de rivier door middel van suppleties.
- Verlagen van de sedimenttransportcapaciteit, door het toepassen van rivierverruiming of door vergroving van het sediment op de rivierbodem.

In de praktijk is een combinatie van beide mogelijk en aannemelijk.

In Figuur 2.1 is dit schematisch weergegeven. Een toename van het sedimenttransport langs de rivier (omhooggaande blauwe lijn) duidt op erosie, een afname (neergaande blauwe lijn) op sedimentatie. De vorm van de curve voor de sedimenttransportcapaciteit bepaalt daarmee de mate van suppleren of verruimen

die nodig is om de aan- en afvoer van sediment in balans te krijgen en de grootschalige bodemerosie te stoppen. Het jaargemiddelde sedimenttransport wordt vooral bepaald door de sedimenttransporten die optreden bij midden-afvoeren (tussen 2.000 en 6.000 m^3/s bij Lobith). Dit is het afvoerbereik dat morfologisch grote impact heeft (hoge stroomsnelheden met veel transport) en relatief vaak voorkomt.



Figuur 2.1: Conceptueel model voor het afvlakken van de sedimenttransportgradiënt langs de tak van een rivier bekeken vanuit de suppletiebehoefte versus rivierverruiming.

Op basis van dit concept zijn er verschillende maatregelpakketten gedefinieerd.

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de effectiviteit van deze verschillende maatregelpakketten om de rivierbodemerosie tegen te gaan in combinatie met het in beeld brengen van de effecten op de rivierfuncties. De 4 maatregelpakketten zijn:

- MP1: Nul-alternatief (niets doen) en tegelijkertijd de referentie om de overige maatregelpakketten mee te kunnen vergelijken.
- MP2: Alleen toevoegen van sediment (suppleren).
- MP3: Aanleg van een meergeulensysteem op de Waal – Langsdammen met oevergeulen variant: een ontwerp gericht op het zo effectief mogelijk tegengaan van de bodemerosie.
- MP 4: Maximale synergie: Aanleg van een meergeulensysteem Waal door middel van een groene variant, via een ontwerp van natuurlijke nevengeulen in de uiterwaarden, geïnspireerd door het Plan voor Levende Rivieren van het Wereld Natuurfonds (WNF).
  Dit in combinatie met aanvullende maatregelen op de IJssel: Zomerbedverbreding Boven-IJssel, of opnieuw aantakken van een oude riviermeander het Zwarte Schaar (IJssel) en daarmee verlengen van de rivier.

2.1.2 Aanpak op hoofdlijnen

De effectiviteit van de verschillende maatregelpakketten in het terugdringen van de grootschalige erosieve trend is inzichtelijk gemaakt met behulp van het morfologisch Rijntakkenmodel (DVR). Dit model is opgezet in Delft3D en voor het doorrekenen van de beoogde maatregelen verder geoptimaliseerd (Sloff *et al*., 2024) voor de situatie rond 2018. Deze schematisatie is vervolgens uitgebreid met aanpassingen in de geometrie door het toevoegen van recente en relevante gerealiseerde ingrepen in de rivieren en aanpassingen aan de sedimenttransportrelaties in het model zelf (Barneveld *et al.*, 2025).

Eén van de belangrijke beleidsuitgangspunten, beschreven in het POW IRM, is het afbouwen en stopzetten van sedimentonttrekking uit het zomerbed. De effecten van deze maatregel zijn niet onderzocht.

Op basis van de KNMI-'23 klimaatscenario's zijn afvoerstatistieken voor Lobith afgeleid. Hieruit is een gemiddelde afvoerduurlijn bepaald voor een droog, gematigd en nat scenario (Sloff en Becker, 2024). In het onderzoek is gerekend met het gematigd scenario.

De morfologische effecten van de verschillende maatregelpakketten zijn over een periode van 20 jaar doorgerekend met het Delft3D-modelinstrumentarium. Via verschillende iteratieslagen zijn de pakketten aangescherpt met als doel om de grootschalige rivierbodemerosie zo effectief mogelijk te doen stoppen.

Met het beschikbare modelinstrumentarium Delft3D bleek het niet mogelijk om het morfologisch effect van nevengeulen in de groene variant (MP4) goed in beeld te brengen. Het modelrooster in de uiterwaarden is daarvoor te grof. In het Delft3D onderzoek is daarom de schematisatie van de constructieve variant (MP3) opgenomen. Hier zijn elementen van verruwing en zomerkadeverwijdering, passend bij een meer natuurlijke herinrichting, aan toegevoegd. Dit betekende wel een sterke simplificatie van de basisgedachte van de groene variant.

Naast de morfologische effecten zijn ook veranderingen in waterstanden, waterdieptes en waterverdeling in beeld gebracht met het Delft3D-modelinstrumentarium. Gezien de onzekerheden in de hydraulische modellering in dit modelinstrumentarium zijn deze effecten kwalitatief beschouwd t.o.v. de referentie. Daarnaast is op basis van de uitkomsten van de modelvarianten een inschatting gemaakt van de aanleg- en jaarlijkse onderhoudskosten en zijn kwalitatief de effecten op de rivierfuncties beschouwd. In de vervolgfase zijn in de studie Meergeulensysteem Waal met behulp van een hydraulisch model (D-Hydro) waarbij een fijner rekenrooster is toegepast, de effecten van een natuurlijke MGS-variant met uiterwaardgeulen wél onderzocht, zie hiervoor paragraaf 2.4. Ook is in deze aanvullende studie een betere inschatting gemaakt van de effecten op de rivierfuncties en aanleg- en onderhoudskosten.

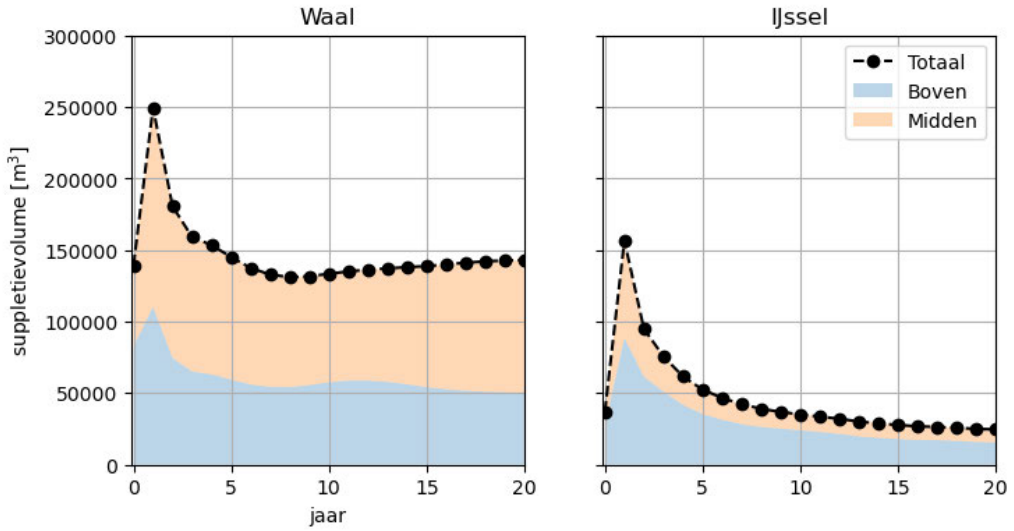
2.1.3 Belangrijkste uitkomsten

Het onderzoek laat zien dat de grootschalige bodemerosie op de Rijntakken met de doorgerekende maatregelen (zie 2.1.1.) kan worden tegengegaan. Voor MP2, MP3 en MP4 geldt dat de *lokale* rivierbodemdynamiek naar verwachting wel gaat toenemen, hetgeen resulteert in een toename aan beheerinspanning in de vaargeul en voor MP3 en MP4 ook in de nieuw aan te leggen geulen. Iedere maatregel kent een aantal voor- en nadelen. Per maatregelpakket worden de bevindingen uit het onderzoek hier verder toegelicht.

MP1: referentie
MP1 is het maatregelpakket waarbij er geen aanvullende maatregelen worden uitgevoerd (referentie situatie). Het laat de verwachting zien dat de bodemerosie onverminderd door zal gaan met negatieve effecten op de bevaarbaarheid, natuur & ecologie en de afvoerverdeling tijdens laagwater. Waterveiligheid is de enige functie die hierbij juist positief scoort.

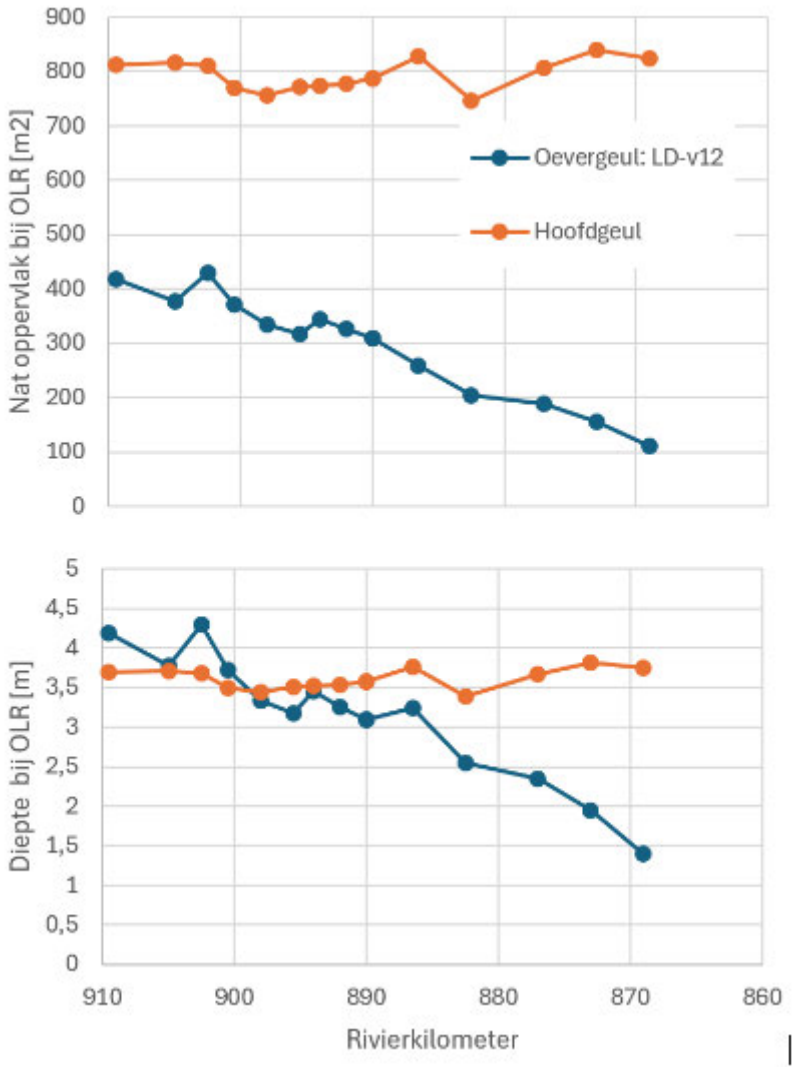
MP2: grootschalige suppleties
In de studie is gestart met het verkennen van lokale suppleties: 1. Boven-Waal direct benedenstrooms van het splitsingspunt bij de Pannerdensche Kop; 2. Op de Midden-Waal en de Midden-IJssel. Beiden bleken lokaal effect te hebben, maar bleken onvoldoende effectief om de grootschalige rivierbodemerosie op de eroderende trajecten binnen een redelijke termijn (zichtjaar 2050) te stoppen.

Door verspreid over de gehele tak in de erosieve trajecten te suppleren met materiaal met dezelfde kenmerken (korrelgroottes) als het materiaal dat van nature in het gebied voorkomt, kan de bodemerosie wél worden gecompenseerd. Dit is ook in Duitsland aangetoond door langjarige en grootschalige suppleties op bijvoorbeeld de Elbe en de Rijn. Voor de Waal stabiliseert het benodigde suppletievolume zich na ongeveer 10 jaar, met een volume van ca. 150.000 m^3/jaar. Dit volume komt overeen met de gemeten trends inclusief alle onttrekkingen. Voor de IJssel is er ca. 40.000 m^3/jaar aan suppleties nodig. Omdat suppleties de oorzaak van de grootschalige erosie niet wegnemen, blijft de opgave onverminderd bestaan en moet de maatregel permanent worden herhaald. Onderbreking of beëindiging in de toekomst is niet mogelijk.



Figuur 2.2: MP2. Door het model bepaalde stortvolumes om de bodemhoogte in de stortvakken op peil te houden, opgedeeld in bovenstroomse- en middentrajecten.

MP3: meergeulensysteem Waal met langsdammen en oevergeulen
De aanleg van een meergeulensysteem met oevergeulen en/of uiterwaardgeulen is een methode om de erosie in de hoofdgeul (het huidige zomerbed) van de rivier terug te dringen. Door een deel van de stroming via deze geulen te leiden, ontstaat er een stroomvertraging in de hoofdgeul waardoor de erosieve kracht van het water afneemt en de erosie vermindert of zelfs verdwijnt.



Figuur 2.3: Dimensies van de oevergeulen in nat oppervlak (boven) en diepte bij OLR (onder) in vergelijking met de dimensies van de hoofdgeul. Deze dimensies zijn naar schatting nodig om de transportgradiënt volledig af te vlakken en de bodemerosie te stoppen. De stroomrichting is van rechts naar links.

De Delft3D analyse toont aan dat de benodigde omvang van deze nevengeulen stroomafwaarts moet toenemen om de erosie tegen te gaan (zie Figuur 2.3). Deze toenemende verruiming is noodzakelijk om te compenseren voor de stroomafwaarts steeds fijner wordende bodemsamenstelling. De fijnere bodemsamenstelling zorgt voor een grote transportcapaciteit. Dit vraagt om steeds grotere geulen in stroomafwaartse richting om de erosie langs de gehele rivier te beheersen.

Door deze grote verruimingen zijn ook grote *lokale* morfologische effecten te verwachten waardoor het beheer en onderhoud zal toenemen, zowel in de hoofdgeul als in de oevergeulen. Het is nog onduidelijk hoe groot deze toename exact gaat worden. Daarnaast kan de ruimtelijke inpasbaarheid van de geulen een knelpunt vormen. Dit laatste aspect is onderzocht in de vervolgfase (zie 2.4).

In dit onderzoek is het meergeulensysteem doorgetrokken tot aan de huidige langsdammen bij Tiel, die als onderdeel van Ruimte voor de Rivier zijn aangelegd in 2015. De resultaten laten zien dat benedenstrooms van geulen nog doorgaande erosie is te verwachten en maatregelen daarom verder doorgetrokken zullen moeten worden tot voorbij Zaltbommel (rkm 945). Daar is historisch sprake van aanzanding en zal erosie niet leiden tot een lagere rivierbodem.

MP4: maximale synergie, met maatregelen op de IJssel
MP4 bestaat uit een meer natuurlijke variant met nevengeulen, geïnspireerd op het plan Ruimte voor Levende Rivieren van het WNF. Daarbij is de schematisatie van de constructieve variant als basis genomen en zijn elementen van verruwing en zomerkadeverwijdering toegevoegd.

Beide varianten zijn gecombineerd met maatregelen op de IJssel om de erosie op de Boven-IJssel en het Pannerdensch Kanaal te verminderen. Dit betreft:

- een zomerbedverbreding op de Boven-IJssel, *of*
- de aantakking van een oude riviermeander –en daarmee een rivierverlenging- het Zware Schaar.

Zowel de constructieve variant (MP3) als de groene variant (MP4) zijn in staat om de grootschalige erosietrend op de Waal te stoppen. Natuurlijk ingerichte uiterwaardgeulen die verder van het zomerbed liggen, zijn op hoofdlijnen echter minder effectief dan oevergeulen direct naast de hoofdgeul. Uiterwaardgeulen hebben doorgaans een kleiner verhang en worden minder diep aangelegd, waardoor minder afvoer kan worden onttrokken aan de hoofdgeul. Om dit effect te compenseren is meer verruiming nodig dan bij de constructieve variant met oevergeulen dicht langs het zomerbed. Door verschillen in lokale geometrie en rivierkenmerken is de toepassing in de praktijk complexer dan op hoofdlijnen geschetst.

Zomerbedverbreding Boven-IJssel
De zomerbedverbreding op de Boven-IJssel is primair een maatregel om meer water naar de IJssel af te voeren bij lage waterstanden en draagt beperkt bij aan het verminderen van bodemerosie. Op termijn bestaat het risico van overmatige sedimentatie, waardoor juist minder afvoer naar de IJssel gaat bij lage waterstanden. Daarnaast versterkt de maatregel de erosie in het Pannerdensch Kanaal en waarschijnlijk ook in de Midden-IJssel. Hier zouden aanvullende verruimende maatregelen nodig zijn om deze effecten te beperken. Optimalisatie kan echter zorgen voor bodemstabilisatie zonder extra sedimentatie, waardoor de maatregel juist effectief wordt om bij lage afvoeren meer water naar de IJssel te geleiden.

Het Zwarte Schaar
Het aansluiten van het Zwarte Schaar, een grote afgesneden meander op de Boven-IJssel, heeft een duidelijk stabiliserend effect op de rivierbodem van het Pannerdensch Kanaal en de Midden-IJssel doordat het waterstandsverhang en daarmee de stroomsnelheden over een groot traject afnemen. Voor maximaal effect is een regelwerk in de hoofdgeul nodig om bij middelhoge en hoge afvoeren water via het Zwarte Schaar te sturen. Bij lage afvoeren bestaat echter het risico dat de aansluiting de gewenste extra afvoer richting het IJsselmeer beperkt, wat mogelijk een aanvullend regelwerk vereist om instroming te reguleren. De maatregel biedt duidelijke kansen om de grootschalige bodemerosie rond de IJsselkop terug te dringen, maar de effecten moeten nog nader worden onderzocht.

Zowel MP3 als MP4 vragen aanvullend sedimentmanagement, zowel voorafgaand aan de aanleg van de maatregelen als na de aanleg. Oever- en uiterwaardgeulen kunnen in de loop van de tijd aanzanden waardoor de effectiviteit afneemt, of ze kunnen juist eroderen waardoor hun effectiviteit te groot wordt. Er is dus beheer nodig om de gewenste verruiming te behouden. Naarmate de geulen groter worden ontworpen, neemt de lokale bodemdynamiek en daarmee de beheerinspanning toe, zowel in de oever- en/of uiterwaardgeulen zelf als in de hoofdgeul. In de hoofdgeul vormen zich bij de ingangen van de afvoeronttrekkende geulen namelijk plaatselijke ondieptes waar de scheepvaart hinder van kan ondervinden.

2.1.4 Reflectie op resultaten

Onzekerheden in de (model)studie
De toegepaste modelschematisatie in het Delft3D-instrumentarium is in staat de grootschalige morfologische ontwikkelingen te simuleren en effecten in relatieve zin - ten opzichte van de referentiesituatie uit 2018 - te analyseren. Hierbij is vooruitgekeken over een periode van 20 jaar, uitgaande van een scenario met gematigde klimaatverandering.

Er zijn echter kanttekeningen te plaatsen bij de gebruikte schematisatie in Delft3D:

- Het model gebruikt een relatief grof rekenrooster, met name in de uiterwaarden, wat het schematiseren van uiterwaardgeulen onmogelijk maakt en ook beperkingen oplevert bij de schematisatie van de oevergeulen.
- Omdat het model het uitwisselingsproces van sediment tussen zomerbed en geulen over een drempel niet beschrijft, berekent het model zeer waarschijnlijk een te hoog aanbod van sediment naar de geulen. De berekende sedimentverdeling tussen hoofd- en oevergeul is daarom onbetrouwbaar. In de modelstudie is aangenomen dat het sedimentoverschot in de oevergeul direct wordt teruggestort in de hoofdgeul. Ook is opgelegd dat de oevergeul geen erosie kent.
- Op basis van expert judgement wordt verwacht dat de berekende jaarlijkse aanzanding in de oevergeulen (aanzienlijk) wordt overschat. Het model is gevoelig voor de aanwezigheid van de vaste lagen in het zomerbed, zoals bij Nijmegen en Erlecom. Dit leidt voor de Boven-Waal tot extra onzekerheden als de benodigde dimensies van de maatregelen alleen vanuit het model worden afgeleid.

Gevolgen voor rivierkundige effecten
Gezien bijkomende onzekerheden in het Delft3D-model ten aanzien van de hydraulische effecten is er niet gekeken naar de getalswaarde van de rivierkundige effecten, maar zijn de maatregelpakketten kwalitatief beoordeeld ten opzichte van de initiële toestand.

Gevolgen voor de kosteninschatting
Een aantal van deze modelkeuzes en aannames werkt direct door in de geschatte jaarlijkse beheerkosten. De berekende onderhoudsopgave is groot, waardoor de jaarlijkse kosten voor het meergeulensysteem (MP3 & MP4) nagenoeg gelijk uitkomen aan die voor structurele jaarlijkse sedimentsuppleties (MP2). Deze getallen zijn echter nog onzeker onder andere door:

- Het niet schematiseren van het meergeulensysteem richting Zaltbommel. Hierdoor zijn extra suppleties gesimuleerd om de bodem stabiel te houden.

- De jaarlijkse onderhoudskosten voor oevergeulen zijn gebaseerd op het baggeren van 200.000 m³/jaar uit de geulen. Deze getallen zijn erg onzeker en als overschatting beoordeeld o.b.v. expert judgement, omdat het model tekortkomingen kent in het simuleren van de oevergeuldynamiek.

Ruimtelijke inpassing
In de uitgevoerde studie is onderzocht welke dimensies een meergeulensysteem moet hebben om het volledige doelbereik te realiseren. De ruimtelijke inpasbaarheid is daarbij niet meegenomen. Daarom is besloten een vervolgstudie uit te voeren, gebaseerd op een meer realistisch en ruimtelijk inpasbaar meergeulensysteem. Zie 2.4 - Uitwerking Meergeulensysteem Waal.

2.2 Afvoerverdeling lage afvoeren

Dit onderzoek is uitgevoerd door Asselman *et al.* (2025) en Gensen *et al.* (2025).

2.2.1 Doelstellingen

Het doel van dit onderzoek is om zicht te krijgen op nodige en mogelijke maatregelen die kunnen zorgen voor herstel van de afvoerverdeling bij lage afvoeren. Onder invloed van de bodemerosie die ongelijk is op de verschillende riviertakken verschuift de waterverdeling over de splitsingspunten van de Rijntakken bij lage rivierafvoeren. Geleidelijk stroomt bij dezelfde afvoeren (gemeten bij Lobith) minder water naar de IJssel en meer naar de Waal. Dit heeft o.a. impact op het functioneren van het IJsselmeer als zoetwaterbuffer in tijden van droogte en lage rivierafvoer.

Het Deltaprogramma Zoetwater onderzoekt de wenselijke afvoerverdeling bij laagwater. Wel is duidelijk dat het verder scheeftrekken van de afvoerverdeling ongewenst is en het goed functioneren van het IJsselmeer als zoetwaterbuffer meer afvoer naar de IJssel vraagt. Een toename in IJsselafvoer gaat gepaard met een afname in Waalafvoer en mogelijk impact op de Rijn-Maasmonding. Dit vraagt een zorgvuldige afweging over de gewenste afvoerdeling.

Een verschuiving van de afvoerverdeling, waarbij minder water wordt afgevoerd via de Waal en meer naar het Pannerdensch Kanaal komt voort uit twee doelen:

1 Bij afvoeren rond de 1.100 en 1.500 m^3/s wil men meer water via de IJssel afvoeren naar het IJsselmeer om de zoetwatervoorraad op peil te houden.
2 Bij lage afvoeren (<1.300 m^3/s) wil men de flexibiliteit in de verdeling vergroten, waarbij een keuze kan worden gemaakt om de afvoer naar het IJsselmeer te sturen of de afvoer via de Nederrijn-Lek naar het westen te sturen om daar verzilting tegen te gaan.

Dit is door DPZW gedefinieerd als een minimale IJsselafvoer van 285 m^3/s bij een Boven-Rijn-afvoer van 1.300 m^3/s en behoud van 30 m^3/s als afvoer over de Nederrijn. Dat betekent dat er ten opzichte van de huidige afvoerverdeling (2024) en bij een Boven-Rijn-afvoer van 1.300 m^3/s, ongeveer 57 m^3/s meer water via de IJssel moet afstromen om de streefafvoer van 285 m^3/s te behalen. In dit onderzoek is gekeken of en op welke manier dit te realiseren is.

2.2.2 Aanpak op hoofdlijnen

Het onderzoek bestaat uit twee deelstudies. In de eerste deelstudie is nagegaan wat er in de rivier moet gebeuren om de laagwaterafvoerverdeling te beïnvloeden, met welke maatregelen dit gedaan kan worden en welke dimensies deze maatregelen moeten hebben om bovenstaand doel te bereiken. Dit is de zogeheten dimensioneringsanalyse en is uitgevoerd met een 1D hydraulisch model (zie Asselman *et al.*, 2025). Bij het tweede deel van het onderzoek - de effectiviteitsanalyse - is dieper ingegaan op de resultaten van de dimensioneringsanalyse door de effectiviteit en gevoeligheid van bepaalde maatregelen inzichtelijk te maken. Hiervoor zijn simulaties met een 2D hydraulisch model gedaan. Een kwalitatieve beoordeling is uitgevoerd naar de impact op de andere rivierfuncties waterveiligheid, bevaarbaarheid en natuur (zie Gensen *et al*., 2025).

De laagwaterafvoerverdeling is sterk afhankelijk van de ambitie om de bodemerosie te stoppen. Het uitgangspunt van het onderzoek is dat het zomerbed niet verder zakt en de focus ligt op de vraag welke elementen er in rivierinrichting nodig zijn om de voorlopig gewenste afvoerverdeling van DPZW te realiseren.

2.2.3 Belangrijkste uitkomsten

Dimensioneringsanalyse
Het beïnvloeden van de laagwaterafvoerverdeling waardoor er meer afvoer richting het Pannerdensch Kanaal gaat en via de IJssel afstroomt kan door de waterstanden bij lage afvoeren op:

I. De Boven-Waal te verhogen, waardoor er meer water naar het Pannerdensch Kanaal wordt gestuwd;
II. het Pannerdensch Kanaal en/of de Boven-IJssel te verlagen zodat deze meer water gaan trekken.

Verhogen van de waterstand op de Boven-Waal (I) kan door het doorstroomoppervlak van de Boven-Waal te verkleinen met behulp van ophoging en/of versmalling van het zomerbed. Ook verruwing van de bodem van de Boven-Waal zorgt voor een waterstandsverhogend effect. Om de waterstanden op het Pannerdensch Kanaal en/of Boven-IJssel te verlagen (II) moet het doorstroomoppervlak vergroot worden, wat kan door een verbreding van het zomerbed of aanleg van een by-pass. Eerdere onderzoeken en vuistregels geven een eerste indruk dat de afvoertoename op de IJssel als gevolg van individuele ingrepen varieert van enkele tot 15 m^3/s bij een Boven-Rijn-afvoer van 1.000 m^3/s.

Met behulp van een 1D hydraulisch model zijn maatregelen onderzocht met verschillende mate van versmalling en/of ophoging van het zomerbed van de Waal en verbreding van het zomerbed van het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel. Daarbij is er ook gevarieerd met de locatie waar de maatregel start (bij het splitsingspunt of verder benedenstrooms) en met verschillende lengtes van de maatregel. De hydraulische simulaties leiden tot de volgende conclusies:

- Ingrepen op de Waal (I) zijn het meest effectief wanneer deze worden uitgevoerd over grote lengte (> 20 km) en startend bij het splitsingspunt.
    - Versmalling van 30 m of 50 m leidt tot respectievelijk ongeveer 20 of 40 m^3/s extra IJsselafvoer.
    - Voor bodemophoging geldt de vuistregel dat elke 10 cm ophoging 6 m^3/s extra IJsselafvoer geeft.

- Maatregelen op het Pannerdensch Kanaal (II; zoals verbreding) hebben weinig (enkele m^3/s) effect door het kleine verval in gestuwde situatie;
- Verbreding van de Boven-IJssel (II) met 15 m levert ruim 20 m^3/s extra afvoer naar de IJssel.

Voor het bereiken van de (voorlopig) gewenste afvoerverdeling moet er dus grootschalig worden ingegrepen en is een combinatie van meerdere maatregelen nodig. De versmalling op de Waal is een belangrijke basismaatregel en kan aangevuld worden met andere maatregelen, zoals ophoging van het zomerbed van de Waal of verbreding van de Boven-IJssel.

Effectiviteitsanalyse
De belangrijkste maatregelen uit de verkennende dimensioneringsanalyse zijn geselecteerd. De versmalling van de Waal met 30 m vanaf de Pannerdensche Kop tot en met Tiel is ingevuld met langsdammen, waarbij de oevergeulen niet meestromen. Gecombineerd met de zomerbedophoging op de Waal en zomerbedverbreding op de IJssel is het effect op de afvoerverdeling met een 2D model bepaald. Dit levert uiteraard wat verschillen op, maar de 1D analyse blijkt een goede eerste indicatie te hebben opgeleverd van het effect (Tabel 2.1).

Tabel 2.1: Effect van verschillende maatregelen op de IJsselafvoer

Maatregel	Extra IJsselafvoer bij afvoer Lobith 1.300 m^3/s	Afvoer Lobith waarbij streefafvoer IJssel van 285 m^3/s bereikt wordt
Huidige situatie	n.v.t.	1.590 m^3/s
Versmallen Waal (30m)	+40 m^3/s	1.380 m^3/s
Versmallen (30m) en ophogen (20cm) Waal	+56 m^3/s	1.310 m^3/s
Versmallen Waal (30m) en verbreden IJssel (15m)	+60 m^3/s	1.290 m^3/s

Daarnaast zijn nog 2 andere maatregelen bekeken:
- Verruwing van de Waalbodem en een by-pass bij de IJsselkop. Verruwing van de Boven-Waal, waarbij de bodemruwheid op dit traject is verhoogd naar waarden zoals deze gebruikt worden in de schematisatie van de bodemkribben Erlecom, geeft ongeveer 20 m^3/s extra IJsselafvoer.
- Een by-pass bij de IJsselkop met een onttrekking van 25 (50) m^3/s zorgt voor ongeveer 7 (12) m^3/s verhoging in de IJsselafvoer.

Aanvullende analyses geven een beeld van de gevoeligheid van de modelresultaten. Daaruit blijkt dat de wijze waarop de stuwsturing van Driel in de huidige modellen is opgenomen, van invloed is op het effect van een maatregel op de afvoerverdeling en de vraag is of in de toekomst met een andere inrichting op dezelfde manier gestuurd wordt als nu. Daarom wordt aanbevolen zonder stuwsturing van Driel te rekenen en de Nederrijn-afvoer vast te zetten op 30 m^3/s waarmee op die tak aan de minimale afvoer wordt voldaan (zoals in bovenstaande onderzoeken). De maatregel blijft even effectief wanneer er extra afvoer bij de Nederrijn wordt doorgelaten in situaties dat extra afvoer via de Lek nodig is. De extra Nederrijnafvoer gaat voor 1/3 ten koste van de IJsselafvoer en 2/3 ten koste van de Waalafvoer.

Het wel of niet meenemen van laterale toestroming en onttrekkingen en de resolutie van het rekenrooster hebben slechts een beperkte invloed op de berekende effectiviteit van de maatregelen. Tot slot geldt dat wanneer er wél afvoer door de oevergeul van een langsdam (of nevengeul bij een natuurlijkere invulling van de versmalling) wordt gelaten, dit de effectiviteit van de versmalling sterk reduceert. In plaats van dat er bij 1.300 m^3/s Boven-Rijnafvoer ongeveer 40 m^3/s extra naar de IJssel wordt afgevoerd, gaat nog maar ruim 20 m^3/s extra naar de IJssel (in een situatie dat ongeveer 7% van de Waalafvoer door de oever- of uiterwaardgeul gaat)

Extra afvoer naar de IJssel betekent dat de streefafvoer op de IJssel wordt bereikt bij een lagere Boven-Rijnafvoer (zie tabel 2.1). Dit heeft als voordeel dat er meer stuurbereik is voor de waterbeheerder. Voor de ecologie is het voordelig omdat de Nederrijn-Lek daardoor minder vaak volledig gestuwd zal zijn.

2.2.4 Reflectie op resultaten

Een versmalling op de Waal zorgt voor extra afvoer naar het Pannerdensch Kanaal en de IJssel, maar de effectiviteit van de versmalling wordt beïnvloed door de hoeveelheid afvoer door de oever-/uiterwaardgeulen van het meergeulensysteem. Deze ontwerpkeuzes bepalen wat er aan aanvullende maatregelen nodig is en de maakbaarheid van de gewenste afvoerverdeling. Verder is het belangrijk te realiseren dat zolang de rivierbodem verder erodeert, de laagwaterafvoerverdeling verder verschuift en het complexer wordt om de voorlopig gewenste afvoerverdeling te halen. Het is dus essentieel voor de maakbaarheid van de gewenste afvoerverdeling dat de bodemerosie zo snel mogelijk wordt gestopt.
Met meer zicht op de maakbaarheid is het ook nodig dat de voorlopig gewenste afvoerverdeling vanuit DPZW tegen het licht wordt gehouden en verdere invulling krijgt.

2.3 Afvoerverdeling hoge afvoeren

Dit onderzoek is uitgevoerd door Klijn *et al.* (2024) en De Bake *et al.* (2025).

2.3.1 Doelstellingen

Het doel van dit onderzoek is:
1. Beoordelen of het principe 'Lek ontzien' nog steeds valide is.
2. Onderzoeken in hoeverre verruimingsmaatregelen bij het splitsingspunt verschillende afvoerverdelingen mogelijk maken.
3. Vanuit 1 en 2 inzicht geven in de gevolgen voor het rivierengebied en de functies.

De resultaten van dit onderzoek zijn input voor te maken keuzes rond een gewenste afvoerverdeling.

De regelwerken bij de Pannerdensche Kop en de IJsselkop borgen, naast de inrichting van het winterbed, de beleidsmatig gewenste afvoerverdeling tijdens hoogwater. In de Nota van Toelichting PKB Ruimte voor de Rivier deel 4 (2006) is deze beleidsmatige verdeling over de Waal en de IJssel bij afvoeren boven de 16.000 m^3/s bij Lobith als volgt beschreven: *'Gegeven het feit dat de Lek (en daarmee ook de Neder-Rijn) op de lange termijn wordt ontzien, zal de extra afvoer boven 16.000 m^3/s over de Waal en de IJssel moeten worden verdeeld. Dit zal*

gebeuren volgens de huidige verhouding waarin de afvoeren over Waal en IJssel worden verdeeld.'

De hier bedoelde verhouding is 10.165 / (10.165 + 2.459) = 80,52% voor de Waal en dus 19,48% voor de IJssel (orde 80% resp. 20%). Deze 80/20-verdeling is voor een Boven-Rijn afvoer van 16.000, 17.000 en 18.000 m^3/s in Tabel 2.2 weergegeven. De Lek is gemaximeerd op 3.376 m^3/s bij die vaste instellingen, daarboven neemt de afvoer naar de Lek wel toe.

Tabel 2.2: Beleidsmatige afvoerverdeling als functie van de afvoer bij Lobith (m^3/s) (PKB 2006).

Riviertak	16.000	17.000	18.000
Waal	10.165	10.970	11.775
Pan. Kanaal	5.835	6.030	6.225
Nederrijn	3.376	3.376	3.376
IJssel	2.459	2.654	2.849

In het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 wordt de afvoerverdeling bij hoogwater opnieuw beschouwd met als doel de *voor de lange termijn* maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling over de Rijntakken *bij hoge afvoeren* vast te stellen.

De Lek ontzien is daarbij nog steeds het uitgangspunt, zoals onderschreven door het Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW) in haar advies aan DGWB (ENW, 2021). Het ENW onderschrijft dat de uitgangspunten die in de PKB zijn genoemd voor het beleid 'Lek ontzien' nog steeds geldig zijn, en adviseert "om een breed vervolgonderzoek uit te voeren naar de voor de lange termijn meest wenselijke afvoerverdeling".

2.3.2 Aanpak op hoofdlijnen

In een vooronderzoek (Klijn *et al.*, 2024) is allereerst de vraag beantwoord "Is het beleid 'Lek ontzien' nog altijd valide?". Vervolgens zijn de volgende vragen beantwoord:

- Wat zijn de belangrijkste argumenten (criteria) om over de maatschappelijk meest gewenste verdeling te beslissen?
- Welke alternatieve afvoerverdelingen zijn redelijkerwijs in beschouwing te nemen, gegeven de uitgangspunten 'Lek ontzien' en het verdelen van het meerdere boven 16.000 m^3/s over Waal en IJssel volgens een verdeling 80/20?
- Met welke fysieke ingrepen kunnen de verschillende alternatieve afvoerverdelingen in het splitsingspuntengebied worden gerealiseerd?
- Wat zijn (op een kwalitatief niveau) de voor- en nadelen van die andere verdelingen, en welke consequenties hebben die, ook meer stroomafwaarts langs de riviertakken?

Kern van het verdere onderzoek is het samenstellen van maatregelpakketten waarmee verschillende verdelingen van het surplus boven 16.000 m^3/s tot stand zijn te brengen, het uitvoeren van hydraulische berekeningen met die maatregelpakketten en het beschouwen van de effecten van die

maatregelpakketten. De focus ligt daarbij op de hydraulische effecten, met een doorvertaling op basis van expert judgement naar rivierfuncties.

Het onderzoek bestaat uit vier stappen:

1. Selectie van maatregelen op basis van het voorbereidend onderzoek door Deltares.
2. Schematiseren van deze maatregelen in Baseline[2].
3. Samenstellen van maatregelpakketten, genereren van de D-Hydro[3]-schematisatie en hydraulisch doorrekenen van elk maatregelpakket.
4. In beeld brengen van de maakbaarheid van de verschillende alternatieve afvoerverdelingen, de hydraulische consequenties benedenstrooms en de effecten op andere rivierfuncties.

2.3.3 Belangrijkste uitkomsten

Bevindingen uit het vooronderzoek
In het vooronderzoek door Klijn *et al*. (2024), is nogmaals gekeken naar de houdbaarheid van argumentatie rondom het beleid "Lek ontzien". Samenvattend zijn de conclusies:

- Er zijn nog steeds vele goede redenen om de Lek te willen ontzien. En er zijn vrijwel geen redenen om daarop terug te komen.

Puntsgewijze opsomming van die redenen:

- De Nederrijn-Lek is de langste Rijntak met het geringste verhang richting zee en is daarmee een onlogische afvoerroute met beperkte afvoercapaciteit.
- De Nederrijn-Lek stroomt langs de meest kwetsbare dijkringen van het rivierengebied (waaronder Centraal Holland).
- Rivierverruiming van de Nederrijn-Lek is zeer lastig tot vrijwel onmogelijk door de fysisch-geografische gesteldheid van met name de Lek: zeer smalle uiterwaarden, dijken langs gebieden met dikke veenpakketten.
- Dijkverzwaring langs de Lek is eveneens zeer lastig door de fysische eigenschappen van de ondergrond: dikke veenpakketten met als gevolg relatieve instabiliteit van de dijken.
- Stroomafwaarts van stuw Hagestein is dijkverzwaring noodzakelijk in verband met de zeespiegelstijging en een nog zwaardere belasting door hogere rivierafvoeren is dan ongewenst.
- Het smalle winterbed maakt de Lek weinig robuust, hetgeen sneller leidt tot gevaarlijk hoge waterstanden bij kwetsbare dijkringgebieden (Alblasserwaard, Krimpenerwaard en Centraal Holland).
- De Lek mondt uit in het relatief kleine Noordelijk Deltabekken, waar de tijdelijke opslagcapaciteit gedurende een sluiting van de stormvloedkeringen relatief beperkt is. Dit geldt ook voor de Waal, maar de Lek mondt daarbij ook nog eens direct uit in de Nieuwe Maas, middenin Rotterdam en kan daar niet of alleen met zeer ingrijpende aanpassingen langs/buitenom geleid worden.

Er zijn ook goede redenen om de Waal te ontzien of om de IJssel te ontzien, maar eveneens om juist één van beide alle extra hoogwaterafvoer toe te delen. Daarom

[2] Baseline is een GIS-database en werkwijze welke gebruikt worden bij de bouw van o.a. stromingsmodellen van de rivier.
[3] D-Hydro is softwarepakket voor o.a. het simuleren van de hydraulica in de rivier.

wordt voorgesteld vijf alternatieve afvoerverdelingen nader kwantitatief te onderzoeken: van alle surplus over de Waal tot alle surplus over de IJssel.

Uit eerste rekenkundige vingeroefeningen lijkt het technisch niet onmogelijk al deze afvoerverdelingen tot stand te brengen met behulp van de regelwerken in combinatie met rivierverruiming.

Om uiteindelijk vast te kunnen stellen wélk alternatief maatschappelijk het meest gewenst is, is een beoordeling noodzakelijk van hun voor- en nadelen. Daarvoor zijn relevante criteria geïdentificeerd. Deze betreffen niet alleen het splitsingspuntengebied, maar hebben betrekking op de volle lengte van de riviertakken en de ontvangende wateren tot aan zee. Met deze criteria is ook al een eerste indruk verkregen van de voor- en nadelen van de verschillende verdelingen. Omdat echter de uiteindelijke afweging principieel een normatief karakter heeft en een breder spectrum aan criteria en te beschouwen effecten vergt dan in dit onderzoek is meegenomen, is daar in het vooronderzoek van Deltares van afgezien.

Uitkomsten van de doorrekeningen
In het onderzoek *Doorrekenen afvoerverdeling bij hoogwater* (De Bake *et al*., 2025) is ervan uitgegaan dat de toetsafvoer voor de afvoerverdeling toeneemt van 16.000 m^3/s nu naar 18.000 m^3/s straks. Daarbij is deze 2.000 m^3/s toename van de afvoer (het 'surplus') op 5 manieren over Waal en IJssel verdeeld:

- Pakket 1: 100-0-0, het volledige surplus via de Waal.
- Pakket 2: 80-0-20.
- Pakket 3: 2/3-0-1/3.
- Pakket 4: 50-0-50.
- Pakket 5: 0-0-100, het volledige surplus via de IJssel.

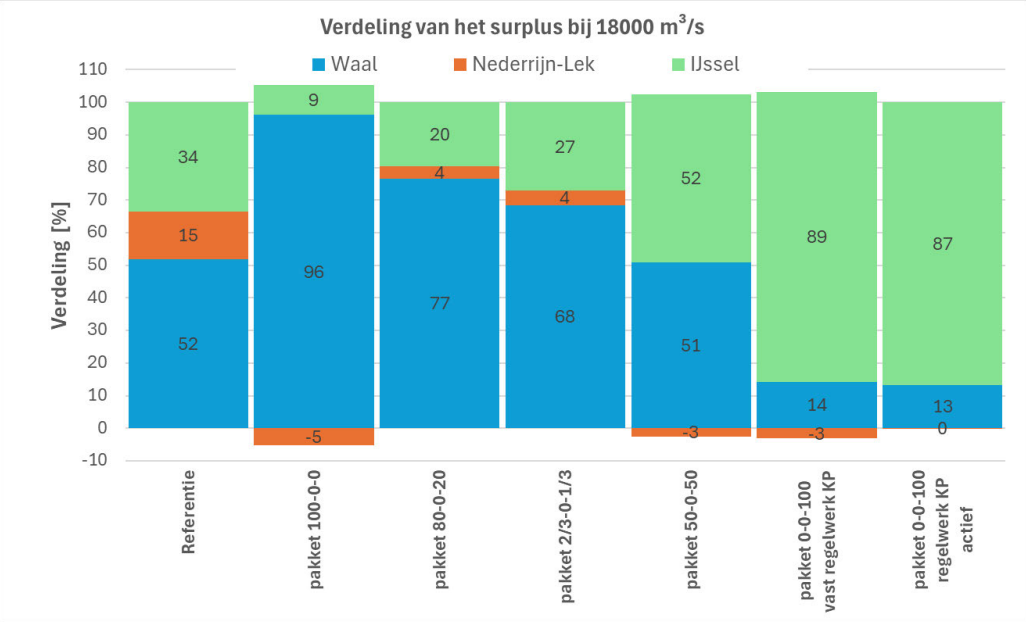
In de doorrekeningen staan voor alle verdelingen de regelwerken bij Pannerden en de Hondsbroeksche Pleij in de middenstand om zo maximaal regelbereik over te houden voor het compenseren van autonome ontwikkelingen in het rivierbed en om de vergelijking tussen de maatregelpakketten zuiver te houden.

Het gecombineerde regelbereik van de huidige regelwerken (het verschil tussen beide regelwerken dicht en beide regelwerken open) is voor de Waal in de orde van 500 m^3/s en voor de IJssel ordegrootte 200 m^3/s. Bij extreem hoge afvoeren stroomt het water over de gesloten regelwerken heen, hetgeen regelbereik maximeert.

Het onderzoek laat zien dat er qua verdeling in principe veel kan. De Lek is te ontzien, het surplus kan grotendeels naar de Waal, maar grotendeels ook naar de IJssel. Beide uiterste verdelingen vragen wel grootschalig ingrijpen langs de Boven-Waal (100-0-0) dan wel langs het Pannerdensch Kanaal en de IJssel (0-0-100). Dit heeft in het splitsingspuntengebied ingrijpende gevolgen, zowel buitendijks als binnendijks. Ook zijn er grote gevolgen voor de waterstanden benedenstrooms langs de takken en voor de ontvangende wateren. Een verdeling van het surplus tussen pakweg 80/20 en 50/50 is grotendeels via buitendijkse maatregelen te realiseren. Pakket 3 (2/3-0-1/3) is met een relatief beperkt aantal buitendijkse maatregelen langs de Waal te realiseren.

De uitgevoerde D-Hydro-berekeningen geven een goed inzicht in de omvang van de rivierverruimende maatregelen die nodig zijn om de vijf onderzochte afvoerverdelingen te realiseren. Het volledige surplus boven 16.000 m^3/s over de

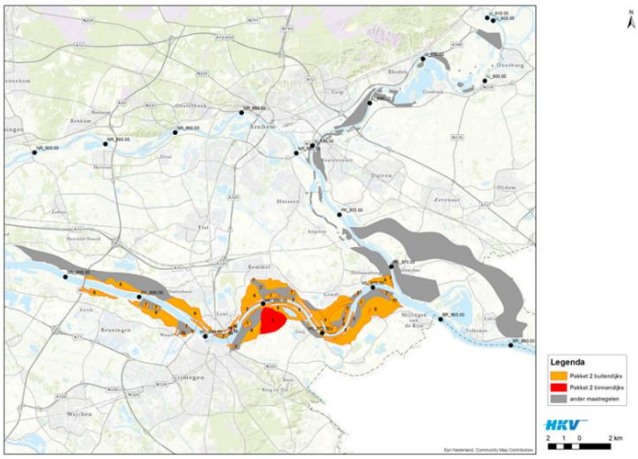
Waal sturen is met maatregelen op de Waal haalbaar, waarbij wel de kanttekening hoort dat dit aanzienlijke buitendijkse maatregelen vergt en minimaal één binnendijkse maatregel.



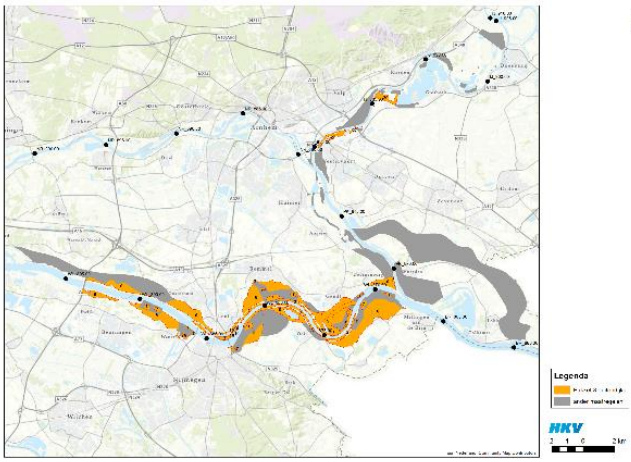
Figuur 2.4: Verdeling van het surplus bij 18.000 m³/s voor de 5 beschouwde verdelingen en de referentie. Bij alle verdelingen staan de regelwerken in de middenstand, ook in de referentie.

Het effect op de waterveiligheid is beschouwd door de waterstanden van de maatregelpakketten te vergelijken met de referentie bij een Boven-rijnafvoer van 18.000 m³/s en de regelwerken in de middenstand. Dit levert nog geen compleet beeld op, maar geeft wel aan wáár de kans op aanvullende veiligheidstekorten het grootst is ten opzichte van de huidige situatie. Langs de midden- en benedenloop van de IJssel zijn bij pakket 5 (surplus volledig over de IJssel) de uitdagingen het grootst. Hier nemen waterstanden bij een afvoer van 18.000 m³/s te Lobith ten opzichte van de referentie tot wel meer dan één meter toe, wat met zekerheid tot aanvullende dijkversterkingen zal leiden, tenzij de rivierverruimende maatregelen uit pakket 5 tot aan het Ketelmeer worden doorgezet. De Waal wordt in dit geval ontzien, wat op de Boven-Waal tot 40 cm lagere en op de Beneden-Waal en de Merwedes tot ordegrootte 25 cm lagere waterstanden leidt. Als het surplus volledig over de Waal wordt afgevoerd dan leidt dat tot significant hogere waterstanden (tot 45 cm) benedenstrooms van het splitsingspuntengebied. De IJssel krijgt in deze gevallen met minder afvoer en dus lagere waterstanden te maken, tussen de 10 cm en de 50 cm.

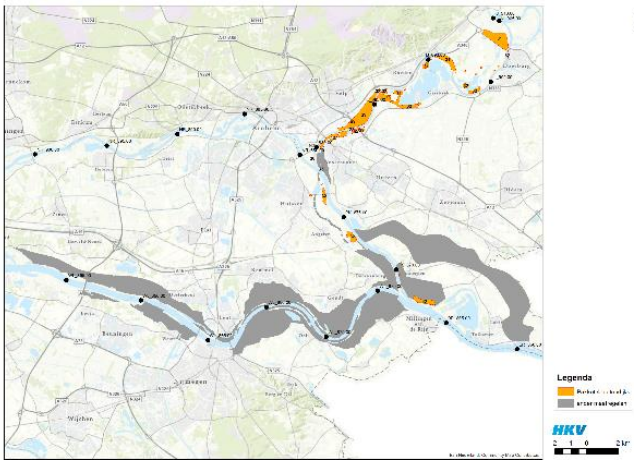
Het realiseren van een verdeling van het surplus boven 16.000 m³/s van 80-0-20 over Waal/Nederrijn-Lek/IJssel, wat we nu als beleidsmatige afvoerverdeling zien, vergt bij 18.000 m³/s omvangrijke verruimingen langs de Boven-Waal als de regelwerken in de middenstand worden gehouden (figuur 2.5.a). Tot een afvoer van 17.000 m³/s kan die verdeling ook met benutting van het regelbereik op de regelwerken worden gerealiseerd.



Figuur 2.5.a: Maatregelen (oranje: buitendijks, rood: binnendijks) die samen het geoptimaliseerd Pakket (2) 80-0-20 vormen.



Figuur 2.5b: Maatregelen (oranje: buitendijks, rood: binnendijks) die samen het geoptimaliseerd Pakket (2) 2/3 -0- 1/3 vormen.



Figuur 2.5b: Maatregelen (oranje: buitendijks, rood: binnendijks) die samen het geoptimaliseerd Pakket (2) 2/3 -0- 1/3 vormen

De verdelingen 2/3-0/1/3 en 50/0/50 vragen in toenemende mate maatregelen op de Boven-IJssel, om te zorgen dat van het surplus boven 16.000 m^3/s niet een deel richting de Lek wordt afgevoerd.

Het regelbereik op de regelwerken wordt door de aanleg van pakketten 1 t/m 4 nauwelijks beïnvloed aangezien deze pakketten geen maatregelen bevatten die de dwarsprofielen van de rivier ter plaatse van de regelwerken sterk veranderen. In pakket 5 (surplus over de IJssel) is wel een aanzienlijk effect op het regelbereik te verwachten. De dijkverlegging bij Sterreschans vergroot het dwarsprofiel precies ter hoogte van regelwerk Pannerden. Deze trekt afvoer over de linker uiterwaard en vermindert de afvoer door regelwerk Pannerden op het moment dat deze geopend is. Het regelbereik neemt daarmee (sterk) af.

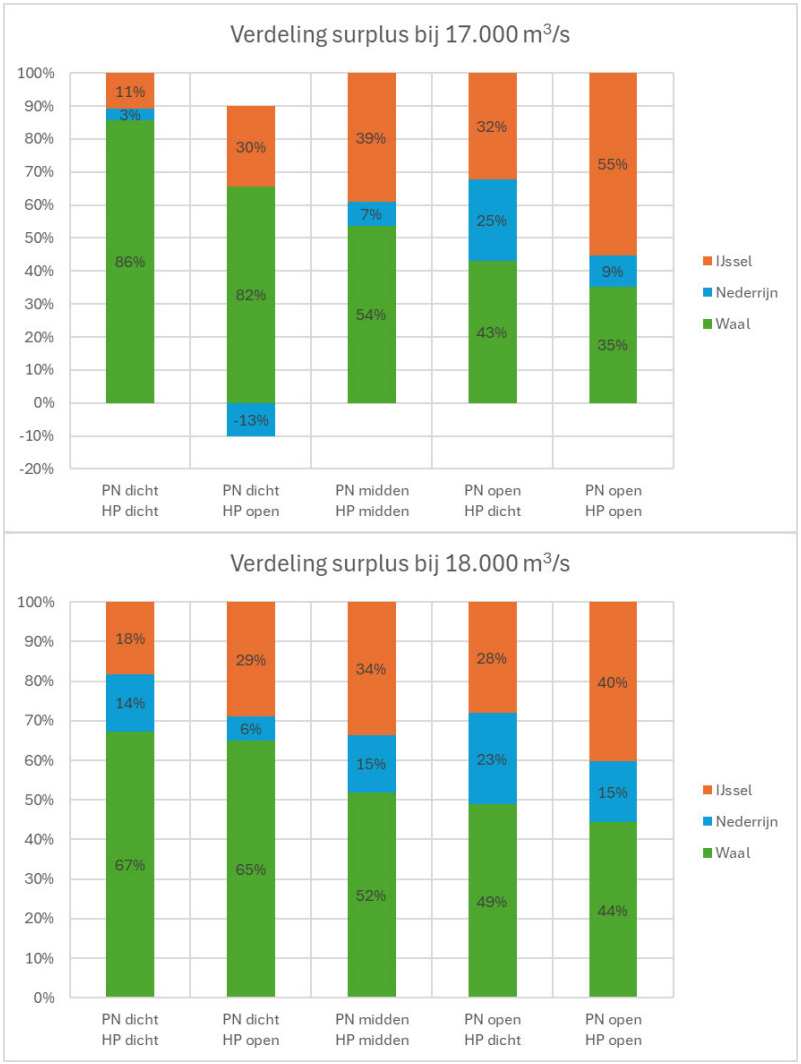
2.3.4 Aanvullend onderzoek vanuit Meergeulensysteem Waal en inzet van regelwerken.

Bovenstaande berekeningen zijn uitgevoerd met als mogelijke maatregel in de pakketten een eerste grove schets van een meergeulensysteem. Met de uitwerking van die laatste zoals beschreven in 2.4 is in beeld gebracht wat een dergelijk meergeulensysteem kan betekenen voor de afvoerverdeling, en is daarbij verder uitgewerkt wat mogelijk is met inzet van regelwerken. In hierboven gepresenteerde doorrekeningen is overal uitgegaan van regelwerken in de middenstand.

Nieuwe berekeningen meergeulensysteem Waal
In het najaar van 2025 zijn twee onderzoeksvarianten van het meergeulensysteem voor de Waal uitgewerkt en doorgerekend in De Jong *et al*. (2025) en Maas *et al*. (2025), zie ook paragraaf 2.4. Op basis van deze varianten is bepaald wat het effect kan zijn van een meergeulensysteem op de afvoerverdeling met de regelwerken in de middenstand. Uit dit onderzoek komt naar voren dat de oevergeulen bij toenemende Boven-Rijn-afvoer steeds meer water naar de Waal trekken. Het effect van de uiterwaardgeulen neemt boven 10.000 m^3/s bij Lobith daarentegen sterk af, dit heeft sterk te maken met het wel/ niet instromen over de Millingerdam in deze variant. Voor het bepalen van het effect op de afvoerverdeling bij 16.000 m^3/s en hoger wordt daarom uitgegaan van het effect van oevergeulen. Met deze MGS-variant wordt ca 200 m^3/s extra naar de Waal afgevoerd bij extreem hoge afvoeren (> 16.000 m^3/s).

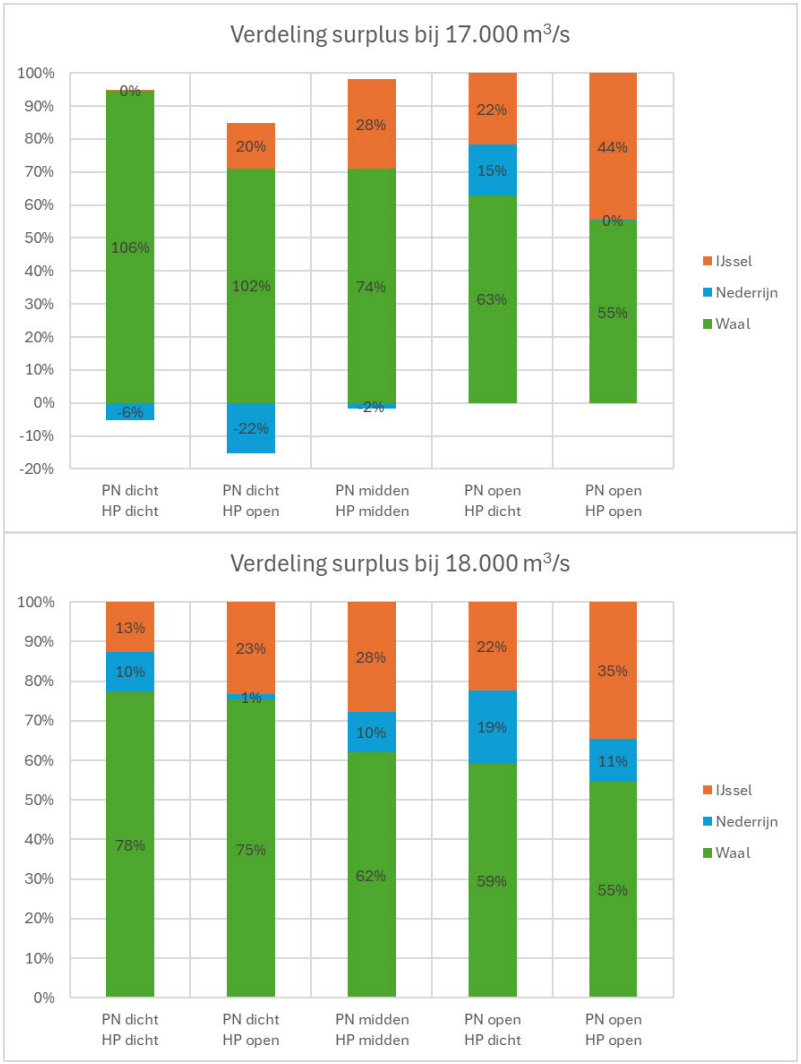
Speelruimte bij inzet van de regelwerken en een meergeulensysteem
Bovenstaande berekeningen zijn alle uitgevoerd met de regelwerken in de middenstand. Dat roept de vraag op wat mogelijk is als de regelwerken wel worden ingezet, en wat een meergeulensysteem hier aanvullend in kan betekenen.

De afvoerverdeling bij 17.000 en 18.000 m^3/s wijkt in de huidige situatie met de regelwerken in de middenstand significant af van de beleidsmatige afvoerverdeling 80-0-20. De verdeling ligt dan eerder in de orde 50-10-40 (figuur 2.6, middelste kolom). Bij de beoordeling en het ontwerp van waterkeringen geldt het uitgangspunt 80-0-20, waardoor bij een verdeling 50-10-40 de IJssel en het IJsselmeer zwaarder belast worden dan beleidsmatig voorzien.



*Figuur 2.6: Verdeling van het surplus bij 17.000 m³/s (boven) en 18.000 m³/s (onder) bij de **huidige riviergeometrie** en de regelwerken in de uiterste standen en de middenstand (PN = regelwerk Pannerden, HP = regelwerk Hondsbroeksche Pleij).*

Figuur 2.7 geeft de afvoerverdeling bij een oevergeulensysteem op de Waal en een bijbehorende verschuiving van de afvoerverdeling. Ook hierbij staan de regelwerken in de middenstand.



*Figuur 2.7: Verdeling van het surplus bij 17.000 m³/s (boven) en 18.000 m³/s (onder) bij een **riviergeometrie met oevergeulen** en de regelwerken in de uiterste standen en de middenstand (PN = regelwerk Pannerden, HP = regelwerk Hondsbroeksche Pleij).*

De beleidsmatige verdeling 80-0-20 (of een andere gewenste verdeling) kan in een aantal gevallen worden bereikt door het anders instellen van de regelwerken. Tabel 2.3 geeft een indruk met welk percentage de regelwerken gesloten moeten zijn om een bepaalde afvoerverdeling van het surplus boven 16.000 m³/s te realiseren, in de huidige situatie zonder verdere verruimingen, en in de situatie met een meergeulensysteem met oevergeulen op de Waal. De percentages in de tabellen betekenen het volgende:

- Tussen 0 en 100%: de mate waarin het regelwerk gesloten is. Een percentage van 0% betekent volledig open, 100% volledig gesloten. Dit is een maakbare instelling.
- Hoger dan 100%: om deze verdeling te bewerkstelligen moet het regelwerk verder dicht dan fysisch mogelijk is. Dit is geen maakbare instelling.
- Kleiner dan 0%: om deze verdeling te bewerkstelligen moet het regelwerk verder open dan fysisch mogelijk is. Dit is geen maakbare instelling.

De tabellen zijn samengesteld door lineair te interpoleren tussen berekeningen waarbij de regelwerken helemaal dicht of helemaal open staan (figuren 2.6 en 2.7). Dit is een benaderende methode en de percentages geven daarom slechts een orde van grootte weer, maar ze laten wel zien of een verdeling haalbaar is met alleen inzet van de regelwerken. In een vervolgfase zijn specifieke berekeningen met D-Hydro nodig om de precieze drempelhoogtes te bepalen.

Tabel 2.3: Benodigde stand van regelwerken in huidige situatie (boven) en in de situatie met langsdammen met oevergeulen en daardoor 200 m^3/s extra naar de Waal (onder). Bij 0% is het regelwerk volledig geopend, bij 100% volledig gesloten.

Huidige riviergeometrie

afvoer	regelwerk	80/20	2/3 - 1/3	50/50
16.000	Pannerden	25%	25%	25%
16.000	Hondsbr.	118%	118%	118%
17.000	Pannerden	91%	64%	34%
17.000	Hondsbr.	65%	25%	-19%
18.000	Pannerden	174%	114%	58%
18.000	Hondsbr.	30%	-54%	-147%

Riviergeometrie met een meergeulensysteem op de Waal (oevergeulen)

afvoer	regelwerk	80/20	2/3 - 1/3	50/50
16.000	Pannerden	-20%	-20%	-20%
16.000	Hondsbr.	118%	118%	118%
17.000	Pannerden	46%	19%	-11%
17.000	Hondsbr.	65%	25%	-19%
18.000	Pannerden	129%	69%	13%
18.000	Hondsbr.	30%	-54%	-147%

In tabel 2.3 is te zien dat in de huidige situatie bij 17.000 m^3/s alleen bij het regelwerk Hondsbroeksche Pleij een knelpunt bestaat. Met oevergeulen op de Waal komt daar Pannerden als knelpunt bij waardoor de verdeling 50/50 als geheel op rood gaat. Bij 18.000 m^3/s is geen van de verdelingen haalbaar zonder aanvullende maatregelen; bij iedere verdeling van de afvoer vormt minstens 1 van de regelwerken een knelpunt. Met oevergeulen op de Waal wordt de situatie iets gunstiger, maar nog steeds zijn voor elk van de verdelingen verruimingswerken in het splitsingspuntengebied nodig. De oevergeulen hebben alleen effect op de percentages bij Pannerden, niet op die bij Hondsbroek.

2.3.5 Reflectie op resultaten

Wat voor de lange termijn bij hoogwater de maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling over de Rijntakken is, is nog een open vraag. Het antwoord daarop is van grote invloed op het maatregelpakket rond de splitsingspunten en de termijn waarop dit pakket uitgevoerd moet zijn. Wijzigingen in de afvoerverdeling bij hoogwater zijn van invloed op de hoogwaterstanden in de Rijn-Maasmonding en het IJsselmeergebied. De effecten per deelgebied zijn onderling moeilijk te vergelijken en dus moeilijk tegen elkaar af te wegen. Per gebied is de ontwikkeling van de

hoogwaterveiligheid afhankelijk van scenario's (m.n. zeespiegelstijging) waar de afvoerverdeling er maar één van is.

Om ingrijpende en kostbare verruimingsmaatregelen zo veel mogelijk te voorkomen, kan gebruik worden gemaakt van de ruimte die de regelwerken bieden:

- Bij een toetsafvoer van 16.000 m^3/s is een 80/20 verdeling net niet haalbaar doordat Hondsbroek regelbereik te kort komt. Daarbij is de vraag of het zinvol is om hiervoor verruimingsmaatregelen te treffen als op termijn (in 2050?) naar een toetsafvoer van 17.000 m^3/s wordt overgegaan.
- Bij een toetsafvoer van 17.000 m^3/s zijn met de huidige inrichting van het rivierbed alle verdelingen tussen 80/20 en 50/50 zonder verruimingsmaatregelen te realiseren via instelling van de regelwerken en blijft dan ook nog (enig) regelbereik over. Voor verdelingen 100/0 en 0/100 zijn wel verruimingsmaatregelen nodig.
- Bij een toetsafvoer van 18.000 m^3/s (in 2100?) zijn voor alle verdelingen in meerdere of mindere mate verruimingsmaatregelen nodig. Vraag is of het zinvol is om hiervoor nu al maatregelen te treffen dan wel gebiedsreserveringen te maken.

Een meergeulensysteem op de Waal zou zonder aanvullende maatregelen en met de regelwerken in de middenstand leiden tot een surplusverdeling van 74-2-28 bij een afvoer van 17.000 m^3/s en een verdeling van 62-10-28 bij een afvoer van 18.000 m^3/s (figuur 2.7). Het maakt een 80/20 verdeling op de Pannerdensche kop langer maakbaar, en genereert daar meer regelbereik bij een toetsafvoer van 17.000 m^3/s.

Regelbereik op de regelwerken is voorlopig ook nog nodig, ook als de rivierbodem gestabiliseerd gaat worden, omdat:

- het realiseren van een stabiele bodemligging nog decennia kan duren;
- vegetatieontwikkeling voor veranderingen in de afvoerverdeling kan zorgen, ook met de huidige met een vegetatielegger;
- kennis- en modelontwikkeling tot significante verschillen kunnen leiden, zoals gebleken is met de overstap van WAQUA naar D-Hydro, en;
- ongelijktijdige uitvoering van verruimingsmaatregelen rond de splitsingspunten voor verstoring van de afvoerverdeling zorgen, die met de regelwerken moeten of kunnen worden opgevangen.

Voor het bepalen van de effecten van de maatregelpakketten op de waterveiligheid op de Rijntakken, de Rijn-Maas-Monding, de IJssel-Vechtdelta en het IJsselmeer is een probabilistische analyse noodzakelijk. Deze analyse is nog niet uitgevoerd.

De effecten op de zoetwaterbeschikbaarheid zijn klein bij de drie midden-pakketten. Wanneer echter het hele surplus over de Waal gaat (pakket 1) bereikt ook bij lagere middenafvoeren substantieel minder water het IJsselmeer. De maatregel "langsdammen met oevergeulen" binnen de pakketten 1 t/m 3 kan bij lage afvoeren zorgen voor meer afvoer richting de IJssel, en heeft daarmee een gunstig effect voor de zoetwaterbeschikbaarheid.

Het effect op de bevaarbaarheid is voor pakket 1 t/m 3 (met name maatregelen in de Waal) positief aangezien deze pakketten langsdammen bevatten die de waterstanden bij lage afvoeren (direct) positief beïnvloeden. Voor de hoogwatersituatie boven 16.000 m^3/s zijn varianten niet meer onderscheidend voor de bevaarbaarheid, omdat reeds bij afvoeren van 16.000 m^3/s de meeste

binnenhavens niet langer bereikbaar zijn en het transport over de Rijncorridor al is stilgelegd (Ligtenberg & Weekhout, 2025).

De grootste kansen voor natuurontwikkeling treden op in de Waal bij pakketten 1, 2 en 3 en wel vanwege de integrale uiterwaardverlaging (meer hoogdynamische natuur) en de langsdammen met een brede en ruime oevergeul voor een toename van de hydro- en morfodynamiek. Bij pakket 5 liggen de kansen met name in het Pannerdensch Kanaal met de aanleg van geulen die de hydro- en morfodynamiek kunnen verbeteren.

2.4 Uitwerking meergeulensysteem Waal

Dit onderzoek is uitgevoerd door De Jong et al. (2025) en Maas et al. (2025).

2.4.1 Doelstellingen

Het onderzoek *Meergeulensysteem Waal* is een nadere uitwerking van de varianten MP3 en MP4 die zijn onderzocht in Barneveld et al. (2025) en zijn beschreven onder 2.1. In deze studie is onderzocht in hoeverre een meergeulensysteem als concept effectief kan bijdragen aan het terugdringen van rivierbodemerosie.
In de vervolgstudie is met behulp van een eerste quickscan gekeken naar de ruimtelijke inpasbaarheid van het meergeulensysteem, waarbij rekening is gehouden met knelpunten en obstakels. Dit geeft een indicatie of een effectief meergeulensysteem daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Daarnaast is met een verfijnd rekenrooster de stroming in beeld gebracht. Dit levert informatie op voor het bepalen van de initiële morfologische respons van de rivierbodem. Langjarige bodemontwikkeling en morfologische effecten, zoals lokale erosie en sedimentatie, zijn in deze studie niet onderzocht.

Samenvattend bestaat de studie uit:

1. Het ontwerpen van een meer realistisch ruimtelijk inpasbaar meergeulensysteem (MGS) op de Waal, gericht op het terugdringen van de grootschalige rivierbodemerosie, gebaseerd op twee sterk onderscheidende onderzoeksvarianten:
    - Variant UG: focus op uiterwaardgeulen met kribverlenging
    - Variant OG: focus op oevergeulen met langsdammen
2. Het bepalen van de initiële effecten op de morfologie[4]:
    - In hoeverre wordt de grootschalige bodemerosie teruggedrongen?
3. Het bepalen van de effecten op de rivierfuncties om een doorkijk te kunnen maken naar optimalisatie of te maken keuzes.
4. Informatie aanleveren voor het bepalen van aanleg- en onderhoudskosten.
    - Maatschappelijke baten zijn in deze fase nog niet in beeld gebracht.

2.4.2 Uitleg onderzoeksvarianten "Meergeulensysteem Waal"

Het concept van het meergeulensysteem bestaat uit verruiming én versmalling over een het gehele erosieve traject: vanaf de Pannerdensche Kop tot aan Zaltbommel, in totaal ca 70 km.

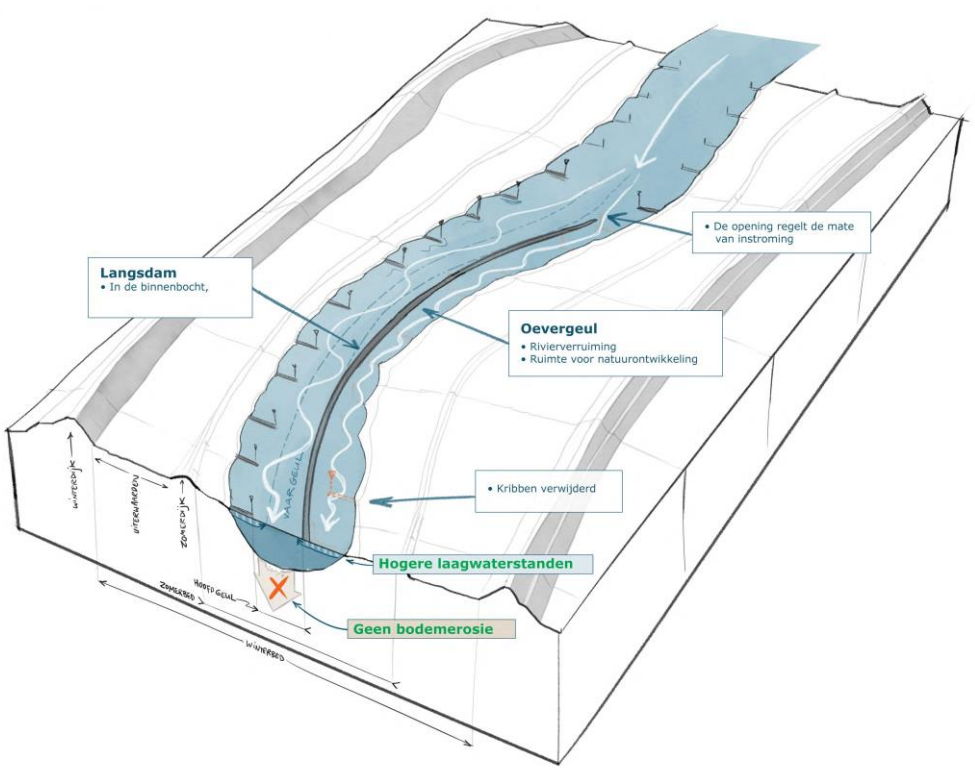
[4] Er is geen morfologische modelstudie uitgevoerd. Daarom kan er op basis van deze studie geen kwantitatief beeld geschetst worden over langjarige morfologische veranderingen.

Om in deze fase een beeld te krijgen van de mogelijkheden zijn twee onderzoeksvarianten opgesteld, die wezenlijk van elkaar verschillen om meer grip te krijgen op de werking, de effectiviteit en gevoeligheden van een meergeulensysteem:

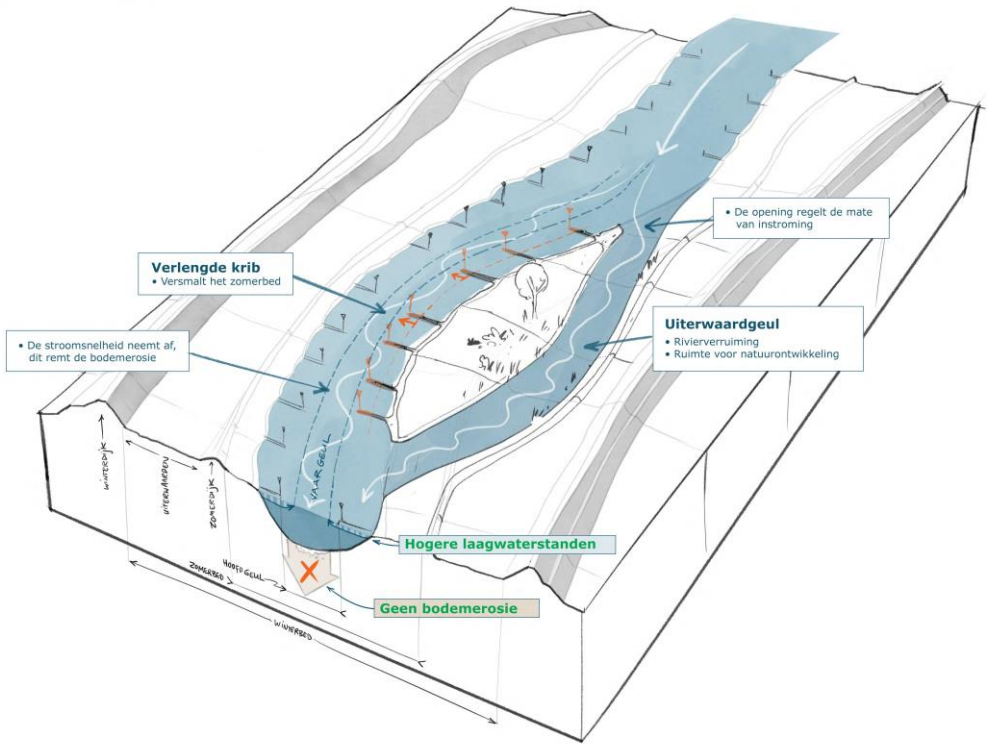
- Oevergeulen (OG, figuur 2.8). Hierbij wordt een langgerekte (stenen) dam in de rivier aangelegd en de bestaande kribben verwijderd. Daarmee ontstaat een parallel gelegen oevergeul die het zomerbed verbreedt tijdens hogere rivierafvoeren. Om tegelijktijdig de waterstand bij lage afvoeren te verhogen wordt de hoofdgeul versmald door de langsdam bij de oevergeulen rivierwaarts te plaatsen. Een voorbeeld zijn de langsdammen bij Tiel.
- Uiterwaardgeulen (UG, figuur 2.9): Er wordt een nevengeul aangelegd die de uiterwaard inloopt. De kribben blijven behouden en worden verlengd waardoor de hoofdgeul wordt versmald.

NB: Binnen de UG-variant is bewust gekozen voor "behoud van kribben". Langsdammen zijn een ingrijpende landschappelijke maatregel. Het doel van deze variant is dan ook om te onderzoeken of verlengde kribben net zo effectief zijn.

Er wordt nu nog geen keuze gemaakt tussen de twee varianten. Het doel is om te onderzoeken hoe een meergeulensysteem werkt binnen een bepaalde bandbreedte. Daarom zijn deze twee varianten gekozen als onderzoeksvarianten die wezenlijk verschillen qua opzet. In de praktijk zijn er combinaties van elementen en/of andere varianten mogelijk, die ook effectief en inpasbaar zijn.



Figuur 2.8: Meergeulensysteem Waal – Variant oevergeul met langsdammen.



Figuur 2.9: Meergeulensysteem Waal – Variant uiterwaardgeul met verlengde kribben.

2.4.3 Teken- en ontwerpsessies

Per variant zijn tekensessies gehouden waarbij het ontwerpen van een zo realistisch mogelijk ruimtelijk inpasbaar meergeulensysteem op de Waal, centraal stond. Bij de tekensessies waren vertegenwoordigers van Waterschap Rivierenland, Provincie Gelderland, Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Staatsbosbeheer, Deltares en RWS WVL aanwezig.

Voorafgaand aan het ontwerpproces zijn de volgende uitgangspunten vastgesteld om de haalbaarheid en inpasbaarheid van het MGS te garanderen:

- Traject: het MGS wordt ontworpen voor nagenoeg het gehele traject van de Waal, vanaf de Pannerdensche Kop tot aan Zaltbommel (ongeveer 70 km).
- Basisligging: de ligging is gebaseerd op de eerdere studie van Barneveld et al. (2025), zie onderstaande figuren. Hierbij liggen de langsdammen en verlengde kribben in de binnenbocht om de diepere delen van de rivier te ontzien vanwege bouwtechnisch redenen en omdat de diepere delen worden gebruikt voor de scheepvaart.
- Dijken: de verruiming vindt buitendijks plaats; er worden geen dijken verlegd, ook al zou dit op sommige locaties wenselijk kunnen zijn.
- Ruimtelijke inpassing op basis /de aanwezigheid van:
    - Beschermingszones en specifiek kwelgevoelige gebieden om toename van kwel en piping bij de dijken zoveel mogelijk te voorkomen.
    - Specifieke hoge natuurwaarden/ecologische kwaliteit in de uiterwaarden.
    - Eisen vanuit erosielimietlijnen (RWS Vegetatielegger)
    - Landschappelijke, recreatieve en archeologische waarden.

    - Grootschalige bodemverontreinigingen, zoals bekende afgedekte vuilstortlocaties.
    - Moeilijk te verleggen kabels en leidingen.
    - Gebiedsontwikkelingen die in vergevorderd stadium zijn van vergunningverlening waarbij aanpassing lastig of zelfs niet meer mogelijk is.
- Infrastructuur: Geulen doorsnijden geen havens en bestaande hoogwatervrije vlakken.
- Hydro-morfologisch:
    - Bij de vaste lagen in de hoofdgeul worden geen langsdammen met oevergeulen ontworpen.
    - Bij de aanleg van oevergeulen worden bestaande oeverwallen ontzien.
    - Er worden geen zomerdijken en kades verplaatst bij uiterwaardgeulen. Op enkele locaties worden ze wel doorsneden in de schematisatie.
    - Erosie bij hoogwater: scherpe bochtafsnijdingen door geulen worden vermeden.
    - Continuïteit van de geulen (instroom volgt na uitstroom) wordt zoveel mogelijk nagestreefd, waarbij overlap en/of delen zonder verruiming (hiaten) zoveel mogelijk wordt vermeden.
    - Dwarsstromingen: er is rekening houden met het minimaliseren van dwarsstromingen door een doordachte ligging van de geulen.
    - Er is in deze fase nog geen rekening gehouden met ijsgang.



Figuur 2.10: Ligging van de uiterwaardgeulen met kribverlenging gebruikt als uitgangspunt voor de ontwerp- en tekensessies.



Figuur 2.11: Ligging van de oevergeulen met langsdammen gebruikt als uitgangspunt voor de ontwerp- en tekensessies.

Hoewel dit geen absolute, onwrikbare criteria waren (aanpassingen en/of afwijkingen zijn mogelijk in nadere uitwerkingen), boden ze houvast om in deze fase te komen tot een zo realistisch mogelijk ontwerp zonder rigoureuze bijkomende ingrepen.

De tekensessies hebben geleid tot een breed overzicht van belangen, technische mogelijkheden, aandachtspunten en beperkingen voor de ruimtelijke inpassing van de oever- en uiterwaardgeulen. De uitkomsten vormen een belangrijke basis voor verdere uitwerking en besluitvorming rondom het meergeulensysteem langs de Waal en zijn in meer detail vastgelegd in De Jong et al. (2025).

2.4.4 Modelschematisatie

De ruimtelijke schetsontwerpen zijn uitgewerkt tot Baseline-schematisaties. Voor elke variant is een afzonderlijke schematisatie opgesteld. Deze vormen de basis voor de hydraulische doorrekeningen in D-Hydro. Hieronder zijn de belangrijkste uitgangspunten bij het schematiseren van de varianten opgenomen. Ze zijn van belang om de uiteindelijke (model)resultaten goed te kunnen interpreteren.

De Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) is de waterstand die is vastgesteld voor een afvoer van 1.020 m^3/s bij Lobith. Dit referentieniveau geldt per locatie langs de rivier, waarbij 2022 als referentiejaar wordt gebruikt.

Onderzoeksvariant UG: uiterwaardgeulen met verlengde kribben
Voor het ontwerpen van de uiterwaardgeulen is gebruik gemaakt van een vast talud en een vaste diepte (OLR-1m). De bodembreedte van de geul varieert om te voldoen aan de benodigde onttrekking aan de hoofdgeul. De benodigde onttrekking, is bepaald in de voorgaande studie (Barneveld et al., 2025), waarbij toenemende verruiming in stroomafwaartse richting een belangrijk aandachtspunt is. De instroomdrempels van de geulen ligt aan de bovenstroomse zijde en hebben overal een hoogte van OLR. Verdere ecologische detaillering ten aanzien van de vormgeving van de geulen, de overgangen naar het land, etc. is nog niet verwerkt in deze fase.

Tabel 2.4: Breedte van de geulbodem per deel van de Waal.

Rivierkilometer	**Bodembreedte (gemiddeld)**
> 920	200
910 – 920	175
900 – 910	150
890 – 900	100
868 – 890	70

Voor deze aanpak is gekozen om:
- het schematiseren van een groot aantal geulen efficiënt te laten verlopen;
- meer dan voldoende detail te bieden voor een morfologische verkenning op het trajectniveau van de Waal;
- voldoende ruimte te creëren om in een vervolgfase het ontwerp te differentiëren en te optimaliseren.

De hoofdgeul is 30 meter versmald door verlenging van de bestaande kribben. De huidige afmetingen van de hoofdgeul laten deze versmalling in principe toe, zonder dat er naar de nautische veiligheid is gekeken op iedere locatie. Eenzelfde mate van versmalling (30 meter) is toegepast bij de aanleg van de langsdammen bij Tiel. De kribhoogte blijft in deze fase ongewijzigd.

Op specifieke locaties bleek het niet inpasbaar om de uiterwaardgeul over de volle lengte aan te leggen. Dit heeft geresulteerd in onderbrekingen waarbij de uitstroom van de ene geul niet direct aansluit op de volgende. Er is bewust gekozen om deze hiaten niet te corrigeren. Het doel hiervan is om in het onderzoek de rivierkundige effecten van deze kleine, niet-verruimde tussenstukken (waar de uiterwaardgeul ontbreekt) op het eindresultaat van de totale rivierverruiming mee te nemen. En daarmee een indruk te krijgen van de gevoeligheid van de morfodynamiek. In een vervolgfase kan dit leiden tot een noodzakelijke verbeterstap.

Onderzoeksvariant OG: oevergeulen met langsdammen
De breedte en diepte van de oevergeul is eveneens afhankelijk van de benodigde onttrekking en daarmee is het benodigde doorstroomprofiel ontworpen, waarbij de diepte bij de in- en uitstroom van de oevergeul aansluit op de hoofdgeul. De hoogte van de langsdam zelf is ontworpen op een hoogte van OLR+2m. Aan de bovenstroomse zijde is een instroomdrempel geplaatst met de lengte van een kribvak en een hoogte van OLR. Dit is gelijk aan de variant uiterwaardgeulen. De hoofdgeul is in dezelfde mate versmald door de langsdammen 30m rivierwaarts te plaatsen t.o.v. de huidige kribkoppen (normaallijn).

In het ontwerp is ook het bestaande langsdammentraject bij Tiel op deze wijze aangepast, door de hoogte van de langsdam (met ongeveer 50 cm) te verlagen naar OLR+2m en de bestaande geulen te verruimen. Op locaties met vaste lagen of bodemkribben in de hoofdgeul, zoals bij Nijmegen, Erlecom en St. Andries, bestaat onzekerheid of een langsdam met oevergeul hier effectief is. Dit komt doordat het doorgaande sedimenttransport op deze locaties wordt verstoord. Op deze drie locaties is besloten om toch zoveel mogelijk doelbereik te halen en daarom is hier een rivierversmalling toegepast door hier kribverlenging en een uiterwaardgeul (i.p.v. een oevergeul) in te passen.

Roosterverfijning
Om voor beide MGS-varianten de effecten op de afvoerverdeling te bepalen, is in D-Hydro het volledige Rijntakkenmodel ingezet. Dit model beschikt echter over een relatief grof rekenrooster (gemiddeld 40 m celgrootte), waardoor de geulen onvoldoende nauwkeurig kunnen worden geschematiseerd. Daarom is in overleg met Deltares besloten om ter plaatse van de uiterwaard- en oevergeulen een roosterverfijning toe te passen. Daarbij is een verfijningsfactor van 2 toegepast. De verfijnde zones zijn met driehoekige elementen aangesloten op het oorspronkelijke rooster

De roosterverfijning veroorzaakt hydraulische effecten. Op locaties waar verfijning is toegepast zorgt dit voor een betere doorstroming waardoor er meer afvoer door de geulen gaat t.o.v. een niet-verfijnd rooster. Niet alle effecten konden echter helemaal verklaard worden. Een belangrijke constatering is dat in de uiteindelijke vergelijking, op basis van identieke roosters, er tussen de referentie en de varianten geen aanvullende effecten van de roosterverfijning meer waargenomen zijn.

2.4.5 Effectbepaling hydraulica
Door Haskoning zijn zeventien hydraulische berekeningen aangeleverd over het afvoerbereik tussen de 800 en 18.000 m^3/s bij Lobith, voor de beide meergeulensysteem-varianten:

600, 800, 1.020, 1.300, 1.400, 1.500, 1.630, 2.020, 2.500, 3.220, 4.350, 5.800, 8.400, 10.000, 16.000, 17.000, 18.000 m^3/s *(Lobith)*

Deltares is gevraagd om op basis van de hydraulische berekeningen van Haskoning een (integrale) effectbepaling uit te voeren. Daarbij is gekeken naar de hydraulische effecten (stroomsnelheden, waterstanden, afvoerverdeling bij laag- en hoogwater), verwachte morfologische effecten en op hoofdlijnen de effecten op de rivierfuncties natuur & ecologische waterkwaliteit, zoetwaterverdeling en -beschikbaarheid, bevaarbaarheid en waterveiligheid. Het effect op de rivierfunctie "regionale economische ontwikkeling" is niet onderzocht. Eerst wordt er in detailniveau gekeken naar beide meergeulensysteem-varianten om vervolgens het effect van het principe op de Waal op systeemniveau te beschouwen. Zie voor meer informatie Maas *et al*., 2025.

De onderzochte varianten met uiterwaard- en oevergeulen laten voor de hydraulica een herkenbaar en consistent beeld zien. Beide varianten veroorzaken vergelijkbare effecten op alle riviertakken. Deze effecten zijn echter niet uniform over het volledige afvoerbereik:

- Bij lage afvoeren (≤ 2.020 m³/s)
  Het versmallen van het zomerbed met de aanleg van langsdammen (OG) of kribverlenging (UG) zorgt voor hogere waterstanden op de Waal en een verschuiving van afvoer naar het Pannerdensch Kanaal en IJssel. Dit effect is beperkt en bedraagt maximaal 10–14 m³/s extra naar de IJssel bij OLA. Op het moment dat de geulen mee beginnen te stromen neemt de extra gerealiseerde afvoer naar de IJssel gestaag af. Voor deze morfologische varianten treedt dit al op vanaf 1.020 m3/s. Rond een afvoer van 1.500 m³/s is het effect verdwenen en is de afvoerverdeling nagenoeg gelijk aan de huidige situatie zonder een meergeulensysteem.
- Bij midden en hoge afvoeren (> 2.020 m³/s)
  Bij deze afvoeren stromen de geulen mee, waardoor de waterstand op de Waal daalt. Dit vergroot de afvoercapaciteit van de Waal. Dit effect is het grootst bij de UG-variant. De waterstandsverlaging is het grootst bij de afvoeren net voordat de uiterwaarden onderlopen. Met deze varianten is dat tussen ca 4.500 en 6.000 m³/s, en geeft dan tot 50 cm extra waterstandsdaling. Bij extreem hoge afvoeren, >10.000 m³/s, blijft waterstandsdaling waarneembaar, maar neemt het verschil t.o.v. een rivier zonder meergeulensysteem langzaam af.
- Stroomsnelheden
  Door de aanleg van een meergeulensysteem worden de variaties in de stroomsnelheden in de hoofdgeul groter. Er ontstaan hogere snelheden bij versmalling en lagere bij verruiming. Dit geeft veroorzaakt morfodynamiek. Oevergeulen hebben over het algemeen hogere stroomsnelheden dan uiterwaardgeulen.

2.4.6 Effectbepalingen morfologie

De morfologische effectbepaling heeft als doel om op riviertakniveau (voor de gehele Waal) in te schatten of de grootschalige erosieve trend kan worden teruggedrongen met een meergeulensysteem. Hiervoor is de gradiënt in de sedimenttransportcapaciteit langs de gehele Waal bepalend. Deze gradiënt wordt beïnvloed door de stroomsnelheden en de sedimentsamenstelling, zie ook 2.1. Om de erosie volledig te stoppen dient deze gradiënt over het gehele eroderende traject vereffend te worden.

De inschatting van het morfologische effect is gebaseerd op de uitkomsten van de hydraulisch modelberekeningen in D-Hydro. Er is niet aanvullend gerekend met een morfologisch model. Daarom wordt alleen een beeld gegenereerd van het initiële effect van de rivierbodemligging in het geval het MGS zou zijn aangelegd. Er is geen simulatie uitgevoerd van de morfologische ontwikkelingen van de rivierbodem in de tijd.

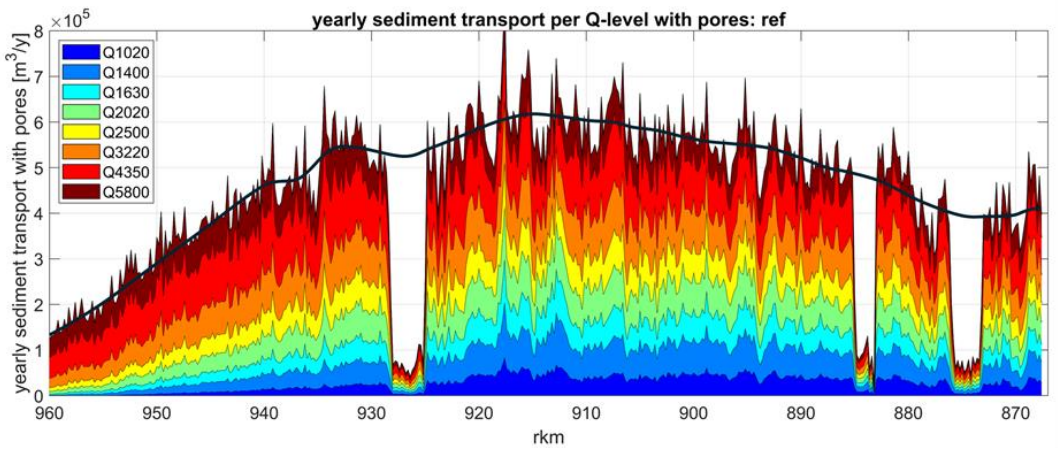
Net als in het morfologisch model is deze analyse gedaan door een gemiddeld hydrologisch jaar te beschouwen. De hydrodynamische condities voor dit jaar worden benaderd door een geschematiseerde afvoerhydrograaf, die bestaat uit 8-9 constante afvoeren met een bepaalde duur. Voor alle negen afvoerniveaus zijn door Haskoning stationaire berekeningen uitgevoerd (De Jong et al, 2025). Met deze hydraulische rekenresultaten is de sedimenttransportcapaciteit per afvoerniveau bepaald met de transportformule van Meyer-Peter en Müller (1948). Deze formule is identiek aan de toepassing in het morfologische Delft3D-model.

Bovenstaande methodiek is een efficiënte manier om de morfologische effectiviteit van het MGS en de varianten te vergelijken. Het geeft echter geen voorspelling van een nieuwe toekomstige bodemligging. Dat betekent dat in de methodiek ook geen rekening is gehouden met de morfologische feedback op de hydraulica. Dit vraagt om doorrekening met een volledig morfologisch model. Dit is van belang om rekening mee te houden voor de (middel-)lange termijn effectiviteit van het meergeulensysteem en de effectbepalingen. Echter, zoals eerder benoemd is een morfologische doorrekening van de uiterwaardgeulen met het modelinstrumentarium niet mogelijk.

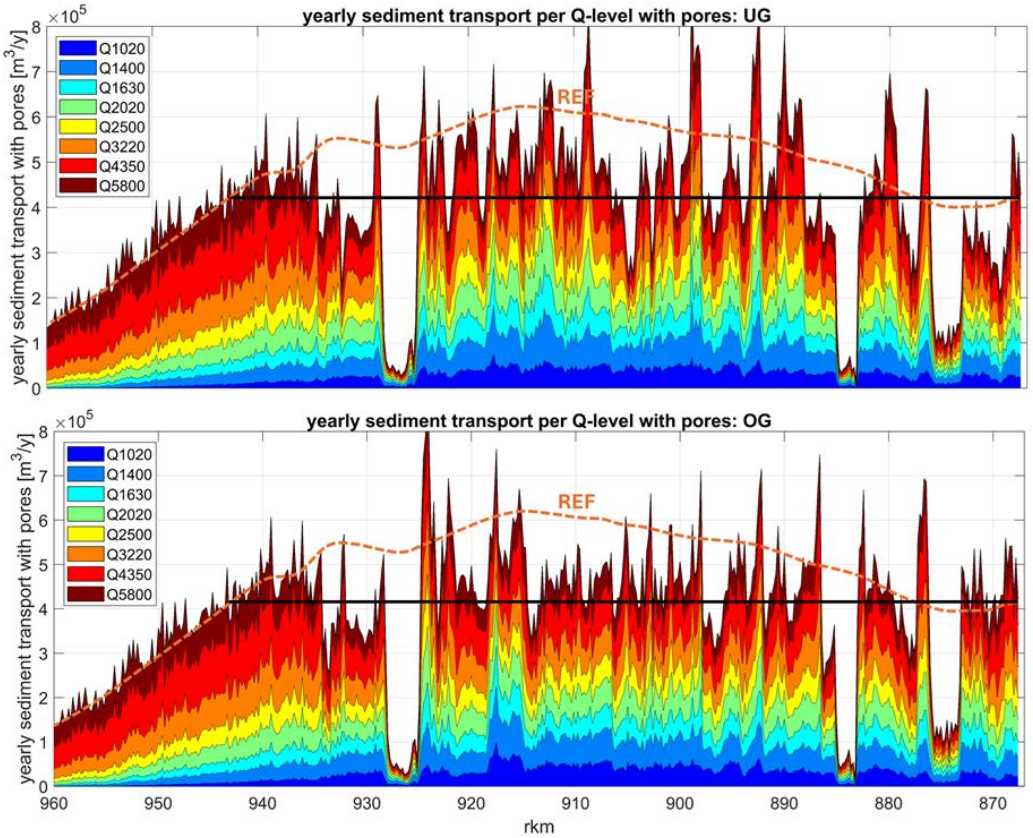
Resultaten
Onderstaande figuren tonen het effect op de grootschalige transportgradiënt langs de Waal. De figuren tonen de (cumulatieve) bijdrage per afvoerniveau aan het sedimenttransport langs de Waal. Verder is er door *de oog-haren-heen* lijn getrokken om de trend weer te geven in de referentie situatie. De horizontale lijn is de gekozen streeflijn, waar de gradiënt van de transportcapaciteit is vereffend: waarden boven deze lijn laten lokale doorgaande erosie zien, alle waarden onder deze lijn zijn tekenen van sedimentatie in de hoofdgeul.

De volgende opmerkingen zijn hierbij van belang:

- Op de locaties van de bodemkribben bij Erlecom en de vaste lagen bij Nijmegen en St. Andries is een extreem laag transport zichtbaar. Op deze locaties schiet de gebruikte methodiek te kort. Omdat dit onderzoek over de grootschalige bodemtrend gaat en niet over details rond de vaste lagen, zijn de genoemde uitschieters nu nog niet relevant.
- Bij beide meergeulensysteem-varianten is de bijdrage van lage afvoeren (blauw) zichtbaar. Deze bedraagt ongeveer 20%. De ontworpen versmalling van 30m zorgt voor hogere stroomsnelheden maar leiden voor beide doorgerekende varianten slechts beperkt tot extra erosie; het verschil tussen de referentie en de varianten is klein. Vergelijk de lage afvoeren in figuur 2.12 met figuur 2.13.
- Beide meergeulensysteem-varianten verlagen duidelijk de gradiënt richting de streeflijn. De pieken (en dalen) zijn te relateren aan locaties waar het "snoer van verruimen en versmallen" (nog) niet optimaal is afgestemd op de opgave. Dit is een ontwerpopgave voor de vervolguitwerking.
- De varianten laten zowel het grindtransport als het zandtransport afnemen, maar het grindtransport iets meer (zie Maas *et al*., 2025.)



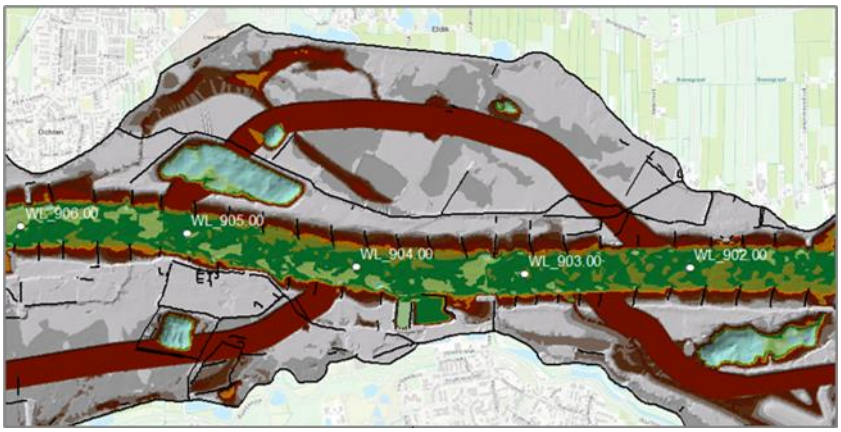
Figuur 2.12: Jaarlijks transport (volume) langs de Waal in de huidige referentie situatie. De zwarte lijn is geeft een door-de-oogharen-heen beeld langs de bovenkant van de grafiek.



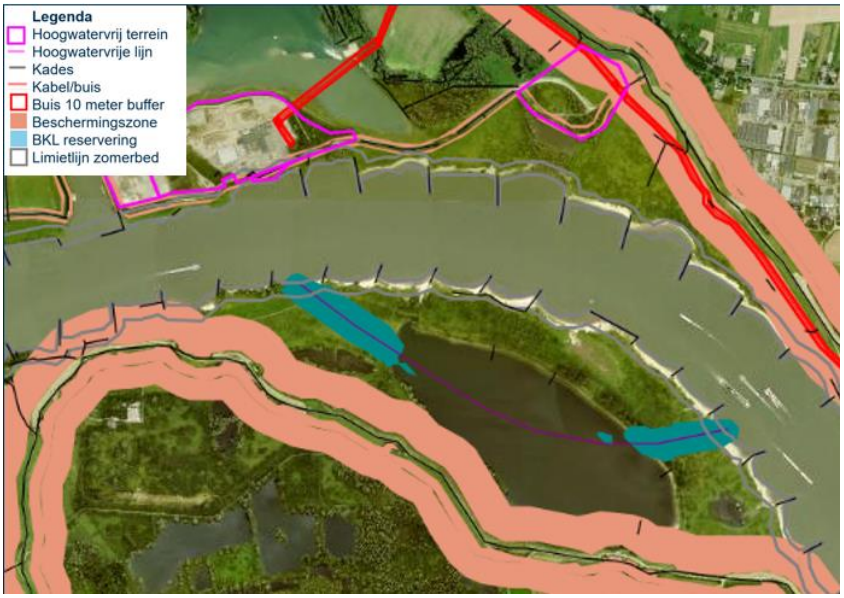
Figuur 2.13: Jaarlijks transport voor een 'gemiddelde' hydrograaf uitgesplitst per aandeel van de afvoerklasse langs de Waal voor de twee onderzochte meergeulensysteem-varianten: ***uiterwaardgeulen (UG)*** *met verlengde kribben (boven) en* ***oevergeulen (OG)*** *met langsdammen (beneden). De zwarte lijn geeft de streefwaarde voor het gehele erosieve traject weer: van Pannerdensche Kop (rechts) tot voorbij Zaltbommel (links, rkm 945)*

Het is belangrijk om, op hoofdlijnen, de oorzaken achter de berekende lokale pieken en dalen te kennen om te zien of verdere optimalisatie mogelijk is. Grofweg zijn er drie categorieën te onderscheiden, oplopend van makkelijk naar moeilijk:

1. Keuzes in de schematisatie van de doorgerekende varianten. Enkele voorbeelden:
   - In de UG-variant is de uiterwaardgeul bij Millingen te ruim ontworpen t.o.v. de opgave voor de Midden-Waal waardoor er juist een extra gradiënt ontstaat. Dit is eenvoudig aan te passen door minder verruiming te ontwerpen.
   - De UG-variant toont een grotere variatie in het jaartransport, hetgeen lokaal kan leiden tot zowel erosie als sedimentatie. Veel van deze effecten zijn het gevolg van de gekozen schematisatie van het meergeulensysteem, waarbij (soms bewust) sprake is geweest van trajecten zonder verruiming (hiaten) en trajecten met verruiming aan beide zijden van de rivier, zie figuur 2.14.
2. Complexe situatie vanwege de bestaande rivierinrichting.
   - Denk aan beschermingszones, bestaande kabels en leidingen, plassen, geulen, landbouw, hoogwatervrije terreinen, grondeigendommen, natuur.
   - Dit speelt sterker bij de aanleg van uiterwaardgeulen dan bij oevergeulen. In de verdere uitwerking kan dit zoveel mogelijk worden ondervangen door gebiedspecifiek maatwerk en door het combineren van verschillende typen uiterwaard- en oevergeulmaatregelen.
3. Te smal rivierbed voor een goede werking van het meergeulensysteem. Dit speelt met name bij Ooij (rkm 880) en Ewijk – Beuningen (rkm 890), zie figuur 2.15.



Figuur 2.14: Locaties waar geulen nog niet goed aansluiten veroorzaken extra verruiming, wat leidt tot lokale gradiënten in stroming en morfologie. Om dit te voorkomen, moeten geulen zoveel mogelijk als een aaneengesloten snoer doorlopen van de ene naar de andere uiterwaard.



Figuur 2.15: Voorbeeld bij rkm 880 (Ooi) waar de benodigde ruimte ontbreekt aan de zuidoever voor de aanleg van een goed functionerend meergeulensysteem. Hier kan alleen de plas verbonden worden.

Samenvattend: bovenstaande kanttekeningen in acht nemend, kan op basis van de resultaten worden geconcludeerd dat een ruimtelijk inpasbaar meergeulensysteem in staat is om de grootschalige bodemerosie in de Waal grotendeels weg te nemen. Vraag is daarbij of met beide types maatregelen mogelijk is om de verruiming voldoende geleidelijk te laten verlopen langs de rivier. Ook is het mogelijk dat bij de complexe stromingspatronen bij de instroom en uitstroom naar en van de geulen voor het ene type maatregel ongunstiger zijn dan voor het andere. Hoe groot de resterende erosie is, is afhankelijk van verdere optimalisaties en mogelijkheden binnen lokale gebiedsuitwerkingen. Locaties die niet optimaal ingepast kunnen worden zorgen voor morfodynamiek, voor erosie maar ook voor sedimentatie, en zullen grotendeels met sedimentmanagement (baggeren, storten en suppleren) moeten worden opgevangen.

Klimaatrobuustheid (morfologie)
Voor Ruimte voor de Rivier 2.0 zijn op basis van het KNMI'23 scenario 2050HD drie hydrografen afgeleid die respectievelijk een gemiddeld, een droog en een nat jaar beschrijven (Sloff, 2024). Op basis hiervan is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Bij een droger klimaat krijgen we te maken met vaker en langere periodes van lage afvoeren. Deze lage afvoeren krijgen dus meer gewicht. De mate van onttrekking via beide varianten vermindert dan en de stroomsnelheden in de hoofdgeul blijven relatief hoog. Hierdoor ontstaat extra erosie waardoor een meergeulensysteem bij een droger klimaat minder goed in staat is om de transportgradiënt op te heffen. Bij een natter klimaat krijgen juist de midden- en hogere afvoeren meer gewicht waardoor de transportgradiënt dan sterker teruggedrongen wordt.

Dit betekent dat de optimale dimensies van de oevergeulen of uiterwaardgeulen afhankelijk zijn van ontwikkelingen van het toekomstige klimaat en de directe vertaling ervan naar wijzigingen in het afvoerpatroon. Omdat de exacte ontwikkeling hiervan niet bekend is, is het belangrijk om de geulen te ontwerpen op een manier

die toestaat om in de toekomst aanpassingen te maken, bijvoorbeeld aan de hoogte van instroomdrempels. Of dit soort aanpassingen voldoende zijn om toekomstige klimaateffecten op te vangen zal nog nader onderzocht moeten worden.

2.4.7 Effectbepalingen rivierfuncties

De hydraulische rekenresultaten vormen input voor de effectbepaling op de rivierfuncties natuur & ecologische waterkwaliteit, bevaarbaarheid, zoetwaterbeschikbaarheid en waterveiligheid. Er is gebruik gemaakt van de beschikbare kennis en informatie die is ontwikkeld in de effectbepalingsmethodiek, zoals toegepast in het nulalternatief IRM (Asselman et al., 2022). Er zijn geen specifieke berekeningen uitgevoerd voor de inschatting op de rivierfuncties anders dan de hydraulische modelberekeningen in D-Hydro, zie 2.4.5.

Bijkomend zijn tussenresultaten van het Consortium Afvoercapaciteit en Ruimte (vooral voor de waterveiligheidsopgave) en de evaluatie van de bestaande Pilot Langsdammen gebruikt. Hieronder volgen per rivierfunctie de belangrijkste conclusies:

Natuur en ecologische waterkwaliteit
Belangrijk aspect bij de effectbepaling natuur en ecologische waterkwaliteit is de verandering in hydrodynamiek: overstromingsduren, stroomsnelheden en grondwaterstanden:

- Overstromingsduren: Door de aanleg van een MGS neemt het areaal dat permanent onder water staat toe (iets meer bij UG dan bij OG). Omdat een meergeulensysteem invloed heeft op de rivierwaterstand zal dit ook de overstromingsduur van de uiterwaarden beïnvloeden. Verschillende ecotooptypen vereisen verschillende overstromingsduren. Deze klassen zijn echter erg breed. Zo wordt voor zachthoutooibos uitgegaan van een overstromingsduur van 50 tot 150 dagen per jaar. Bij de OG-variant zijn de verschuivingen in overstromingsduren waarschijnlijk te klein om tot een verandering in areaal per overstromingsduurklasse te leiden. Bij de UG-variant nemen de overstromingsduren wel toe. In deze variant worden de zomerkades verwijderd of doorgestoken en kan water langer worden vastgehouden. De natuur profiteert hier het meest van.
- Stroomsnelheden: Beide varianten van het meergeulensysteem vragen jaarrond stroming voor rivierkenmerkende macrofauna & vis, en om (deels) zuurstofloze omstandigheden (algenbloei) te voorkomen. Omdat de geulen breed en diep zijn, zijn stroomsnelheden relatief hoog. In de OG-variant wordt een snelheid van de vanuit ecologie wenselijke bovengrens van 0,5 m/s al overschreden bij een rivierafvoer van 2.020 m^3/s te Lobith. In de UG-variant is de stroomsnelheid in de geulen op de meeste plaatsen iets lager. De variatie in stroomsnelheden is groter bij de UG. Dit is gunstig voor de natuur.
- Grondwaterstanden: Hoewel de laagwaterstanden bij een meergeulensysteem hoger worden, heeft dit maar een beperkt effect op de grondwaterstanden in de uiterwaarden voor beide varianten. De GLG wordt mogelijk ongeveer 5 cm hoger. De effecten voor natuur zijn daardoor beperkt. Het wegzijgende effect van UG-variant moet nader onderzocht worden, hetgeen de grondwaterstanden in de uiterwaarden juist kan verlagen en negatief kan uitpakken. Kwelstroming vanuit de hoofdgeul naar de afgesloten uiterwaardgeul bij lage afvoeren kan een positieve uitwerking

hebben op de ecologische waterkwaliteit. Ook binnendijks zijn er (beperkt) effecten te verwachten met licht hogere grondwaterstanden. Dit is echter niet gekwantificeerd en kan ruimtelijk sterk differentiëren afhankelijk van de lokale hydrologie en bodemopbouw.

Een ander positief effect ontstaat doordat de geulen zijn afgeschermd van de hoofdgeul. Er is ruimtelijk sprake van een functiescheiding ecologie t.o.v. de bevaarbaarheid. Er is voor de ecologie minder hinder van de scheepvaartsgolven en -geluid. Dit positieve effect geldt voor beide varianten, maar is het grootst in de UG-variant.

Tenslotte is er nu nog geen goed beeld van de snelheid waarmee oever- en nevengeulen aanzanden of juist eroderen, en wat dat betekent voor de frequentie waarmee ze moeten worden onderhouden. Vanuit natuur is het wenselijk om zo min mogelijk in te grijpen.

Samenvattend: een meergeulensysteem heeft de potentie om noemenswaardige meerwaarde te bieden voor de ontwikkeling van ecologische doelen en het verbeteren van de waterkwaliteit. De daadwerkelijke ecologische meerwaarde valt of staat bij de precieze uitwerking van de geulen, het jaarrond mee kunnen stromen van de geulen, de inpassing in de uiterwaarden en de overgangen tussen water en land.

Zoetwaterbeschikbaarheid
Met de doorgerekende meergeulensysteem varianten wordt er bij een afvoer van 1.300 m^3/s bij Lobith slechts 5 m^3/s extra afvoer naar de IJssel gerealiseerd i.p.v. de gewenste 57 m^3/s. Door het beperkte effect dat bovendien alleen optreedt bij lage afvoeren (< 1.300 m^3/s) is de doorwerking van meergeulensysteem op de vullingsgraad van het IJsselmeer en de stuurbaarheid onvoldoende om aan de gewenste afvoerverdeling te voldoen. Dit komt doordat de geulen uit het geschematiseerde meergeulensysteem al mee beginnen te stromen vanaf 1020 m^3/s. Bij nog lagere afvoeren stroomt max. 15 m^3/s extra naar de IJssel.

De extra afvoer wordt steeds minder naarmate de geulen op de Waal meer water trekken bij toenemende afvoer. Bij een afvoer van ca 2000 m^3/s stroomt er zelfs minder afvoer naar de IJssel dan in de huidige situatie. De maximale extra afvoer naar de IJssel wordt gerealiseerd bij een afvoer van 1.020 m^3/s net voordat de geulen in de Waal mee beginnen te stromen, deze bedraagt 10 en 14 m^3/s voor respectievelijk de uiterwaard- en oevergeulenvariant. Uit de studie van Gensen *et al.* (2025) blijkt dat er ook aanvullende maatregelen getroffen moeten worden naast een versmalling op de Waal zonder meestromende oever- of uiterwaardgeulen om de gewenste afvoerverdeling te behalen. Voorbeelden als het verbreden van de Boven-IJssel of het aanleggen van een bypass bij de IJsselkop moeten wel goed afgestemd worden op de effecten van een meergeulensysteem op de Waal.

Het meergeulensysteem zorgt op nagenoeg alle riviertakken voor een verhoging van de waterstanden bij lage afvoeren. Hierdoor worden de benodigde waterstanden bij de inlaatpunten minder vaak per jaar onderschreden. De stijging van de waterstand op de IJssel is maximaal 15 cm ter hoogte van het inlaatpunt van het Twentekanaal. Voor de innamepunten langs de Waal (o.a. ARK-Betuwepand) en Lek bedraagt dit maximaal 20 cm. De verhoging van de waterstanden werkt –in beperkte mate- ook positief door op buiten- en binnendijkse grondwaterstanden. Hieraan is nog niet gerekend en er ontbreekt dan ook kwantitatieve informatie over dit aspect.

Voor het tegengaan van verzilting in West-Nederland is het belangrijk dat bij zeer lage afvoeren voldoende water richting de Rijn-Maasmonding wordt aangevoerd. Door het meergeulensysteem gaat er minder afvoer via de Waal (maximaal 15 m^3/s bij OLA), maar door flexibiliseren van de inzet van stuw Driel kan dit eventueel via de Nederrijn/Lek naar het Westen gestuurd worden.

Samenvattend: de doorgerekend onderzoeksvarianten voor het meergeulensysteem behalen slechts zeer beperkt de gestelde doelen rondom de zoetwaterbeschikbaarheid, zoals gewenst vanuit DPZW.
Dit is goed te verklaren aangezien het ontwerp van deze MGS-varianten gericht was op het maximaal terugdringen van de bodemerosie (zie 2.4.1). Dat betekent dat deze studie de maakbaarheid en het doelbereik voor de zoetwaterbeschikbaarheid numeriek onvoldoende in beeld heeft gebracht. Op basis van deze resultaten is de verwachting dat met een geoptimaliseerd meergeulensysteem rond de $20m^3$ extra afvoer richting het Pannerdensch Kanaal gestuurd kan worden bij 1.300 m^3. Daarmee zit de verwachting aan de onderkant van de eerdere prognose (20-$40m^3$) die was gebaseerd op minder gedetailleerde berekeningen , zie 2.2.3.In een vervolgstudie kan onderzocht worden wat een ontwerp, meer gericht op de zoetwaterbeschikbaarheid, oplevert aan effecten. Als eerste kunnen hiervoor de drempels en langsdammen worden verhoogd op het traject van de Waalbochten: aanpassing van deze drempels heeft het grootste effect op sturing van de laagwaterverdeling.

Bevaarbaarheid
Bij OLA leidt het meergeulensysteem tot een toename van de waterdieptes op alle riviertakken, met uitzondering van de Beneden-Waal waar geen maatregelen zijn getroffen. De toename van de waterdiepte is terug te voeren op de integrale versmalling van de hoofdgeul met langsdammen of kribverlenging op de Waal. Bij het OG-variant met langsdammen nemen de waterdieptes met 10 tot 20 cm toe. Bij de UG-variant met verlengde kribben met 5 tot 10 cm.

Ook op de IJssel neemt de waterdiepte toe als gevolg van de verschuiving in de laagwater afvoerverdeling, waarbij de IJssel meer water ontvangt t.o.v. de Waal. De waterdiepte neemt hier met ongeveer 10 tot 15 cm toe.

Door het toenemen van de waterdieptes neemt met de huidige bodem het aantal locaties dat niet voldoende waterdiepte heeft af. Voor de Waal, met een minimale diepte-eis van 2,8m, zijn dit in de huidige situatie 5 locaties. Dit wordt teruggebracht naar 2 met de UG-variant, en naar 1 bij de OG-variant. Ook de bereikbaarheid van Sluis Weurt zal als gevolg van de verhoogde waterstanden verbeteren. Op de IJssel, met een diepte-eis van 2,5m, is deze afname van ongeveer 60 naar 30 locaties. Dit is positief voor de functie bevaarbaarheid.

De verwachting is dat er meer onderhoudsbaggerwerk nodig zal zijn in verband met de toename in de morfodynamiek na aanleg van een meergeulensysteem. Dit geldt voor beide varianten, waarbij een meergeulensysteem met langsdammen en oevergeulen meer mogelijkheden ontwerpoptimalisatie biedt dan een ontwerp met uiterwaardgeulen.

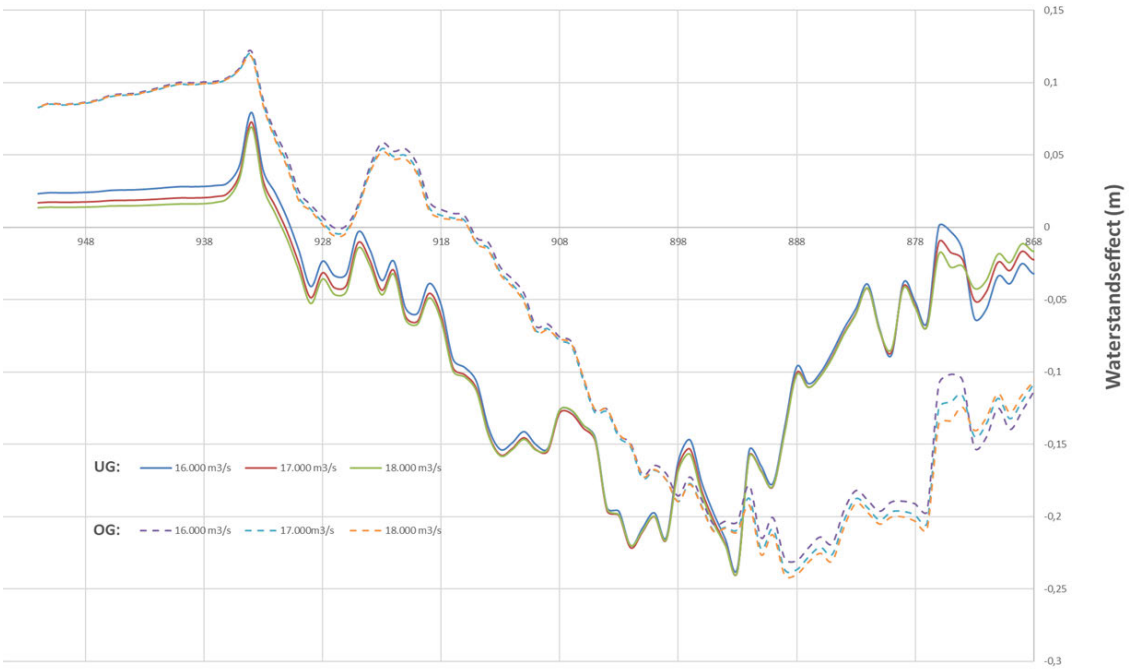
Door het aanleggen van geulen ontstaan er dwarsstromen vanuit de geulen naar de hoofdgeul. De resultaten laten echter zien dat de dwarsstroming beperkt blijft tot de oeverzone en daardoor beperkt invloed heeft op de vaarweg.

Samenvattend: de doorgerekende meergeulensysteem -varianten laten zien dat de algehele bevaarbaarheid van de Rijntakken verbeterd met de aanleg van een meergeulensysteem. Aandachtspunt voor nadere uitwerking is de manier en mate van versmalling, extra vaarwegonderhoud en mogelijk gevolgen voor dwarsstroming.

Waterveiligheid
Met de realisatie van een meergeulensysteem wordt er in de Waal grootschalig verruimd. Aangezien er meer ruimte is voor al het water daalt de waterstand op de Waal ondanks dat de afvoer toeneemt. Andersom daalt de afvoer op de Nederrijn-Lek en IJssel wat ook daar resulteert in een waterstandsdaling. In algemene zin pakt een meergeulensysteem daarmee positief uit voor de waterveiligheid, zie figuur 2.16.

- In de UG-variant treedt een maximale daling van zo'n 25 cm op, met name op de Midden-Waal tussen rkm 877 en 918. De waterstandsdaling wordt in benedenstroomse richting langzaam minder en ter hoogte van St. Andries is deze weer gelijk aan de huidige situatie. Op de Nederrijn/Lek en IJssel zorgen de uiterwaardgeulen voor een verlaging van zo'n 10 cm (10.000 m^3/s) en maximaal 3 cm bij hogere afvoeren.

- In de OG-variant werkt de waterstandsdaling zelfs door tot in Duitsland, zo'n 5 tot 10 cm. Op de Midden-Waal zien we een maximale verlaging van ca 25 cm bij de hoogste afvoeren, aflopend naar nul bij Tiel (ligging van de huidige oevergeulen). Op de Boven-Waal is de waterstandsverlaging zo'n 15 tot 20 cm meer dan bij de OG-variant. Mogelijke oorzaak hiervan is de uitgevoerde kribverlenging (zonder verlaging) of de manier van schematiseren. Doordat bij de OG-variant de afvoer naar de Waal sterk toeneemt zorgt dit voor een waterstandsdaling van zo'n 10 cm over de gehele loop van de Nederrijn/Lek en IJssel.



Figuur 2.16: Waterstandseffect op de Waal voor de Boven-Rijnafvoeren van 16.000, 17.000 en 18.000 m3/s voor de onderzoeksvarianten van het meergeulensysteem met oevergeulen en langsdammen (OG) en kribverlenging met uiterwaardgeulen (UG).

Benedenstrooms van de laatste oever- of uiterwaardgeul ontstaat er een waterstandsverhoging op de Beneden-Waal en de Boven-Merwede. Hier is niet verruimd maar de afvoer door de Waal neemt wel toe bij hoge afvoeren. Dit leidt tot een stijging van en maximaal 5 cm in de UG-variant en 10 cm in de OG-variant.

In de uitgangspunten voor RvdR 2.0 is opgenomen dat het zogenoemde surplus (de extra afvoer boven de beleidsmatig verdeelde 16.000 m^3/s) verdeeld zal worden over de Waal en de IJssel. Met de doorgerekende meergeulensysteem varianten stroomt er meer water naar de Waal t.o.v. de referentie; 55 m^3/s in de UG-variant tot ~200 m^3/s in de OG-variant. Bij de afvoer van 18.000 m^3/s gaat het om ~30 m^3/s in de UG-variant tot ~200 m^3/s de OG-variant. Het relatieve effect van de MGS-varianten om extra afvoer naar de Waal te trekken neemt dus af bij hogere afvoeren, met name in de UG-variant.

De dijkversterkingsopgave - specifiek de dijkverhoging - wordt minder groot met de doorberekende meergeulensysteem varianten vanwege de verlaagde hoogwaterstanden. Dit is vergelijkbaar voor beide varianten. Dit is gunstig voor de waterveiligheid en de hoogteopgave van de keringen. Wel dient er bij de aanleg van geulen nabij de keringen aandacht besteed te worden aan het mitigeren van toenemende kans op kwel/piping. De UG-variant heeft hier een groter negatief effect op dan de OG-variant gezien de ligging dichter op de waterkeringen. Maar ook bij oevergeulen kan dit spelen als het winterbed relatief smal is.

Tenslotte gaat het risico op ijsdammen omlaag met het doorvoeren van gestrekte rivierwerken zoals langsdammen (OG-variant). Deze geleiden het ijs beter dan de bestaande of te verlengen kribben (UG-variant).

2.5 Kostenramingen varianten rivierbodemligging Waal

Dit onderzoek is uitgevoerd door Kanger *et al.* (2025).

2.5.1 Doelstellingen

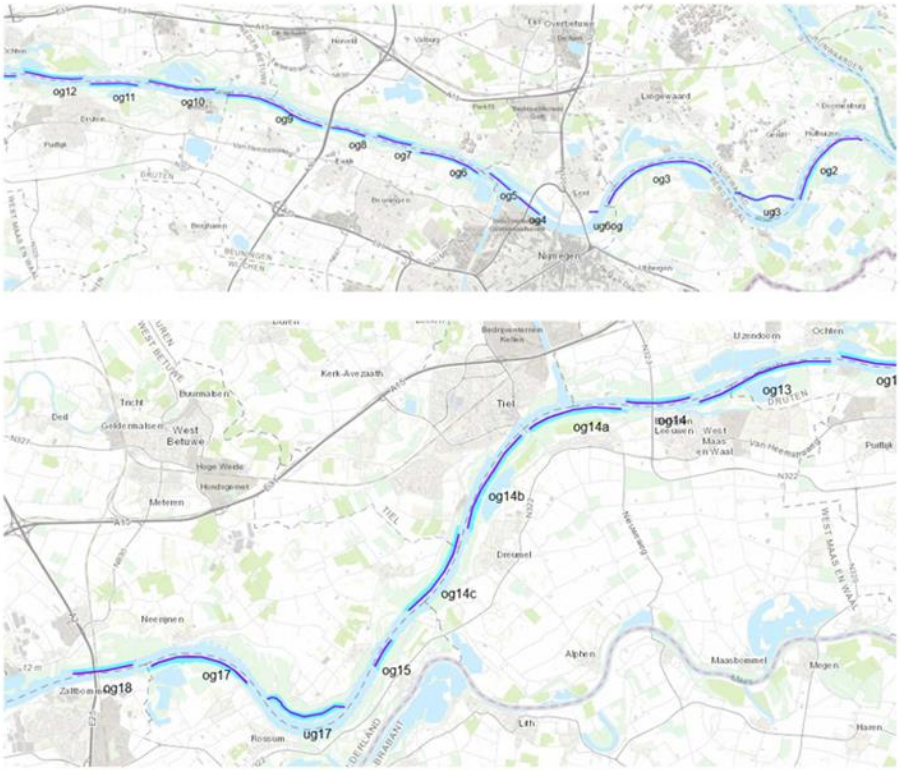
Voor de oplossingsstrategieën die in beeld zijn voor de aanpak van de problematiek rond rivierbodemligging zijn kostenramingen uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van de volgende alternatieven:

1. Grootschalige sedimentsuppleties,
2. Rivierverruiming en versmalling van het zomerbed d.m.v. de twee onderzoeksvarianten (zie 2.4.2):
   a) meergeulensysteem met langsdammen en oevergeulen (OG-variant)
   b) meergeulensysteem met verlengde kribben en uiterwaardgeulen (UG-variant)

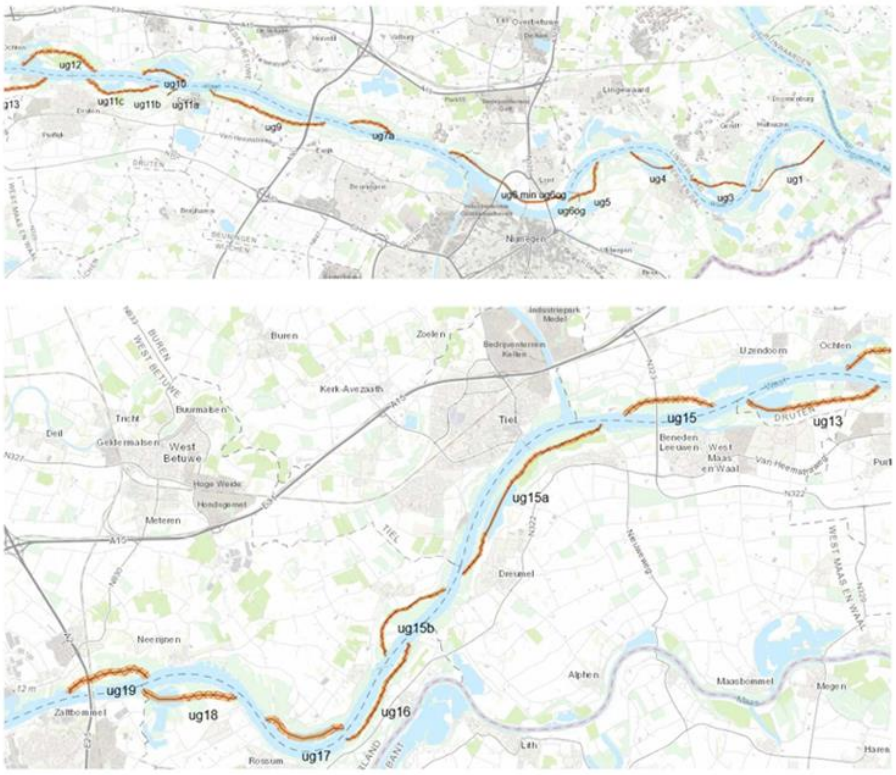
Voor het alternatief met grootschalige sedimentsuppleties is in eerder onderzoek de omvang bepaald en een kosteninschatting gemaakt. Deze kosten zijn opnieuw ingeschat in overeenstemming met aanpak en opzet van de inschatting voor de meergeulensysteem varianten.

Voor de meergeulensysteem varianten is uitgegaan van de schematisaties zoals beschreven in paragraaf 2.4.2 Het betreft dus kostenramingen voor de onderzoeksvarianten, zoals geschetst, geschematiseerd en doorgerekend, zonder verdere optimalisaties.

Het traject van het meergeulensysteem langs de Waal strekt zich uit van de Millingerwaard, gelegen nabij het splitsingspunt Pannerdensche Kop, tot aan Zaltbommel. Hierin is de ligging en de dimensies van de geulen vastgelegd op basis van benodigde omvang voor het gewenste morfologische effect in het zomerbed. Met oog op rivierkunde, natuur, landschap, effecten op de dijk, zoetwater en waterveiligheid is tot een ligging en maximaal realistische omvang van geulen gekomen. Binnen de OG-variant zijn ook 3 locaties met uiterwaardgeulen opgenomen, dit omdat in de uitwerking van maatregelen is gebleken dat op deze locatie geen langsdam kon worden gerealiseerd.
Zie voor de ligging van de geulen, kribben en langsdammen figuren 2.17 en 2.18.



Figuur 2.17: OG-variant - ligging oevergeulen en langsdammen



Figuur 2.18: UG-Variant – ligging uiterwaardgeulen en verlengde kribben

2.5.2 Aanpak op hoofdlijnen

Het detailniveau van de kostenraming is passend bij het doel van de gehele uitwerking van het meergeulensysteem in deze fase: zicht krijgen op de bandbreedte van een dergelijk systeem, qua ruimte, effecten en kosten. Het betreffen ramingen in de fase van 'beleidsvorming', vergelijkbaar met een Préverkenning, opgesteld met de Standaardsystematiek Kostenramingen (SSK), met prijspeil 1 juli 2025. Er is niet gekeken naar de baten of meekoppelkansen of naar verschillen in milieueffecten.

Uitgangspunten voor de kostenramingen

Er is onderscheid gemaakt tussen aanlegkosten en instandhoudingskosten. Deze zijn opgebouwd uit: bouwen, engineering, vastgoedkosten (aankoop gronden), overige kosten (oa vergunningen, verzekeringen, archeologie, kabels en leidingen, Flora en Fauna, …) en risicoreservering.
De kosten zijn geraamd voor een periode van 115 jaar, uitgaande van 15 jaar voorbereidingen realisatie voor de meergeulenvarianten en vervolgens 100 jaar onderhoud/instandhouding.

Uitgangspunten aanlegkosten

Er is uitgegaan van generieke ontwerpen van de hoofdelementen van beide onderzoeksvarianten: langsdammen, kribverlengingen, oevergeulen en uiterwaardgeulen. Dit betreft instroomdrempels, bodemhoogtes en taluds van geulen, kruinbreedtes en taluds van langsdammen, kribverlengingen. Het beheer en onderhoud aan de objecten is tevens onderdeel van de raming.

De breedte en ligging van geulen is overgenomen uit de schetsen beschreven in paragraaf 2.4.3. beide in toenemende breedte benedenstrooms. Er is rekening gehouden met aanleg van bruggen ter ontsluiting van terreinen en mitigerende maatregelen zoals een kwelbeperkende laag in de bodem van een geul.

Uitgangspunt voor de raming, van met name de UG-variant , is dat de geulen aansluiten op lopende uiterwaard-projecten. Grondwerk van geulen die door deze projecten lopen is in de raming niet meegenomen. Er is in die zin geen sprake van overlap.

Uitgangspunt instandhouding

Onder instandhoudingskosten zijn alle benodigde suppleties en het beheer en onderhoud opgenomen. Dit betreft voor de meergeulenvarianten het benodigd suppleren voorafgaand aan volledige realisatie en werking van het systeem (15 jaar), aanvullende suppleren na realisatie om tot volledige stabilisatie op het gehele traject te komen, onderhoud (baggeren en storten) in de hoofdgeul, onderhoud (baggeren en storten) in de uiterwaard- dan wel oevergeulen. Hoeveelheden hiervoor zijn ingeschat op basis van expert-judgement, toegeschreven op de specifieke onderzoeksvarianten met de onvolkomenheden die daar qua ontwerp in zitten.

Tabel 2.5 geeft de bij de kostenraming gehanteerde suppletie- en onderhoudsvolumes. In bijlage A is de onderbouwing van deze hoeveelheden opgenomen. Voor de meergeulensysteem varianten is voor de eerste 15 jaar uitgegaan van een suppletie volume van 150.000 m3/j aangezien de geulen, langsdammen en kribben er dan nog niet volledig liggen en ook nog niet (goed) werken. Instandhoudingskosten starten daar in jaar 16 en zijn over 100 jaar doorgerekend tot en met jaar 115.

Tabel 2.5: Suppletie- en onderhoudsvolumes kostenraming suppleren en varianten meergeulensysteem Waal.

1. Suppleren Waal - als basisalternatief (0-115 jaar)	**Volume (m3/j)**
a. Jaarlijks volume, extern sediment	150.000
b. Jaarlijks extra volume onderhoud vaarweg (baggeren en storten)	130.000
2. Aanlegfase Meergeulensysteem (0 - 15 jaar)	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	150.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen, gebaseerd op fasering	-
c. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	-
3. Eindbeeld Meergeulensysteem– Focus uiterwaardgeulen (15-115 jaar)	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	125.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen, (% hergebruik)	125.000 (30%)
c. Instandhouding geulen (erosie van bodem en oevers)	onderdeel van aanleg
d. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	190.000
4. Eindbeeld Meergeulensysteem – Focus oevergeulen (15-115 jaar)	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	50.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen (% hergebruik)	125.000 (50%)
c. Instandhouding geulen (erosie van bodem en oevers)	onderdeel van aanleg
d. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	130.000

2.5.3 Uitkomsten van de kostenraming

In grote lijnen laat de kostenramingen voor de onderzochte varianten het volgende zien:

- De totale kosten bij een levenscyclus van 115 jaar zijn voor suppleren minder de helft dan die van de oevergeulen varianten.
- De totale kosten voor de variant-OG zijn zo'n 25% lager dan die van de uiterwaarden variant.
- De investeringskosten van variant-UG en variant-OG zijn nagenoeg gelijk
- Bouwkosten vormen bij variant-OG het grootste deel van de totale kosten: de bouw van de langsdam (ca 50%) is de bepalende kostenfactor, samen met grondwerk oevergeul (ca 40%).
- De instandhoudingskosten vormen voor de variant-UG het grootste deel van de totale kosten ivm hogere verwachtte suppletie- en onderhouds-opgave.
- De bouwkosten voor de variant-UG worden vooral bepaald door het grondwerk (circa 80%) en benodigde werk aan kribben of oeververdediging (ca 20%).
- De instandhoudingskosten van suppleties zijn minder dan de helft van de kosten van beide meergeulensystemen. De variant met suppleties heeft geen aanlegkosten.

Het totaalbeeld van de kostenraming is weergegeven in de onderstaande tabel. Het geeft de bandbreedte voor de kosten van een meergeulensysteem, vanuit de berekeningen voor de beide onderzoeksvarianten OG en UG.

Tabel 2.6: Totaalbeeld kostenraming suppleties en meergeulensysteem Waal.

	Suppleties *€ in miljarden*	**Meergeulensysteem (variant-OG – variant-UG)** *€ in miljarden*
Investeringskosten (incl. BTW) – reële kosten	-	1,8
Instandhoudingskosten – reële kosten	1,2	1,1 - 1,9
Levenscycluskosten 115 jaar (incl. BTW) – reële kosten	**1,2**	**2,9-3,7**

Variantiecoëfficient investeringskosten	-	35-36%
Variantiecoëfficient instandhoudingskosten	23%	29-34%
P15-waarde investeringskosten	-	1,1 – 1,2
P85-waarde investeringskosten	-	2,5
P15-waarde instandhoudingskosten	0,9	0,7 - 1,3
P85-waarde instandhoudingskosten	1,5	1,5 - 2,5

De totale risicoreservering bedraagt bij de Investeringskosten 36% en voor de Instandhoudingskosten tussen 10 en 19%. Dit past binnen de richtlijnen van RWS (werkwijzer kosten) voor deze PréVerkenningsfase /initiatieffase (30% tot 50%).

Posten die hoog bijdragen aan de kostenbandbreedte zijn:
- Niet benoemde objectoverstijgende risicoreservering (met een groot aandeel)
- Grond per schip afvoeren en lossen.
- Suppleren vaargeul en baggeronderhoud (vaar)geul
- Aanname kwaliteit van vrijkomende grond en stenen uit kribben;
- Aanname kwaliteit grond uit de Uiterwaardgeulen en Oevergeulen;

In de post onvoorziene kosten zitten de volgende onderdelen: Kwel/geohydrologie, beschermde ecologische waarden, omgevingszaken zoals bezwaren van stakeholders of omwonenden, onzekerheden rond de plannen en belangen delfstofwinners of projectontwikkelaars in het gebied, kabels en leidingen, archeologie, ongesprongen explosieven, bodemkwaliteit, afstemming met terreinbeheerders en het vergunningenproces.

Deze onzekerheden zullen waarschijnlijk in (veel) hogere mate spelen binnen de variant-UG dan binnen de variant-OG. Dit komt met name door:
- Eigendomssituatie, grondverwerving waar eigenaren niet meewerken, of als gevolg van de diverse ontwikkelingen die spelen (delfstoffen handel). Met een aantal projecten die in uitvoering zijn is rekening gehouden in de raming, maar nog niet met toekomstige projecten.
- Verleggingskosten van kabels en leidingen, deze zijn globaal geraamd, waarbij in de Uiterwaardgeulen met hogere bedragen is gerekend dan bij de Oevergeulen.

Belangrijke kostenonderdelen die nog ontbreken in de raming zijn meerkosten van emissieloos materieel en planschade / nadeelcompensatie claims.

2.5.4 Conclusies tav de kostenramingen

De kostenramingen geven een beeld van investeringskosten en instandhoudingskosten van de 2 varianten voor het meergeulensysteem, en van suppleren als hoofdoplossing voor stabiliseren van de rivierbodem. De ramingen zijn opgesteld met Standaardmethodiek Kostenramingen, prijspeil 1 juli 2025.

Voor beide varianten van het meergeulensysteem blijkt dat, naast een beperkt verschil in investeringskosten voor de bouw van langsdammen en kribverlengingen en de aanleg van geulen, vooral de onderhoudskosten bepalend zijn voor de totale kosten en voor het verschil tussen de twee varianten. In die post zitten ook de grootste onzekerheden. Benodigde omvang van suppleties, vooruitlopend op realisatie van geulen en als aanvullende suppletie na realisatie van het systeem, is nog niet nauwkeurig in te schatten. Hetzelfde geldt voor benodigd onderhoud (baggeren en storten) voor de hoofdgeul en voor oevergeulen dan wel uiterwaardgeulen.

Het verschil in instandhoudingskosten tussen de beide varianten van de meergeulensystemen wordt veroorzaakt door aannames ten aanzien van benodigd aanvullend suppleren bij beide varianten en benodigd onderhoud in de hoofdgeul en in nevengeulen. Hier is een expert-judgement inschatting voor gemaakt, een werkelijke rivierkundige doorrekening van volumes daarvoor is nu niet mogelijk. Die inschatting kent grote onzekerheden, en weerspiegelt daarbij de grotere onzekerheid voor dergelijk suppleren en onderhoud bij de uiterwaardgeulen. Van belang is daarbij dat de beide onderzoeksvarianten - oevergeulen met langsdammen en uiterwaardgeulen met kribverleningen - hier strikt op kosten zijn doorgerekend, vanuit de schetsen en schematisaties zoals ze ook hydraulisch zijn doorgerekend. Met alle kenmerken dus van die schetsen, zonder verdere optimalisaties.

De kosten voor de varianten oevergeulen en uiterwaardengeul zijn samen te zien als een bandbreedte voor de kosteninschatting van een meergeulensysteem.
Als reeële kosten: 2,9 tot 3,7 miljard
Als bandbreedte van P15 tot P85: 1,8 tot 5,0 miljard
Dit gezien aangegeven onzekerheden, uitkomsten na optimalisaties van de ontwerpschetsen, en gezien het feit dat beide varianten voor een optimaal systeem te combineren zijn.

2.6 Zomerbedverdiepingen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Bakker *et al.* (2025). In dit onderzoek zijn zomerbedverdiepingen in de Rijntakken én de Maas tegen het licht gehouden. Deze paragraaf beschrijft de opzet en uitkomsten van het onderzoek op beide rivieren.

2.6.1 Doelstellingen

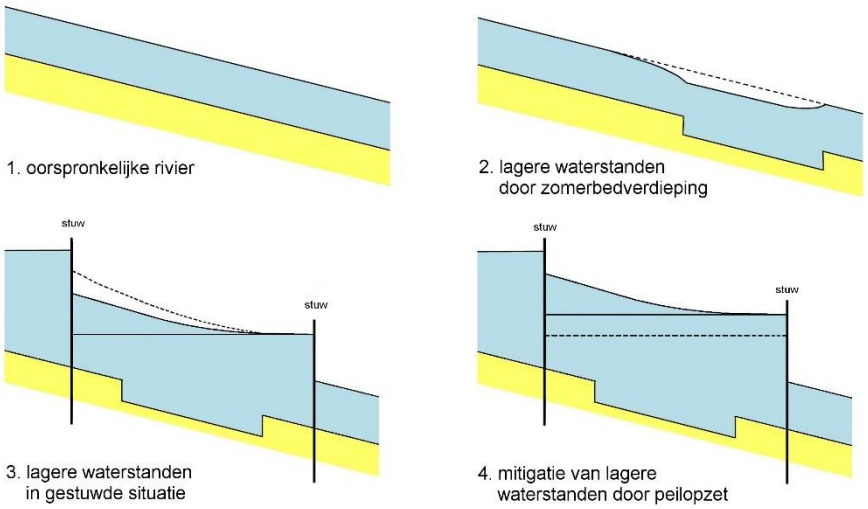
Als maatregel om de hoogwaterstanden te verlagen zijn in het verleden zomerbedverdiepingen aangelegd in de Maas (Venlo-Arcen, Gennep-Grave, Grave-Ravenstein) en in de IJssel (IJsseldelta). Naast het verlagend effect op de hoogwaterstanden zijn er ook een aantal negatieve effecten zoals bijvoorbeeld verlaging van de grondwaterstanden, de continue beheerinspanning om de zomerbedverdiepingen op diepte te houden en de onderbreking van het sedimenttransport.

Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 heeft onder meer als doel om een voldoende stabiele en beheerbare bodemligging van het zomerbed te realiseren die bijdraagt aan herstel van de natuurlijke rivierdynamiek. Omdat het de vraag is in hoeverre bestaande zomerbedverdiepingen passen binnen die doelstelling, vindt een heroverweging plaats of de zomerbedverdiepingen in stand gehouden moeten worden. Dit is mede ingegeven doordat bij het eventueel wegvallen van de zomerbedverdiepingen nu de kans bestaat om binnen RvdR 2.0 compensatie voor het verlies van de waterstandsverlaging te zoeken in het ruimtelijk domein.

2.6.2 Aanpak op hoofdlijnen

Om een onderbouwd advies te kunnen geven, is door Haskoning een literatuurstudie uitgevoerd om de beslisinformatie op een rij te zetten. De studie bestaat uit beschrijvingen van de uitgevoerde zomerbedverdiepingen, relevant beleid en beheer, voor- en nadelen en geeft handelingsperspectieven variërend van in stand houden op de huidige afmetingen tot actief opvullen.

In figuur 2.19 is de werking van zomerbedverdiepingen schematisch weergegeven. Zomerbedverdiepingen verlagen de waterstanden over het traject waarop ze zijn uitgevoerd en bovenstrooms daarvan. Die verlaging vindt niet alleen plaats bij extreem hoogwater maar over het hele afvoerbereik. Op de Maas wordt het waterstandsverlagend effect enigszins gedempt door het gestuwde karakter en is er de mogelijkheid om het effect van lagere grondwaterstanden te mitigeren door stuwpeilverhoging. De diepte van de uitgevoerde zomerbedverdiepingen varieert van 1,5 tot 3,0 m over de gehele breedte van het zomerbed.



Figuur 2.19: Schematische weergave van de werking van zomerbedverdiepingen.

In tabel 2.7 zijn de kenmerken gegeven van de uitgevoerde zomerbedverdiepingen. Bij de aanleg van de zomerbedverdiepingen zijn diverse mitigerende maatregelen genomen om verdroging tegen te gaan, waaronder peilopzet en peilregulerende maatregelen op de Maas. Mitigerende maatregelen waren de aankoop van landbouwgronden en oeverstroken, het aanbrengen van bodembescherming bij constructies, vergoeding van drainagemaatregelen en schade, verplaatsing van

pompputten voor waterwinning (IJsseldelta), en aanpassingen van stuw- en sluiscomplexen.

Tabel 2.7 Overzicht uitgevoerde zomerbedverdiepingen en hun doelbereik.

Zomerbed-verdieping	Aanleg (jaar)	Traject			Opgave		
		Rivier	Stuwpand	Traject (rkm)	Waterstands-daling (m)	Locatie (km)	Afvoer
Venlo-Arcen	2013-2015	Maas	Sambeek	109,0 – 120,4	0,40 m	109	3.275 m^3/s Borgharen
Gennep-Grave	1996	Maas	Grave	155,7 – 174,2	0,40 m	-	-
	2011-2012			155,7 – 170,0		155-156	3.275 m^3/s Borgharen
Grave-Ravenstein	2007	Maas	Lith	176,1 – 181,7	0,15 m	176-177	3.275 m^3/s Borgharen
IJsseldelta	2016	Beneden IJssel	-	992,9 – 1000,6	0,21 m	979-980	16.000 m^3/s Lobith

De beheerinspanning voor de zomerbedverdiepingen is beperkt. Venlo-Arcen laat vooralsnog netto erosie zien van 0,3% per jaar, de aanzanding op de trajecten Gennep-Grave en Grave-Ravenstein is resp. 0,02% en 0,6% per jaar. In de IJsseldelta is de aanzanding 2,9% per jaar. Wel kan onderhoudsbaggerwerk nodig zijn om de vorm van de zomerbedverdieping in stand te houden aan de bovenstroomse (aanzanding) en benedenstroomse (erosie) zijde en om sedimentatie in binnenbochten op te ruimen.

2.6.3 Belangrijkste uitkomsten

De netto-effecten bij het in stand houden van zomerbedverdiepingen zijn kwalitatief beoordeeld per traject en per riviergebonden functie (tabel 2.8). Bij de scores wordt de huidige situatie met zomerbedverdieping vergeleken met de huidige situatie zonder zomerbedverdieping inclusief de huidige stuwpeilen, ondanks dat deze soms zijn veranderd naar aanleiding van de aanleg van de zomerbedverdiepingen. De onderliggende overwegingen en voor- en nadelen van de zomerbedverdiepingen worden hieronder toegelicht.

Tabel 2.8 Kwalitatief oordeel per functie van de impact bij instandhouding zomerbedverdiepingen.

Zomerbed-verdieping	Hoogwater-veiligheid	Scheepvaart	Natuur	Landbouw	Stabiliteit	Beheer
Venlo-Arcen	++	+	-	-	- -	0
Gennep-Grave	++	+	-	-	-	0
Grave-Ravenstein	++	+	-	-	-	0
IJsseldelta	++	+	- -	-	-	-

Hoogwaterveiligheid
De zomerbedverdiepingen leiden tot significante verlagingen in hoogwaterstanden, hetgeen ook het primaire doel was van deze maatregelen. Instandhouding van de zomerbedverdiepingen scoort daarom zeer positief op hoogwaterveiligheid.

Scheepvaart
Met de aanleg van de zomerbedverdiepingen is de vaargeul verruimd, met als bijkomende voordelen meer kielspeling, lagere stroomsnelheden en minder vaak hinder als gevolg van baggerwerkzaamheden. Daarentegen kunnen bij de boven- en benedenstroomse uiteinden van de verdiepingen stroomsnelheidsgradiënten optreden die de scheepvaart enigszins bemoeilijken.

Natuur, ecologie en landbouw
Zomerbedverdiepingen leiden tot verlaging van (grond)waterstanden, wat leidt tot verdroging en minder frequente inundaties van uiterwaarden. Langs de Maas is grondwaterstandsverlaging deels gemitigeerd door peilopzet en een aangepast peilbeheer van de stuwpanden Grave en Sambeek. Per saldo wordt het effect op natuur licht negatief ingeschat, met nog iets negatiever voor de IJsseldelta omdat dit valt onder het Natura 2000-gebied Rijntakken.

Voor landbouwgewassen gelden deels dezelfde negatieve effecten als voor natuur. De effecten zijn over het algemeen echter minder sterk vanwege de ligging verder van de rivier. Naast het negatieve effect van verdroging kunnen lagere grondwaterstanden ook voordelig zijn voor het bewerken van het land en kunnen ze wateroverlast en daarmee het verlies van gewassen voorkomen.

Stabiliteit en beheer
Erosie vormt een gevaar voor oevers, kunstwerken, leidingen en bebouwing en vindt met name plaats direct boven- en benedenstrooms van de verdiepingen. Het traject van Venlo-Arcen herbergt de grootste erosierisico’s omdat hier netto erosie plaatsvindt en omdat er een relatief grote kans is op erosiegevoelige zandlagen.

De benodigde beheerinspanning op de Maas wordt als gering beoordeeld als gevolg van de beperkte sedimentatie, helemaal in het geval van Venlo-Arcen waar systematische erosie is vastgesteld. In de IJsseldelta vergt het onderhoud een grotere inspanning als gevolg van grotere hoeveelheden sedimentatie.

Doorgaand sedimenttransport
RvdR 2.0 heeft onder meer als streven om het doorgaand sedimenttransport te behouden. De zomerbedverdiepingen zorgen voor een discontinuïteit en dragen daar dus niet aan bij. Het nadeel is echter beperkt. De discontinuïteit zit aan de boven- en benedenstroomse begrenzingen van de zomerbedverdiepingen, waar aanzanding respectievelijk erosie plaatsvindt. De ervaringen op de Maas laten zien dat de extra beheerinspanning minimaal is. In de IJsseldelta is de beheerinspanning groter, maar omdat dit de benedenloop van een riviertak betreft, is doorgaand sedimenttransport minder van belang.

2.6.4 Reflectie op resultaten

Handelingsperspectieven
Het behoud van de zomerbedverdiepingen wordt beschouwd als referentie voor het toekomstperspectief, gezien hun bewezen effectiviteit voor hoogwaterveiligheid en het ontbreken van voor de hand liggende alternatieven op korte termijn. Bij het

ontwikkelen van toekomstperspectieven voor zomerbedverdiepingen is het waarborgen van de hoogwaterveiligheid van primair belang. Natuurontwikkeling kan adaptief worden ingepast op verschillende locaties en met uiteenlopende maatregelen. Indien gekozen wordt voor het (gedeeltelijk) opvullen van de zomerbedverdiepingen op de Maas zal dit een inspanning vergen om voldoende sediment met de juiste korrelgroottesamenstelling te verkrijgen. Op de IJssel kan de zomerbedverdieping wel op natuurlijke wijze geleidelijk opgevuld worden, maar zijn er weinig alternatieve hoogwaterveiligheidsmaatregelen door het gebrek aan ruimte langs de rivier. Ook moet rekening worden gehouden met systeemontwikkelingen in de IJsseldelta (IJsselmeerpeil, stormopzet).

Advies zomerbedverdiepingen Maas (in één studie uitgevoerd)
In het kader van RvdR 2.0 heeft HKV onderzoek uitgevoerd naar beheerbare en maakbare varianten voor de rivierbodemligging van de Maas (Gensen et al., 2025a). Op basis hiervan wordt een advies aan DGWB opgesteld dat in essentie erop neerkomt dat de huidige bodemligging gehandhaafd moet worden. Vanwege de inhoudelijke verwevenheid met het onderwerp zomerbedverdiepingen zal in het advies worden opgenomen dat de bestaande zomerbedverdiepingen op de Maas in stand moeten worden gehouden. Ze voldoen aan hun taak en er zijn geen dwingende redenen om ze ongedaan te maken.

Advies zomerbedverdieping IJsseldelta
Ook voor de zomerbedverdieping in de IJsseldelta luidt het advies om deze in stand te houden. Ook hier geldt dat ze voldoet aan haar taak (het bieden van hoogwaterveiligheid), dat de nadelen beperkt zijn, evenals de alternatieven, en dat er dus geen dwingende redenen zijn om de zomerbedverdieping ongedaan te maken.

3 Synthese: samenhang, kansen en belemmeringen

Dit hoofdstuk beschrijft de samenhangende inzichten vanuit de onderzoeken, startend vanuit een bik op rivierbodemligging, met oog voor de samenhang met de afvoerverdeling bij laag- en hoogwater, en met specifiek aandacht voor de uitwerkingen van een meergeulensysteem.

3.1 Rivierbodem leidend als uitgangspunt voor een rivierenprogramma

De ligging van de rivierbodem bepaalt in hoge mate het functioneren van het Rijntakkensysteem, vooral bij lage afvoeren. Dit heeft directe gevolgen voor functies en waarden zoals natuur, landbouw en scheepvaart. Grootschalige rivierbodemerosie veroorzaakt problemen voor zowel de scheepvaart als de riviernatuur. Omdat erosie niet overal even sterk optreedt, verandert de waterverdeling bij lage afvoeren: steeds minder water stroomt naar de IJssel en steeds meer naar de Waal. Klimaatverandering versterkt deze ontwikkeling. Om verdere verslechtering van de zoetwaterverdeling, natuur en bevaarbaarheid te voorkomen, is het stoppen van rivierbodemerosie van hoogste prioriteit.

Het toekennen van de hoogste prioriteit aan het stoppen van rivierbodemerosie betekent dat maatregelen in dat kader leidend zijn. Dit vraagt om een aanpak in drie stappen:

1. Inventariseren welke maatregelen mogelijk zijn om grootschalige rivierbodemerosie te stoppen.
2. Zorgen dat deze maatregelen zodanig worden vormgegeven dat ze ook bijdragen aan het verbeteren van natuur, zoetwaterverdeling, bevaarbaarheid en waterveiligheid.
3. Bepalen welke aanvullende maatregelen nodig zijn om deze functies optimaal te ondersteunen

3.2 Mogelijke maatregelen en alternatieven

Rivierbodemerosie kan op verschillende manieren worden aangepakt. Het uitgangspunt hierbij is dat de aanvoer en afvoer van sediment (zand en grind) in balans dienen te zijn. Wanneer er meer sediment wordt afgevoerd dan aangevoerd, ontstaat erosie en daalt de rivierbodem. Vanuit deze gedachte zijn er twee hoofdoplossingen om erosie te verminderen:

Suppleren: aanvullen van sediment
Bij suppleren wordt extra zand en grind aan de rivier toegevoegd. Hierdoor wordt het door erosie verdwenen sediment jaarlijks aangevuld, waardoor de rivierbodem op peil blijft. Er wordt bij deze maatregel niets gedaan aan de oorzaak van de bodemerosie.

Suppleren voorkomt een verdere daling van de rivierbodem, waardoor condities voor de scheepvaart, natuur en zoetwaterbeschikbaarheid langs de rivier niet verder achteruitgaan. Het voorkomt ook dat de afvoerverdeling bij laagwater nog verder scheefgroeit en grondwaterstanden buiten- en binnendijks niet verder verslechteren. Met suppleties gericht op handhaving van de huidige bodemligging wordt vooral voorkomen dat de situatie voor de rivierfuncties nog verder achteruitgaat, maar het

leidt niet tot een verbetering of een toekomstbestendig en goed functionerend systeem in een veranderend klimaat.

Barneveld et. al (2025) laat zien dat door jaarlijks structureel de diepere erosieve delen van de Waal te suppleren de bodemerosie kan worden gestopt, zie paragraaf 2.1. Voor de Waal is uiteindelijk continu jaarlijks ongeveer 150.000 m3 sedimentsuppletie nodig, en voor de IJssel ongeveer 40.000 m3. Suppleren is een snelle en flexibele maatregel, maar van tijdelijke aard en moet continu worden herhaald. Opgemerkt wordt dat grootschalige jaarlijkse suppleties de dynamiek in het riviersysteem vergroot; het systeem wordt voortdurend een beetje uit balans gebracht. Het vaargeulonderhoud zal daardoor kunnen toenemen.

Verruimen van het rivierbed met een meergeulensysteem
Bij verruiming wordt het rivierbed tussen de dijken verbreed. Dit verlaagt de stroomsnelheid van het water, waardoor sediment minder snel wordt afgevoerd. Op deze manier wordt de oorzaak van erosie direct aangepakt. Een duurzame vorm van rivierverruiming is het meergeulensysteem. Dit systeem vergroot de ruimte voor de rivier door extra geulen naast de hoofdgeul aan te leggen. Bij middelhoge en hoge waterstanden stroomt een deel van het water via de nieuwe geulen, waardoor de stroomsnelheid in de hoofdgeul afneemt en de erosie vermindert.

Synergie met de rivierfuncties treedt vooral op wanneer naast de verruiming ook het zomerbed wordt versmald. In dat geval gaan de rivierwaterstanden tijdens lage afvoeren omhoog wat gunstig is voor scheepvaart, de natuur in de uiterwaarden, zoetwaterinnamepunten en - zij het beperkt - grondwaterstanden in buiten- en binnendijkse gebieden. Versmalling en hogere laagwaterstanden op de Waal zorgen er bovendien voor dat meer water via het Pannerdensch Kanaal en de IJssel wordt afgevoerd. Dit is gunstig voor de vullingsgraad van het IJsselmeer en vergroot het regelbereik van stuw Driel.

Het meergeulensysteem kan op verschillende manieren worden vormgegeven. Belangrijke bouwstenen hiervan zijn langsdammen, kribverlengingen, oevergeulen en uiterwaardgeulen. Deze kunnen in de praktijk worden gecombineerd, afhankelijk van het doelbereik, de inpassing, de eigenschappen van het riviertraject, de synergie met de rivierfuncties en het draagvlak bij de regionale gebiedspartners. In deze studie zijn twee onderzoeksvarianten opgesteld (zie 2.4.2) om meer inzicht op te doen over de werking van het meergeulensysteem op de Waal:

- Oevergeulen (variant-OG). Waarbij een langgerekte (stenen) dam in de rivier wordt aangelegd en de bestaande kribben worden verwijderd. Hierdoor ontstaat een parallel gelegen oevergeul die het zomerbed verbreedt tijdens hogere rivierafvoeren. Om tegelijktijdig de waterstand bij lage afvoeren te verhogen wordt de hoofdgeul versmald door de langsdam bij de oevergeulen rivierwaarts te plaatsen. Een voorbeeld zijn de langsdammen bij Tiel;
- Uiterwaardgeulen (variant-UG): Er wordt een nevengeul aangelegd die de uiterwaard inloopt. De kribben blijven behouden en worden verlengd waardoor de hoofdgeul wordt versmald.

De kern van het meergeulensysteem is de combinatie van versmalling en verruiming. De verruiming zorgt voor vermindering van de erosie en daarmee voor stabilisering van het zomerbed, de versmalling zorgt voor opzet van waterstanden en daarmee verbetering van de situatie voor scheepvaart, zoetwaterbeschikbaarheid en natuur.

3.3 Aandachtspunten bij het ontwerp van een meergeulensysteem

Een goed functionerend meergeulensysteem vraagt om voldoende ruimte in het volledige winterbed, inclusief het zomerbed en de uiterwaarden. Voor een effectieve aanpak van bodemerosie zijn lange, goed ontworpen aaneengesloten trajecten nodig met geulen die het zomerbed verbreden. Daarentegen is voor het opzetten van laagwaterstanden juist een versmalling van de hoofdgeul vereist, die alleen effect heeft bij lage afvoeren. Het morfologische effect van de versmalling wordt bij hogere afvoeren gecompenseerd door de rivier extra te verruimen (extra brede oever- en/of uiterwaardgeulen).

Een meergeulensysteem moet ver benedenstrooms worden doorgetrokken
Het meergeulensysteem werkt alleen als het over het gehele erosieve traject wordt doorgevoerd. Dat betekent dat het meergeulensysteem voor de Waal vanaf de Pannerdensche Kop tot in het aanzandende traject op de Beneden-Waal, tot ongeveer voorbij Zaltbommel (rkm 940-945) moet worden aangelegd om de erosie op te lossen. Ook vanuit het oogpunt van bevaarbaarheid is het belangrijk om het meergeulensysteem over een groot traject door te trekken zodat de opzet van de lage waterstanden goed wordt opgebouwd en ook niet wordt onderbroken door hiaten. De huidige inschatting is tot aan het bestaande langsdammentraject bij Tiel.

Een meergeulensysteem vraagt om continuïteit en zorgvuldige ruimtelijke inpassing
Beide varianten van een meergeulensysteem kunnen de erosie van het zomerbed sterk verminderen en mogelijk op termijn volledig stoppen. Het principe werkt, maar de analyse laat zien dat aansluiting en opeenvolging van geulen cruciaal zijn. Een geleidelijke verruiming zonder abrupte sprongen is noodzakelijk. Waar geulen niet goed aansluiten – door overlap of juist ontbrekende verbindingen – ontstaan ongewenste erosie en sedimentatie. Op trajecten met beperkte ruimte, bijvoorbeeld waar dijken dicht bij de rivier liggen, functioneert het meergeulensysteem niet. Dit belemmert het behalen van de doelstellingen (zie figuur 2.15).

In de basis bieden uiterwaardgeulen minder mogelijkheden voor optimalisatie dan oevergeulen. Ze vragen meer ruimte en vormen een grotere opgave voor ruimtelijke inpassing in de uiterwaarden, wat gevolgen heeft voor de bestaande rivierinrichting. Daarbij kunnen ze stuiten op diverse knelpunten, zoals hoogwatervrije terreinen, diepe zandwinplassen, bestaande geulen en beschermingszones nabij dijken.

Kansen voor de natuur, maar mogelijk extra verruiming nodig
Het meergeulensysteem is een grote systeemingreep, die veel potentie heeft voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit en kan zorgen voor een betere verbinding tussen de hoofdgeul en de uiterwaarden door geleidelijke overgangen tussen land en water. Het meergeulensysteem kan daarom goed aansluiten bij het RvdR 2.0 beleidsdoel herstel natuurlijke rivierdynamiek. En het versterken van de PAGW doelen: areaal, dynamiek, verbindingen (corridor Waal) en habitatvariatie.

De evaluatie van de pilot langsdammen op de Waal (Mosselman *et al*., 2021) bevestigt dat oevergeulen een positief effect hebben op riviernatuur. Dit komt doordat de invloed van scheepvaart (golfslag en geluid) op de oeverzone sterk afneemt, wat gunstig is voor vis en macrofauna. Er ontstaat een duidelijke

functiescheiding tussen natuur en scheepvaart. Daarnaast treedt oevererosie op langs de geulen, waardoor steilranden ontstaan die geschikt zijn als habitat voor soorten zoals de oeverzwaluw. Daarnaast wijzen waarnemingen erop dat langsdammen met oevergeulen vooralsnog geen negatief effect hebben op zandafzetting op de oevers.

Mosselman *et al*. (2021) wijzen erop dat de habitatdiversiteit kan toenemen met een meer natuurvriendelijke scheiding. Dit zou gerealiseerd kunnen worden door bijv. eilanden achter de langsdam te ontwerpen. Dergelijke varianten vragen echter meer ruimte en kunnen door natuurlijke begroeiing invloed hebben op waterstanden en stroming. Om te waarborgen dat de benodigde afvoeronttrekking door de oevergeul behouden blijft en bodemerosie wordt tegengegaan, is extra verruiming nodig. Dergelijke ontwerpoptimalisaties vanuit natuurontwikkeling en ecologische waterkwaliteit zijn nu nog niet onderzocht.

Ook voor de KRW-arealen is er potentie om de kwaliteit voor stromend aquatisch ondiep habitat te vergroten. Tenslotte kan het een bijdrage leveren aan een van de doelstellingen van de Natuurherstelverordening door het herstel van natuurlijke verbindingen van rivieren met hun vloedvlakte. De exacte natuurwinst kan echter pas specifiek gemaakt worden bij een concrete invulling en ontwerp van het MGS in de uiterwaarden. Daar valt of staat de winst mee.

Versmallen van de hoofdgeul en de laagwater afvoerverdeling
De studie *Uitwerking Meergeulensysteem Waal* (De Jong *et al*., 2025; Maas *et al*., 2025) laat overwegend positieve effecten zien voor vrijwel alle rivierfuncties, zoals natuurontwikkeling, bevaarbaarheid en hoogwaterveiligheid.

De potentie voor herstel van de laagwaterafvoerverdeling komt in de uitgevoerde D-Hydro-berekeningen (variant-UG en variant-OG) echter beperkt naar voren. Dit bevestigt het beeld uit de laagwaterstudie (hoofdstuk 2.2.3): de effectiviteit van versmalling wordt sterk beïnvloed door het meestromen van oever- of nevengeulen (Gensen et al., 2025b). In de berekeningen lag de focus op het terugdringen van bodemerosie, waardoor drempels en langsdammen relatief laag zijn ontworpen (tot OLA-niveau). Het ophogen van instroomdrempels van de geulen kan gunstig zijn voor laagwaterverdeling, maar nadelig voor natuur. Een zekere afvoer door oever- of nevengeulen blijft cruciaal voor ecologie, ook bij zeer lage afvoeren. Hogere dammen en drempels leiden bovendien tot hogere stroomsnelheden en daarmee extra erosie in het zomerbed. Om dit te compenseren moeten geulen extra worden verruimd, wat meer ruimtelijke inpassing vraagt. De vraag is of dat inpasbaar is. De verwachting is dat de maakbaarheid van de gewenste laagwaterverdeling met een meergeulensysteem op de Waal wat lager moet worden ingeschat dan oorspronkelijk aangenomen (zie hoofdstukken 2.2 en 2.4.7).

De studie *Maakbaarheid afvoerverdeling Rijntakken* (Gensen *et al.* 2025) laat zien dat voor een zo groot mogelijk effect op de verdeling van de afvoer bij laagwater niet alleen de mate van versmalling van het zomerbed van belang is, maar ook de locatie waar deze versmalling begint. Het grootste effect wordt bereikt wanneer de versmalling zo dicht mogelijk bij het splitsingspunt van de Pannerdensche Kop ligt. Vanuit morfologisch oogpunt brengt dit echter risico’s met zich mee, omdat de dynamiek rond het splitsingspunt complex en grotendeels onbekend is.

Kortom: verdere optimalisatie van het meergeulensysteem met ‘verruimen en versmallen’ is noodzakelijk. Een logische vervolgstap is het onderzoeken van het

effect van hogere drempels op grootschalige bodemerosie, afvoerverdeling en riviernatuur. Een eerste denkrichting is het toepassen van ruimtelijke differentiatie, bijvoorbeeld door alleen op de Boven-Waal drempels en dammen verder te verhogen om de laagwaterverdeling te verbeteren.

Aanvullend suppleren
De studie *Uitwerking Meergeulensysteem Waal* (Maas *et al*., 2025) laat zien dat trajecten zonder verruiming, of juist met extra verruiming door overlappende geulen, ongewenste morfologische effecten veroorzaken. Dit vermindert de effectiviteit en bemoeilijkt de stabilisatie van de rivierbodem.
Hoe groot de resterende erosie zal zijn, hangt af van verdere optimalisaties en mogelijkheden binnen lokale gebiedsuitwerkingen. Locaties die niet optimaal kunnen worden ingepast, zullen grotendeels moeten worden gecompenseerd met sedimentmanagement (baggeren, storten en aanvullend suppleren). Daarnaast kunnen in de praktijk niet alle geulen gelijktijdig worden aangelegd en zal de aanleg meerdere jaren duren. Dit vraagt om aanvullende suppletie om tussentijdse erosie te ondervangen.

Onderhoud vaarweg en geulen
Specifiek voor de morfologie is een optimalisatie van het ontwerp ook nodig om het nodige vaargeulonderhoud (baggeren en storten) te beperken. Dit werd ook duidelijk in eerdere berekeningen met het morfologisch model (Barneveld, *et al*., 2025). Daarbij gaat het om de hoogte en breedte van de inlaatdrempel en eventuele tussenopeningen, de oriëntatie van de drempel ten opzichte van de stroomrichting, een eventuele variatie van de hoogte langs de drempel, het vinden van de optimale locatie van de aftakking van de geul (deze verschilt waarschijnlijk in binnen- en buitenbochten), en de locatie en vormgeving van de overgang tussen geulen aan weerskanten van de rivier.

Daarnaast is regelmatig onderhoud nodig om de werking van de aangelegde oever- en uiterwaardgeulen te behouden. Het is op dit moment niet goed in te schatten hoeveel dat bedraagt. Het beheer en onderhoud van de huidige oevergeulen laten nog geen eenduidig beeld zien en het beschikbare modelinstrumentarium kan hier op dit moment nog geen betrouwbare resultaten genereren.

Klimaat en adaptiviteit
Voor alle rivierfuncties geldt dat de gevolgen van klimaatverandering op de lange termijn veel groter zullen zijn dan het positieve effect van een meergeulensysteem. Toch helpt een meergeulensysteem om te voorkomen dat deze functies eerder, vaker en sterker onder druk komen te staan.

Het meergeulensysteem is in beperkte mate adaptief, omdat het gebaseerd is op een fysieke ingreep. Na aanleg kan het effect van de ingreep worden bijgestuurd door de hoogte van de instroomdrempels van de geulen aan te passen. De omvang van dit regelbereik is echter nog onvoldoende onderzocht. De mate van adaptiviteit ten aanzien van eventuele vergroting van de geulen lijkt beperkt. Dit lijkt voor uiterwaardgeulen een grotere belemmering te zijn dan voor de oevergeulen.

3.4 Aanvullende maatregelen

Aanvullende maatregelen voor de gewenste afvoerverdeling laagwater blijven nodig
Om de gewenste laagwater-afvoerverdeling - voorlopig gedefinieerd als een minimale afvoer van 285 m^3/s naar de IJssel en 30 m^3/s naar de Nederrijn bij 1.300 m^3/s Boven-Rijnafvoer - te bereiken, volstaat niet één maatregel, maar is een combinatie van ingrepen nodig die bovendien grootschalig zijn. Dit houdt in ieder geval een versmalling van 30 m over de gehele Waal (I) in. Deze maatregel levert ordegrootte 20 m^3/s extra afvoer naar de IJssel bij 1.300 m^3/s. Dat betekent dat aanvullende maatregelen nodig zijn om de voorlopig gewenste afvoerverdeling te behalen. Gedacht kan worden aan een verruiming bij lage afvoeren op de Boven-IJssel (II), verdere bodemophoging van de Waal (III) en/of bodemverruwing (IV) van de Waal en (V) de aanleg van een bypass bij de Hondsbroeksche Pleij.

Wat met aanvullende maatregelen kan worden bereikt, hangt af van het ontwerp, de beschikbare ruimte voor de scheepvaart en de mogelijkheden om bodemerosie terug te dringen. Het stoppen van (ongelijkmatige) rivierbodemerosie heeft, bezien vanuit de afvoerverdeling bij laagwater, hoge prioriteit, omdat verdere erosie van de Waalbodem het realiseren van de gewenste verdeling steeds lastiger maakt. Met andere woorden: hoe eerder wordt ingegrepen, hoe minder de opgave groeit.

Op lange termijn ook extra maatregelen nodig voor bevaarbaarheid
Als het zomerbed niet wordt versmald, zijn op korte termijn al maatregelen nodig om de bevaarbaarheid op de Waal op peil te houden. De meest urgente maatregel betreft een aanpassing van de vaste laag bij Nijmegen, die bij laagwater het grootste diepteknelpunt voor de beroepsvaart vormt.

Door klimaatverandering zal de gewenste waterdiepte (OLR -2,8 m op de Waal) steeds vaker niet beschikbaar zijn. Uit berekeningen voor het nulalternatief IRM blijkt dat de waterdiepte over grote trajecten op de Boven-Rijn en de Waal gedurende 10–20 dagen per jaar minder is dan de norm van 2,8 m (huidig klimaat, bodemligging 2018). Dit sluit nog net aan bij internationale afspraken (CCR). In het WHdry-klimaatscenario neemt dit in 2050 toe tot ongeveer 40 dagen per jaar.

De Stresstest Droogte van het programma KBN HVWN toont bovendien aan dat alleen vaargeulonderhoud niet toereikend is: vaste bodemlagen en kabels en leidingen vormen dan steeds vaker een obstakel en moeten worden aangepast.

Versmalling van de Waal vergroot weliswaar de waterdiepte, maar is onvoldoende om het effect van klimaatverandering aan het einde van deze eeuw te compenseren. Volgens de KNMI’23-scenario’s kan de OLA (de rivierafvoer die 20 dagen per jaar wordt onderschreden; nu 1.020 m^3/s) richting het eind van deze eeuw met circa 200 m^3/s (ca 20%) afnemen, zie o.a. Ter Maat *et al.* (2024). Een versmalling van 30m (ca 11%) is daarvoor niet voldoende; er zou ongeveer 50m nodig zijn. Deze mate van versmalling binnen het meergeulensysteem is nog niet onderzocht maar raakt onmiskenbaar de nautische veiligheid en vergroot de kans op bodemerosie.

Maatregelen op de andere Rijntakken
Stabilisatie van de rivierbodem van de Waal moet in samenhang worden bekeken met de andere riviertakken, zoals het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel, omdat maatregelen in één tak directe effecten hebben op de andere takken. Een

hogere afvoer naar de Waal door een meergeulensysteem verandert de overstromingsfrequentie en het meestromen van bestaande nevengeulen. Vanuit 'goed waterbeheer' vraagt dit om compensatie, bijvoorbeeld door verruiming van het Pannerdensch Kanaal om de waterverdeling bij normale afvoeren stabiel te houden.

Uit eerdere verkenningen is nog geen compleet pakket aan kansrijke maatregelen beschikbaar, maar op basis van expert-judgement geldt:

- In de IJssel past een meergeulensysteem minder goed bij de (historische) eigenschappen van de rivier. Het meergeulensysteem past wel goed bij de Waal, benedenstrooms van Nijmegen. Vroeger had dit deel van de Waal namelijk het karakter van een meergeulensysteem met eilanden in de rivier (anastomoserend riviertype).
- In het Pannerdensch Kanaal kunnen wel nevengeulen worden overwogen, maar effecten op morfologie en bodemstabilisatie zijn nog onbekend.
- Verbreding van de Boven-IJssel veroorzaakt extra erosie benedenstrooms; extra verruiming elders is nodig. De eerder onderzochte verbreding was te ruim en leidde tot aanzanding.
- Aansluiting van Het Zwarte Schaar lijkt kansrijk voor bodemstabilisatie van Pannerdensch kanaal en Boven-IJssel, maar kan ondieptes veroorzaken en vraagt een regelwerk waardoor de scheepvaart al bij wat verhoogde afvoeren via deze meander moet varen.

3.5 Reflectie vanuit scheepvaart (TEN-T-verordening)

Specifiek vanuit het oogpunt van bevaarbaarheid is van belang hoe mogelijke beleidkeuzes en mogelijke maatregelen zich verhouden tot de TEN-T-verordening, en dan specifiek de daarin opgenomen meetlat van het verbod op verslechtering van de goede bevaarbaarheid.

De optie waarbij uitsluitend met behulp van suppletie de bodem wordt gestabiliseerd, leidt weliswaar tot stabilisering van de nautische knelpunten, maar het biedt geen ruimte voor het operationeel waterbeheer en de wensen vanuit DP Zoetwater. De opties waarbij sprake is van opzet van de waterstand bij lage afvoeren door middel van een meergeulensysteem bieden compensatie voor watertransport tijdens droogte en (gedeeltelijk) herstel van de afvoerverdeling. De optie met een meergeulensysteem leidt tot een situatie die niet strijdig is met het verbod op achteruitgang van de goede bevaarbaarheid.

Herstel van de afvoerverdeling bij lage afvoeren met suppleties – zonder aanvullende maatregelen – leidt tot een afname van de vaardiepte op de Waal bij lage rivierafvoeren. Verhoging van het zomerbed tussen Nijmegen en Pannerden leidt tot vermindering van de nautische knelpunten aldaar, maar het effect van de afname van vaardiepte door verschuiving van de afvoerverdeling kan aanzienlijk groter zijn en daarmee strijdig met het beginsel van geen achteruitgang van de goede bevaarbaarheid. De opties waarbij sprake is van opzet van de waterstand bij lage afvoeren door middel van een meergeulensysteem bieden compensatie voor de afname van afvoer naar de Waal.

Een verruiming van de Boven-IJssel is wenselijk vanuit de smalle vaargeul daar (mede als gevolg van voortschrijdende bodemerosie). In dat licht is de beoogde verruiming van de Boven-IJssel zeer wenselijk. Echter leidt verruiming *sec* tot een grotere dwarsdoorsnede en daarmee tot daling van de waterspiegel en de

vaardiepte. Onderzoek van Deltares (Groenewege & Sloff, 2025) naar de scheepvaarteffecten van RvdR 2.0 geeft aan dat de extra afvoer naar de IJssel onvoldoende is om afname van vaardiepte te voorkomen. Alleen wanneer de verruiming van de Boven-IJssel wordt geflankeerd door maatregelen die de afname van de vaardiepte compenseren (bv aantakken van het Zwarte Schaar), lijkt er geen sprake te zijn van een situatie die strijdig zou zijn met het verbod op achteruitgang van de goede bevaarbaarheid.

Hoewel de keuzes bij de verdeling van de extra afvoer bij hoogwater in theorie zouden kunnen leiden tot een conflict met de te behouden doorvaarthoogte van bruggen, blijkt uit nader onderzoek (Ligtenberg en Weekhout, 2025) dat dit in de praktijk zeer waarschijnlijk nooit zal leiden tot hinder voor de scheepvaart. Reeds bij de huidige maatgevende hoogwaterafvoer van 16.000 m^3/s staan namelijk alle terminals, loskades en haventerreinen (op een enkele bij Kampen en Zwartsluis na) onder water en kunnen niet meer worden gebruikt voor overslag. Sowieso geldt in deze situatie, dat Duitsland al bij een afvoer van ca. 9.350 m^3/s het scheepvaartverkeer op het Duitse deel van de Rijn heeft gestremd ter bescherming van de dijken aldaar. Realistisch gezien is er bij Lobithafvoeren van 16.000 m^3/s geen scheepvaart meer en zijn keuzes en maatregelen omtrent de afvoeren boven dat afvoerniveau niet meer relevant voor de bevaarbaarheid.

3.6 Hoogwater en laagwater in samenhang

Lek ontzien staat nog overeind
Het huidige beleidsuitgangspunt voor de afvoerverdeling (de 'beleidsmatige afvoerverdeling') is dat de Lek wordt ontzien. Bij een Rijnafvoer van 16.000 m^3/s wordt een vaste verdeling nagestreefd; bij hogere afvoeren (17.000–18.000 m^3/s) wordt het surplus boven 16.000 m^3/s volgens een 80/20-verdeling toegewezen aan respectievelijk de Waal en de IJssel. Volgens het ENW-advies (nr 21-04, 27 juli 2021) en het vooronderzoek van Rijkswaterstaat en Deltares (Klijn *et al*, 2024) zijn er nog altijd goede redenen om deze bescherming van de Lek te handhaven.

De door IRM in 2024 geformuleerde werkhypothese, dat een optimale afvoerverdeling tussen 80/20 en 50/50 ligt, blijft daarmee valide. Wel lijkt een verdere aanscherping richting een verhouding van circa 2/3 – 1/3 realistisch. Dit heeft te maken met:

- de omvangrijke ingrepen die nodig zijn op de Boven-Waal om 80% van de afvoer richting de Waal te sturen, en
- de eveneens grote ingrepen die nodig zijn op de Boven-IJssel om de Nederrijn-Lek voldoende te ontzien bij een 50/50-verdeling.

Het *Consortium Ruimte en Afvoercapaciteit* onderzoekt momenteel welke afvoercapaciteit langs de rest van de IJssel en de Waal hiervoor nodig zou zijn. Een uitgebreide analyse van de consequenties voor de Rijn-Maasmonding en het IJsselmeer heeft nog niet plaatsgevonden.

Het meergeulensysteem biedt kansen en bedreigingen voor waterveiligheid
Een meergeulensysteem op de Waal kan leiden tot ongeveer 20-25 cm lagere waterstanden tijdens hoogwater (zie Figuur 2.16), en daarmee niet alleen bijdragen aan waterveiligheid, maar ook bij hoge rivierafvoeren meer afvoer naar de Waal trekken, tot 200 m^3/s extra bij extreme afvoeren. Het meergeulensysteem maakt zo de huidige beleidsmatige verdeling van 80/20 langer houdbaar.

Het surplus van een afvoer van 17.000 m^3/s kan met de huidige inrichting en regelwerken in de uiterste stand net verdeeld worden volgens 80/20. Verdelingen van 2/3-1/3 en 50/50 zijn zonder aanvullende verruimingsmaatregelen op de Waal haalbaar. Voor een verdeling 50/50 is verruiming in de bovenloop van de IJssel nodig, bijv. via extra inzet vanuit het Rivierklimaatpark IJsselpoort. Met een meergeulensysteem komen de regelwerken meer in de middenstand te staan; ook bij een verdeling van 2/3-1/3.

Het surplus van een afvoer van 18.000 m^3/s is met de huidige inrichting en regelwerken in de uiterste stand niet te verdelen volgens 80/20 zonder grote ingrepen op de Boven-Waal. Een meergeulensysteem is daarvoor niet voldoende, maar zou wel een verdeling richting 2/3-1/3 mogelijk maken. Voor het ontzien van de Nederrijn-Lek zijn dan nog wel maatregelen rond de Boven-IJssel nodig.

Een meergeulensysteem op de Waal zou zonder aanvullende maatregelen en met de regelwerken in de middenstand leiden tot een surplusverdeling van 74/2/28 bij een afvoer van 17.000 m^3/s en een verdeling van 62/10/28 bij een afvoer van 18.000 m^3/s (figuur 2.7).

Tot slot wordt opgemerkt dat de aanleg van een meergeulensysteem de opties voor aanvullende verruiming op de Waal beperkt. De Blokkendoos Ruimte voor de Rivier bevat honderden mogelijke rivierverruimende maatregelen. Veel van die maatregelen kunnen mogelijk niet meer worden gerealiseerd wanneer eerst een meergeulensysteem wordt aangelegd in de uiterwaarden. Voor andere maatregelen zijn vermoedelijk aanpassingen in het ontwerp nodig, om te voorkomen dat de effectiviteit van het meergeulensysteem om de grootschalige bodemerosie te stoppen afneemt.

3.7 Integrale effectbepaling

Om te komen tot een samenvattend overzicht van de verwachte effecten, is o.a. gebruik gemaakt van het beoordelingskader zoals voorgesteld door het Consortium Ruimte en Afvoercapaciteit (2025). Voortbordurend op de effectbepalingsmethodiek van Asselmans et al. (2022) voor het IRM nulalternatief, zijn de effecten van beide uitvoeringvarianten (OG en UG) op de rivierfuncties afgeleid. De effectbepaling voor de varianten referentie en suppleties zijn ongewijzigd t.o.v. de eerdere versie van het syntheserapport (voorjaar, 2025)

De uiteindelijke effectbepaling is op 2 manieren vertaald naar een effectentabel:

1. Samenvattende hoofdtabel met de hoofdbevindingen van de 3 alternatieven op de rivierfuncties
2. Meer complete en inhoudelijk gevulde tabel met onderscheid tussen hoofd- en aanvullende criteria.

Samenvattende hoofdtabel 'Effecten op rivierfuncties'
De maatregelen en de referentie zijn hierbij gescoord ten opzichte van de situatie van dit moment, en geven kwalitatief aan in hoeverre de situatie verbetert dan wel verslechtert door niets te doen (geen nieuw beleid, referentie) en door actief in te grijpen. Daarvoor zijn allereerst suppleties op de Waal en meergeulensysteem-varianten beschouwd. Daarnaast is aangeven in hoeverre aanvullende maatregelen op PK en Boven-IJssel kunnen zorgen voor een verdere verbetering van de situatie.

Voor de score is gekeken is naar de concrete rekenresultaten vanuit onderzoeksvarianten in de BOA studies en naar de potentie van die varianten, vanuit een expert judgement inschatting van de mogelijkheden voor verdere optimalisatie van de onderzoeksvarianten: maatwerk & optimalisatie is mogelijk t.b.v. groter doelbereik en grotere synergie.

Tabel 3.1: Effecten op rivierfuncties

	Rivierbodem-daling	Zoetwater-verdeling	Scheepvaart	Ecologie	Waterveilig-heid
Referentie: nulalternatief	--	--	--	--	+
Suppleties Waal	+	0	-	0	0
MGS: Langsdammen en oevergeulen Waal	+	+	+	+	++
MGS: Kribverlenging en uiterwaardgeulen Waal	+	+	+	++	+
*Aanvullende maatregelen Pannerdensch Kanaal & Boven-IJssel**	++	++	0/+	+	0

** doelbereik en effecten van de aanvullende maatregelen hangen uiteindelijk af van de gekozen maatregelen. In deze analyse is ingezet op de optimale combinatie van aanvullende maatregelen*

Toelichtingen op de scores:

- Suppleties zorgen voor stabilisatie van de huidige rivierbodemligging en geven geen verandering van de situatie voor zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid en natuur. Scheepvaart zal hinder ondervinden tijdens suppleren door extra B&O.
- Beide meergeulensysteem onderzoeksvarianten geven een verbetering op alle functies. Verschillen tussen beide zien we bij waterveiligheid. Daar zorgen “oevergeulen en langsdammen” voor meer verruiming die doorwerkt in waterstandsdaling bij hoge en extreme afvoeren, en ook zorgt voor extra afvoer naar de Waal, waarmee de huidige beleidsmatige afvoerverdeling langer houdbaar is. Bij “uiterwaardgeulen en kribverlenging” zorgen kribverlengingen in deze onderzoeksvariant voor extra weerstand, die de waterstandswinst en effect op afvoerverdeling (deels) opheft. Deze is echter wellicht te optimaliseren via kribverlaging. Beide varianten zorgen voor verbetering op natuur, waarbij uiterwaardgeulen meer areaalvergroting bieden en gunstiger uitpakken qua potenties op o.a. “connectiviteit en overstromingsduur”. Daarbij moet worden bedacht dat langsdammen uiteindelijk ook kansen bieden voor aanleg van “kleinere geulen” in de uiterwaard zonder bezwaren voor scheepvaart en waterveiligheid.
- De aanvullende maatregelen op Pannerdensch kanaal en Boven-IJssel trekken stabilisatie van de rivierbodemligging door naardie riviertakken, en kunnen met name effect op zoetwaterbeschikbaarheid (meer water naar de IJssel) vergroten.

Bijlage B beschrijft de effecten van de verschillende oplossingsrichtingen in meer detail. Opvallende conclusies daaruit zijn:

- Voortzetten van het huidige beleid leidt tot doorgaande erosie en verslechtering van bijna alle functies. Alleen op waterveiligheid en uitvoerbaarheid scoort dit referentie- of nulalternatief positief. De rivierbodemerosie leidt immers tot iets lagere hoogwaterstanden.

- Alle maatregelen leiden tot een positief doelbereik t.a.v. de rivierbodemstabilisatie
- Suppleties hebben geen positieve uitwerking op de rivierfuncties, maar scoren goed op adaptiviteit. De bevaarbaarheid krijgt een toename aan hinder bij de periodieke suppleties. Om bij te dragen aan de vanuit de functies gestelde doelen zijn extra maatregelen nodig.
- Een meergeulensysteem, in beide uitvoeringsvarianten, scoort op veel criteria positiever dan suppleren. De rivierfuncties, ruimtelijke kwaliteit en duurzaamheid scoren beter.
- Een meergeulensysteem met uiterwaardgeulen heeft aanzienlijk meer natuurwaarde dan een systeem met oevergeulen
- Ook voor een meergeulensysteem, in beide uitvoeringsvarianten, geldt dat de bijdrage aan het doelbereik van de functies kan worden verbeterd met aanvullende maatregelen.
- Adaptiviteit scoort minder goed voor beide meergeulensysteemvarianten, waarbij de adaptiviteit in eerste instantie in drempelhoogte gezocht kan worden. Als dat onvoldoende blijkt te zijn, zijn meer ingrijpende ruimtelijke maatregelen nodig die impact hebben op het ruimtebeslag.
- De ruimtelijke kwaliteit gaat er het meest op vooruit bij de variant uiterwaardgeulen. Bij deze variant liggen de grootste kansen op een integrale gebiedsontwikkeling.
- Op het thema duurzaamheid scoort suppleties het slechtst, gevolgd door de constructie variant met de langsdammen (stortsteen). De uiterwaardgeulen hebben daarentegen een positieve bijdrage op duurzaamheid wanneer er goed wordt aangesloten bij het DNA van de rivier.
- Het effect van de aanvullende maatregelen is sterk afhankelijk van de geselecteerde maatregelen. Wanneer voor de afvoerverdeling hoogwater wordt gekozen voor grootschalige binnendijkse maatregelen, dan biedt dit veel kansen voor natuur (uitbreiding areaal en afhankelijk van de inrichting van het gebied ook diversiteit en connectiviteit).

3.8 Kostenramingen Suppleren en meergeulensysteem

Uitgevoerde kostenramingen voor de mogelijke rivierbodem-maatregelen op de Waal (suppleren en de 2 meergeulensysteem-varianten) geven een beeld van investeringskosten en instandhoudingskosten voor deze maatregelen. Voor beide varianten van het meergeulensysteem blijkt dat, naast een beperkt verschil in investeringskosten (voor de bouw van langsdammen en kribverlengingen en de aanleg van geulen), vooral de onderhoudskosten bepalend zijn voor de totale kosten en voor het verschil tussen de twee varianten. In die post zitten ook de grootste onzekerheden. Benodigde omvang van suppleties, vooruitlopend op realisatie van geulen en als aanvullende suppletie na realisatie van het systeem, is nog niet nauwkeurig in te schatten. Hetzelfde geldt voor benodigd onderhoud (baggeren en storten) voor de hoofdgeul en voor oevergeulen dan wel uiterwaardgeulen.

Het verschil in instandhoudingskosten tussen de beide varianten van het meergeulensysteem wordt veroorzaakt door aannames ten aanzien van benodigd aanvullend suppleren en benodigd onderhoud in de hoofdgeul en in nevengeulen. Hier is uitgegaan van een expert-judgement-inschatting, een werkelijke rivierkundige doorrekening van volumes daarvoor is nu niet mogelijk. Die inschatting kent grote onzekerheden, en weerspiegelt daarbij de grotere onzekerheid voor dergelijk suppleren en onderhoud bij de uiterwaardgeulen. Van

belang is daarbij dat de beide onderzoeksvarianten – oevergeulen met langsdammen en uiterwaardgeulen met kribverleningen – hier strikt op kosten zijn doorgerekend, vanuit de schetsen en schematisaties zoals ze ook hydraulisch zijn doorgerekend. Met alle kenmerken dus van die schetsen, zonder verdere optimalisaties

De kosten voor de varianten oevergeulen en uiterwaardengeul zijn samen te zien als een bandbreedte voor de kosteninschatting van een meergeulensysteem.

- Reële kosten: 2,9 tot 3,7 miljard
- Bandbreedte van P15 tot P85: 1,8 tot 5,0 miljard

Dit gezien aangegeven onzekerheden, uitkomsten na optimalisaties van de ontwerpschetsen, en gezien het feit dat beide varianten voor een optimaal systeem te combineren zijn.

4 Conclusies, advies en aanbevelingen

4.1 Introductie

De afgelopen jaren zijn binnen de beleidsondersteuning en advisering (BOA) diverse onderzoeken uitgevoerd ter ondersteuning van Ruimte voor de Rivier 2.0. Dit synthesedocument beschrijft deze afzonderlijke onderzoeken, brengt de onderlinge samenhang in beeld en geeft een overzicht van de belangrijkste inzichten.

De onderzoeken richten zich vooral op de beleidsbeslissing rond de rivierbodemligging van de Rijntakken en de daaraan gekoppelde rivierfuncties. Daarnaast en daarbij is aandacht besteed aan de afvoerverdeling over de Rijntakken, zowel bij lage als bij hoge afvoeren

In deze onderzoeken is verkend op welke manier de grootschalige rivierbodemerosie kan worden gestopt. Er zijn verschillende manieren om de rivierbodemerosie aan te pakken. Het belangrijkste uitgangspunt is dat de aanvoer en afvoer van sediment (zand en grind) in balans moeten zijn. Als er meer sediment wordt afgevoerd dan aangevoerd, ontstaat er erosie en daalt de bodem.

Vanuit deze gedachte zijn twee alternatieven in beeld en onderzocht:

1) Grootschalige sedimentsuppleties. Bij suppleren wordt extra zand en grind aan de rivier toegevoegd. Zo wordt het sediment dat jaarlijks door erosie verdwijnt, weer aangevuld. Op die manier blijft de rivierbodem op peil.
2) Meergeulensysteem op de Waal. Het meergeulensysteem gaat uit van een herinrichting van het rivierbed. Het concept is als volgt: een meergeulensysteem vergroot de ruimte voor de rivier door extra geulen naast de hoofdgeul aan te leggen. Bij middelhoge en hoge waterstanden stroomt een deel van het water via de nieuwe geulen, waardoor de stroomsnelheid in de hoofdgeul afneemt en de erosie vermindert. Synergie met de rivierfuncties treedt vooral op wanneer naast de verruiming ook het zomerbed wordt versmald. In dat geval zullen de rivierwaterstanden tijdens lage afvoeren omhooggaan.

Er zijn verschillende mogelijkheden om het meergeulensysteem vorm te geven. Twee onderzoeksvarianten zijn specifiek verkend:

i. Een oevergeulen-variant (variant-OG), waarbij de versmalling gerealiseerd wordt met constructieve langsdammen. Daarbij worden bestaande kribben verwijderd, en vervangen door een langsdam die ten opzichte van de bestaande kribkoppen meer naar het midden van de vaargeul wordt aangelegd, en zo de hoofdgeul versmalt.
ii. Een uiterwaardgeulen-variant (variant-UG) waarbij de versmalling gerealiseerd wordt door de bestaande kribben te verlengen en de geulen verder in de uiterwaard aan te leggen.

4.2 Conclusies uit de onderzoeken

Uit de onderzoeken zijn de volgende conclusies te trekken:

4.2.1 Sedimentsuppleties:

- Met het suppleren van sediment kan de bodem gestabiliseerd worden. De onderzoeken laten zien dat het jaarlijks opvullen van de erosieve delen de meest effectieve uitvoeringsstrategie is. Op deze manier is het mogelijk om binnen ca 10 jaar de bodem te stabiliseren. Het jaarlijkse benodigde suppletievolume bedraagt 150.000 m^3/jaar voor de Waal en 40.000 m^3/jaar voor de IJssel.
- Suppleties nemen de oorzaak van de grootschalige erosie niet weg, de opgave blijft dan ook onverminderd bestaan en de maatregel moet permanent worden herhaald; onderbreking of beëindiging in de toekomst is niet mogelijk.
- Suppleties zorgen voor stabilisatie van de huidige rivierbodemligging en geven daardoor nauwelijks verandering van de situatie voor de waterveiligheid en natuur. Ook de mogelijkheden voor het verbeteren van de laagwater afvoerverdeling zijn beperkt zonder achteruitgang van de bevaarbaarheid.
- Suppleties zijn een adaptieve maatregel die geen ingrijpende gevolgen heeft voor de inrichting van het rivierengebied. Ze zijn bewezen uitvoerbaar, flexibel en eenvoudig aan te passen aan veranderende omstandigheden.
- De conclusie is vooralsnog dat suppleties het beste uitgevoerd kunnen worden met sediment dat dezelfde eigenschappen heeft als het ontvangende rivierbed. Een aandachtspunt daarbij is de beschikbaarheid van geschikt sediment, vooral op de (middel)lange termijn.
- Door het toebrengen van extra sediment zal het vaarwegonderhoud toenemen. Dit lijkt echter beperkt, de mate waarin hangt sterk samen met de manier van uitvoeren.

4.2.2 Meergeulensysteem

Ruimtelijke inpassing en maakbaarheid

- Een ruimtelijk inpasbaar meergeulensysteem werkt op systeemniveau en heeft de potentie om de grootschalige bodemerosie aanzienlijk weg te nemen.
- Daarvoor dient het meergeulensysteem over het gehele erosieve traject op de Waal aangelegd te worden: ongeveer vanaf de Pannerdensche Kop tot voorbij Zaltbommel: 70-75 km.
- Er zijn forse geulen nodig om de bodemerosie te stoppen. De onderzochte varianten zijn realistisch, ruimtelijk inpasbaar en effectief;
- Het uiteindelijke effect op de bodemerosie wordt in belangrijke mate bepaald door de mate waarin het ontwerp wordt geoptimaliseerd ten opzichte van de onderzochte varianten. Hierbij geldt:
    - Het meergeulensysteem dient gelijkmatig te worden aangelegd waarbij de verruiming toeneemt in stroomafwaartse richting.
    - Trajecten zonder verruiming of juist extra verruiming door bijvoorbeeld overlappende geulen veroorzaken ongewenste morfologische effecten, waardoor de effectiviteit afneemt en de stabilisatie van de rivierbodem wordt bemoeilijkt.

- In de uiterwaarden gelden meer ruimtelijke restricties, met name door de bestaande inrichting en gebruik, dan in het zomerbed. Dat maakt optimalisatie voor uiterwaardgeulen lastiger dan voor oevergeulen.
- Aan de zuidkant van de Waal is de ruimte tussen de dijken bij Ooi en Ewijk-Beuningen in de huidige inrichting niet inpasbaar.
- Op basis van de huidige inzichten wordt niet verwacht dat de rivierbodem op grote schaal kan worden opgehoogd door uitsluitend een meergeulensysteem toe te passen. Voor structurele ophoging van de rivierbodem lijkt aanvullende inzet van andere maatregelen, zoals gerichte suppleties, noodzakelijk.

Sedimentmanagement

- De verwachting is dat ook in een geoptimaliseerd meergeulensysteem-ontwerp enkele knelpunten zullen blijven bestaan: locaties waar de bodemerosie niet volledig kan worden weggenomen. Dit kan met aanvullende maatregelen, zoals suppleren, worden gecompenseerd.
- Het jaarlijks vaarwegonderhoud zal toenemen door de aanleg van een meergeulensysteem. Een eerste inschatting gaat uit van jaarlijkse toename van 25% (Barneveld et al., 2025).
- Voor een goede werking van het meergeulensysteem moet de beoogde afvoeronttrekking door de geulen in stand blijven. De beheer- en onderhoudsopgave in de oever- en uiterwaardgeulen kan daardoor substantieel worden, in frequentie en in volumes. Op dit moment is het modelmatig nog niet goed te onderbouwen hoe groot deze inspanning zal zijn. Daarom is als eerste inschatting een expert-oordeel gecombineerd met ervaringscijfers uit het beheer van bestaande nevengeulen toegepast. De beoogde geulen zijn echter aanzienlijk groter dan de huidige nevengeulen in het gebied. Deze inschatting kent dan ook een behoorlijke mate van onzekerheid.

4.2.3 Kosteninschatting: suppleren en meergeulensysteem Waal

Voor de onderzochte rivierbodemmaatregelen op de Waal (suppleren en de twee varianten van het meergeulensysteem) zijn kostenramingen opgesteld. Deze geven een indicatief beeld van zowel de investeringskosten als de instandhoudingskosten. De kostenraming is gebaseerd op de SSK-methodiek, waarbij wordt uitgegaan van 115 jaar: 15 jaar realisatie + 100 jaar instandhouding.

Totale levenscycluskosten

- De kostenraming laat vooral een bandbreedte (onzekerheden) zien die nog bestaat rondom het meergeulensysteem. Deze bandbreedte is opgebouwd vanuit beide varianten en bedraagt 2,9 tot 3,7 miljard. Met de bandbreedte van P15-P85 waarde daar nog om heen geeft dat: 1,8 tot 5,0 miljard.
- De totale kosten voor suppleren zijn minder dan de helft van de kosten van de oevergeulenvariant.
- De totale kosten van de oevergeulenvariant liggen ongeveer 25% lager dan die van de uiterwaardenvariant.

Investeringskosten (bouwfase)

- De investeringskosten van de varianten met uiterwaardgeulen en oevergeulen zijn vrijwel gelijk.

- Bij de oevergeulen vormen de bouwkosten het grootste deel van de totale kosten. De belangrijkste kostenposten zijn de bouw van de langsdammen (ca 50%) en het grondwerk voor de oevergeul (ca 40%).
- De bouwkosten van de uiterwaardgeulen worden voornamelijk bepaald door: grondwerk (ca 80%) en werk aan kribben of oeververdediging (ca 20%).

Instandhoudingskosten meergeulensysteem

- Bij de variant met uiterwaardgeulen vormen de instandhoudingskosten een groot deel van de totale kosten, vooral door hogere verwachte kosten voor sedimentmanagement. Deze kosten zijn noodzakelijkerwijs gebaseerd op aannames ten aanzien van benodigd aanvullend suppleren en benodigd onderhoud in hoofdgeul en nevengeulen (zie bijlage A). Meer zicht op dit punt zal een significante impact hebben op de uiteindelijke kosten.
    - Bij de uiterwaardgeulen is uitgegaan van een hoger suppletievolume dan bij de oevergeulen. Dit is gebaseerd op feitelijke berekeningen van de onderzoeksvarianten, wetende dat het ontwerp nog niet is geoptimaliseerd.
    - Het jaarlijkse bij te suppleren volume na aanleg van een meergeulensysteem met oevergeulen is vanuit de berekeningen ca 1/3 van de hoeveelheid in het alternatief suppleren.
- Een verschil tussen het alternatief 'suppleren' en het 'meergeulensysteem' is dat een groot deel van het sediment uit het onderhoud van de geulen hergebruikt kan worden voor suppleties in de hoofdgeul. De inschatting is dat er geen extra sediment hoeft te worden ingekocht.

4.2.4 Effecten op de rivierfuncties

De effecten op rivierfuncties zijn kwalitatief gescoord ten opzichte van de huidige situatie, voor zowel het referentiescenario (geen nieuw beleid) als voor de alternatieven. Ook is beoordeeld in hoeverre aanvullende maatregelen op het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel de situatie verder kunnen verbeteren. De scoring is gebaseerd op rekenresultaten uit BOA-studies en een expert-oordeel over optimalisatiepotentieel (maatwerk, groter doelbereik, meer synergie). Het resultaat is samengevat in onderstaande tabel.

	Rivierbodem-daling	Zoetwater-verdeling	Scheepvaart	Ecologie	Waterveilig-heid
Referentie: nulalternatief	--	--	--	--	+
Suppleties Waal	+	0	-	0	0
MGS: Langsdammen en oevergeulen Waal	+	+	+	+	++
MGS: Kribverlenging en uiterwaardgeulen Waal	+	+	+	++	+
*Aanvullende maatregelen Pannerdensch Kanaal & Boven-IJssel**	++	++	0/+	+	0

Synergie: bodem, lage waterstanden en zoetwaterverdeling

Met betrekking tot synergie kan het volgende geconcludeerd worden:

- Suppleren biedt nauwelijks kansen voor synergie. Suppleties zorgen voor stabilisatie van de huidige rivierbodemligging en geven daardoor nauwelijks verandering van de situatie;

- Synergie en positieve effecten op rivierfuncties wordt vooral behaald met een meergeulensysteem door naast verruiming met geulen ook te zorgen voor versmalling van het zomerbed bij lage afvoeren. Daarmee worden de laagwaterstanden opgezet. De variant met langsdammen lijkt de laagwaterstanden effectiever te verhogen dan het verlengen van de bestaande kribben.
- De variant met uiterwaarden biedt meer kansen voor de natuur, ecologische waterkwaliteit en de ruimtelijke kwaliteit van het gebied. Deze variant heeft wel het grootste ruimtebeslag in de uiterwaarden, waardoor bestaand landgebruik zal moeten wijzigen.
- Door de aanleg van een meergeulensysteem op de Waal verbetert de bevaarbaarheid. De waterstanden bij lage afvoeren worden tussen de 10 en 20 cm hoger. Daardoor voldoen er meer locaties aan de vereiste waterdiepte bij OLA. Ook het aantal dagen per jaar dat de minimale waterdiepte wordt onderschreden neemt af.
- Het moment van instromen van de geulen bij het meergeulensysteem is bepalend voor de bijdrage aan herstel van de afvoerverdeling bij lage afvoeren. Zodra de waterstand stijgt en de geulen bij het meergeulensysteem gaan meestromen, vermindert de effectiviteit van de versmalling voor het opzetten van de waterstand op de Waal en daarmee het beïnvloeden van de laagwater afvoerverdeling.
- Het ontwerp van de rivierversmalling, voornamelijk de mate van versmallen en de hoogte-maat van de constructie, vraagt om verdere optimalisatie. Het verhogen van de laagwaterstanden op de Waal – ter verbetering van de bevaarbaarheid en de afvoerverdeling bij laagwater –vergroot de risico's op negatieve effecten voor de natuur en vergroot de kans op bodemerosie.
- Om de afvoerverdeling tussen het Pannerdensch Kanaal–IJssel en de Waal bij lage afvoeren verder te herstellen (meer afvoer richting de IJssel), zijn daarnaast aanvullende maatregelen nodig. Welke maatregelen passend zijn, hangt af van de gewenste richting vanuit DP ZW. Mogelijke opties zijn zomerbedverbreding op de Boven-IJssel, een bypass bij de Hondsbroeksche Pleij en verruwing van de Boven-Waal. Deze maatregelen zijn alleen effectief in combinatie met het meergeulensysteem op de Waal.

Afvoerverdeling en waterveiligheid

- Met de verruimingen binnen het meergeulensysteem wordt er tijdens extreem hoge Lobith afvoeren van 16.000, 17.000 en 18.000 m^3/s meer afvoer (circa 200 m^3/s) richting de Waal getrokken dan in de referentie. Dat maakt de huidige beleidsmatige afvoerverdeling (80/20) mogelijk, zonder grote investeringen, tot een afvoer van 17.000 m^3/s en op termijn, bij een afvoer van 18.000 m^3/s, een verdeling richting 2/3 – 1/3.
- Een meergeulensysteem op de Waal is onvoldoende om de verdeling 80/20 bij een afvoer van 18.000 m^3/s te kunnen blijven realiseren. Daarvoor zijn aanvullende maatregelen nodig.
- Een meergeulensysteem heeft een positief effect op de waterveiligheid. Bij zeer hoge afvoeren dalen de waterstanden met ongeveer 25 cm op de Boven- en Midden-Waal en ongeveer 10 cm op de Nederrijn/IJssel.
- Op de Beneden-Waal, waar geen verruiming plaatsvindt, stijgt de waterstand door de grotere afvoer richting de Waal met maximaal 10 cm.
- Oever- en uiterwaardgeulen kunnen effect hebben op kwel en piping. Wanneer deze geulen dicht bij waterkeringen worden aangelegd, neemt de kans op kwel en piping toe.

Zomerbedverdieping IJssel en Het Zwarte Schaar

- De zomerbedverdieping in de IJsseldelta kan gehandhaafd blijven. Ze voldoet aan haar beoogde functie, de nadelen zijn beperkt en beschikbare alternatieven bieden geen overtuigende verbeteringen. Er zijn daarom geen dwingende redenen om de ingreep ongedaan te maken.
- Aansluiting van de oude meander Zwarte Schaar heeft een stabiliserend effect op de rivierbodem van Pannerdensch kanaal en de Boven-IJssel, en is daarmee een kansrijke mogelijkheid voor vermindering van de bodemerosie op die riviertrajecten.
- Klimaatontwikkeling speelt ook, vraagt adaptiviteit van een meergeulensysteem, en kent effecten die een meergeulensysteem niet volledig kan wegnemen.

Klimaat en adaptiviteit

- Suppleren is uitermate adaptief. Afhankelijk van de hoeveelheid waargenomen jaarlijkse erosievolumes kan de suppletieopgave worden bijgesteld. Het is dan ook een maatregel die altijd achter de hand moet blijven;
- De morfologische effectbepaling toont dat de werking van een meergeulensysteem afhankelijk is van het toekomstige klimaat:
    - Bij een gemiddeld droger klimaat stroomt water langer door het versmalde riviergedeelte, wat extra erosie veroorzaakt. Hierdoor kan een meergeulensysteem de transportgradiënt minder goed opheffen.
    - Bij een gemiddeld natter klimaat krijgen midden- en hogere afvoeren meer gewicht, waardoor de transportgradiënt juist sterker wordt teruggedrongen door verruiming van het systeem voor deze afvoeren.
- De hoeveelheid en samenstelling van sediment dat op de Boven-Rijn en Waal vanuit Duitsland binnenkomt, kan in de toekomst veranderen door natuurlijke processen of maatregelen in Duitsland. Dit kan de werking van het meergeulensysteem beïnvloeden, mogelijk met de noodzaak tot aanpassingen.
- Het is daarom belangrijk het meergeulensysteem zo te ontwerpen dat toekomstige aanpassingen mogelijk zijn, bijvoorbeeld aan instroomdrempels, tussenopeningen of de geulafmetingen. Hoe groot deze aanpassingen moeten zijn en of ze voldoende zijn om een brede range van toekomstige ontwikkelingen op te vangen, is nog onduidelijk.

4.2.5 Overkoepelende conclusie

Het stabiliseren van de rivierbodem van de Rijntakken is haalbaar en kan op verschillende manieren worden bereikt: via uitsluitend suppleren, of via een meergeulensysteem eventueel in combinatie met suppleren. Voor het meergeulensysteem geldt dat het effectiever wordt naarmate er meer ruimte wordt gegeven voor inpassing, dit versterkt zowel het tegengaan van bodemerosie als de bijdrage aan verschillende rivierfuncties. In beide alternatieven speelt sedimentmanagement (suppleren, baggeren en terugstorten) een grote rol, en de benodigde inzet hiervan zal toenemen. De exacte omvang hiervan is vooral voor het meergeulensysteem nog onzeker.

De meerwaarde van een meergeulensysteem voor de Waal komt met name tot uiting in de verbetering van ten minste vier rivierfuncties:

- Hogere waterstanden bij lage afvoeren (scheepvaart): ten opzichte van de huidige situatie 10-20 cm meer waterdiepte op de Waal bij laagwater.
- Meer afvoer naar de IJssel bij lage afvoeren (zoetwaterbeschikbaarheid): ten opzichte van de huidige situatie ca 20 m^3/s bij laagwater
- Lagere waterstanden bij hoge afvoeren (waterveiligheid): 25 cm op de Boven- en Midden-Waal en ongeveer 10 cm op de Nederrijn/IJssel.
- Ontwikkeling van nieuw natuurareaal in de vorm van geulen (ecologische waterkwaliteit, landschap en natuur).

Ten opzichte van een referentie (alternatief 'niets doen') zal door de doorgaande bodemerosie de merites groter zijn: richting het jaar 2050 zakt de rivierbodem van de Waal met 30–50 cm, dalen de waterstanden bij lage afvoeren met 30–40 cm en verschuift de afvoerverdeling bij lage afvoeren met circa 25 m^3/s richting de Waal.

Voor een goede balans in het watersysteem zijn nog aanvullende maatregelen nodig, in ieder geval op het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel, om verdere bodemerosie daar te voorkomen en om dichter bij de (door DPZW gewenste) verdeling bij lage afvoeren te komen.

Bij het alternatief 'niets doen' zal de functionaliteit van het riviersysteem sterk verslechteren door aanhoudende bodemerosie, in combinatie met klimaatverandering en vaker voorkomende lage rivierafvoeren. Alleen het alternatief 'meergeulensysteem' versterkt in deze context de robuustheid van het riviersysteem. Het lost de bodemerosie op en verbetert de functionaliteit, waardoor effecten van klimaatverandering kunnen worden gedempt of pas later tot uiting komen. Tegelijkertijd is nog onzeker hoe de functionele levensduur van het meergeulensysteem eruitziet en in hoeverre het systeem op de lange termijn in staat is om deze robuustheid te blijven bieden.

4.3 Advies aan het programma RvdR 2.0

De onderzoeken laten zien met welke maatregelen grootschalige bodemerosie op de Rijntakken kan worden tegengegaan, hoe bij lage afvoeren de waterstanden kunnen worden verhoogd en de afvoer naar de IJssel kan worden vergroot, en met welke ingrepen de afvoerverdeling bij hoge afvoeren kan worden beïnvloed. De onderzochte maatregelen staan daarbij niet op zichzelf. Vanuit de samenhang in het functioneren van het riviersysteem komen de volgende adviezen naar voren voor de verdere ontwikkeling van het programma RvdR 2.0.:

- Geef de hoogste prioriteit aan het stoppen van de bodemerosie op de Rijntakken. Laat dit ook de basis zijn voor verdere maatregelen gericht op laagwaterverdeling, hoogwaterverdeling en afvoercapaciteit.

- Neem de uitkomsten van de onderzoeken ter harte. Om de rivierbodem van de Rijntakken te stabiliseren, zijn er twee haalbare opties: suppleren als toepasbare maatregel op de korte termijn om de huidige situatie niet te laten verslechteren, of een meergeulensysteem als meer structurele oplossing. Beide benaderingen hebben duidelijke voordelen, maar kennen ook specifieke uitdagingen en onzekerheden. Het verdient de aanbeveling om correctieve maatregelen (suppleren) en inrichtingsmaatregelen, die de robuustheid van het systeem versterken (meergeulensysteem) te combineren, zodat zowel de korte- als lange termijn doelen van het riviersysteem worden gewaarborgd.

- Hierbij is het belangrijk te beseffen dat zolang de rivierbodem verder erodeert, de laagwaterafvoerverdeling verder verschuift en het steeds moeilijker wordt om de gewenste afvoerverdeling te realiseren. Gezien deze voortdurende bodemerosie is het starten met suppleren noodzakelijk en een no-regret maatregel. Hiermee wordt meteen voorkomen dat de rivierbodem verder daalt en dat de rivierfuncties, zoals scheepvaart, verder verslechteren.

- Ook bij de keuze voor een meergeulensysteem blijft suppleren essentieel, omdat het naar verwachting nog 10–20 jaar duurt voordat een meergeulensysteem volledig is aangelegd en volledig functioneert. Starten met suppleren biedt dus direct effect en zorgt ervoor dat de situatie niet verder verslechtert, ongeacht de toekomstige inrichting van de rivier.

- Een oplossingsstrategie waarin het meergeulensysteem op de Waal centraal staat levert de meeste synergie op met de rivierfuncties, en vraagt de meeste ruimte in het rivierbed. Het advies is deze oplossingsstrategie verder uit te werken, gericht op combineren van verschillende varianten, ontwerpoptimalisaties voor een gebalanceerd effect op rivierfuncties en een vanuit beheer en onderhoud maakbaar systeem van oever- en uiterwaardgeulen.

- Het is ten zeerste aan te bevelen om, daar waar de ruimte voor een meergeulensysteem buitendijks beperkt is, ook mogelijkheden voor binnendijkse rivierverruiming mee te wegen in samenhang met maatregelen ten behoeve van het vergroten van de afvoercapaciteit.

- Start met uitwerking van de maatregelen voor de Waal, en start de vervolgonderzoeken voor mogelijkheden voor vergroting van de laagwaterafvoer richting de IJssel en stabilisering van de rivierbodem van Pannerdensch kanaal en Boven-IJssel.

- Start de met het aanbevolen vervolgonderzoek en geef daarbij prioriteit aan de onzekerheden rond het benodigd beheer en onderhoud rondom het meergeulensysteem.

- Houdt voor de afvoerverdeling bij hoge afvoeren vast aan “Lek ontzien” boven 16.000 m^3/s.

- Voor de afvoerverdeling bij hoge afvoeren wordt aanbevolen uit te gaan van het effect van een meergeulensysteem op de Waal en het benodigde bereik van de regelwerken voor de toekomst nader te onderzoeken. Ga voorlopig uit van de beleidsmatige verdeling Waal/IJssel van 80/20 en voor de verre toekomst een verdeling richting 2/3 – 1/3.

4.4 Aanbevelingen voor verdere uitwerking

Vanuit de verschillende onderzoeken zijn onzekerheden en kennisleemtes te identificeren die aanleiding geven voor verder onderzoek. De meeste hebben betrekking op de beleidskeuze rondom de rivierbodemligging.

Sedimentmanagement en de beheeropgave
Om onzekerheden rond benodigd sedimentmanagement te verkleinen, wordt aanbevolen een onderzoeksstrategie op te zetten die zich richt op veldmonitoring van al aangelegde geulen (gecombineerd met AI) en de ontwikkeling van numerieke modellen.

Voor beide alternatieven, zowel suppleren als het meergeulensysteem, zal sedimentmanagement in de vorm van suppleren, baggeren en terugstorten een belangrijke rol spelen. De benodigde omvang hiervan is vooral voor het meergeulensysteem nog onzeker, omdat modellen dit nog niet goed kunnen onderbouwen. Daarnaast zijn ervaringscijfers uit het beheer van bestaande nevengeulen beperkt, mede omdat de beoogde geulen aanzienlijk groter zijn dan de al aangelegde geulen. Deze inschatting kent daardoor een aanzienlijke mate van onzekerheid, maar bepaalt wel grotendeels de toekomstige beheerinspanning.
Een ander belangrijk aandachtspunt is de stabiliteit van de geulen. De dynamiek van de geul, het aanbod van sediment bij de inlaat en de afvoer van sediment zijn moeilijk voorspelbaar. Zo kunnen uiterwaardgeulen die een bocht afsnijden neigen tot sterke erosie.

Scenarioanalyse en functionele levensduur
Aanbevolen wordt om scenarioanalyses in te zetten om de bandbreedte van prognoses in beeld te brengen. Voor alle studies geldt dat de effecten van de maatregelen zijn bepaald voor een relatief korte tijdshorizon van 20 jaar (Delft3D) of zijn afgeschat op initiële hydraulische resultaten (D-Hydro). Deze inzichten kunnen niet zomaar geëxtrapoleerd worden naar de langere termijn (100 of 150 jaar) en/of een grotere en versnelde klimaatverandering. Daarbij is het belangrijk om duidelijke toetsingscriteria vast te stellen, zodat per scenario de functionele levensduur van een meergeulensysteem beoordeeld kan worden.

Optimalisatie van het meergeulensysteem voor de Waal
Om tot een passende variant binnen het meergeulensysteem te komen, moeten de functionele eisen per gebruiksfunctie eerst duidelijk worden vastgesteld. Ruimtelijke differentiatie binnen het ontwerp van het meergeulensysteem kan vervolgens een belangrijke rol spelen. Dit betekent dat op verschillende trajecten van de Waal verschillende ontwerpprincipes worden toegepast en/of worden gecombineerd, zodat de maatregel beter aansluit bij de lokale omstandigheden en de diverse rivierfuncties zo optimaal mogelijk worden bediend.

Verruimen van het rivierbed: De effectiviteit van een meergeulensysteem hangt sterk af van de wijze waarop de verruiming wordt vormgegeven. Het wordt aanbevolen de huidige meergeulensysteem-ontwerp voor de Waal te optimaliseren, waarbij een balans wordt gezocht tussen:

- de mogelijkheden voor ruimtelijke inpassing vanuit het gebied,
- de eigenschappen van de rivier,
- de benodigde afvoeronttrekking,
- kansen voor natuur en ruimtelijke ontwikkeling.

Versmallen van de hoofdgeul: De centrale vraag bij de versmalling is wat de optimale mate van versmalling is: voor welke afvoeren moet de maatregel effectief zijn, en welk drempelontwerp past daarbij, gegeven de effecten op scheepvaart, natuur en morfologie? Hier lijkt tot op zekere hoogte sprake van een functieconflict.

Een dergelijke optimalisatie van verruimen en versmallen dient stapsgewijs te worden uitgevoerd, om geleidelijk de meest effectieve en haalbare ontwerpvariant te vinden.

Splitsingspuntendynamiek
Het effect van grootschalige maatregelen op de sedimentverdeling in het splitsingspuntengebied is onvoldoende bekend en behoeft nader onderzoek. Temeer omdat in dit gebied natuurlijke harde lagen en gepleisterde lagen de sedimenttransporten en bodemdynamiek kunnen beïnvloeden. Er wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe de risico's en effecten van dergelijke maatregelen op de splitsingspunten het beste in kaart kunnen worden gebracht; bijvoorbeeld met specifieke rekenmethoden, velddata en/ of pilots.

Zand-grindverhouding
Zoals op veel andere rivieren bestaat er op de Waal een gradiënt in de verhouding tussen zand en grind van de rivierbodem. Deze gradiënt speelt een belangrijke factor in de grootschalige bodemerosie. Er wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe de voorgestelde maatregelen deze zand-grindverdeling beïnvloeden en binnen welke grenzen deze variaties zich bewegen. Aanbevolen wordt om met oog op deze verkenning de samenstelling en mobiliteit van de directe ondergrond van het rivierbed gedetailleerder in beeld te brengen.

Grootschalig suppleren
Welke oplossingsstrategie er ook gekozen wordt, suppleties blijven in meer of mindere mate noodzakelijk om tijdelijke en ruimtelijke variaties in de bodemligging op te vangen. Samenstelling en beschikbaarheid zijn daarvoor van belang. Aanbevolen wordt om de bandbreedte rondom de toepasbare samenstelling van suppletiemateriaal in beeld te brengen door veldmonitoring en analyse te koppelen aan de geprogrammeerde beheer- en pilotsuppleties op de Waal onder RvdR2.0. Aanbevolen wordt te verkennen welk sediment waar doelmatig kan worden gewonnen of worden gebruikt voor riviersuppleties.

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken wordt ingeschat dat ophoging van de rivierbodem via suppleties tot de mogelijkheden behoort. Dit is echter nog niet verder onderzocht en de effecten hiervan op de morfologie, hydraulica en rivierfuncties zijn op dit moment onbekend. Daarom wordt aanbevolen om dit onderwerp in een vervolgonderzoek te koppelen aan het Grensregio Project, waarin verschillende kansrijke maatregelen zijn onderzocht, zoals suppleties en aanpassingen aan kribben en vaste lagen, met accent op het verbeteren van de bevaarbaarheid.

Adaptiviteit
In tegenstelling tot suppleties is de aanleg van een meergeulensysteem in beperkte mate adaptief omdat het gebaseerd is op een fysieke ingreep. Na aanleg is enig regelbereik via de instroomdrempels mogelijk. De effectiviteit van dit regelbereik is echter nog onvoldoende in beeld gebracht. Aanvullende inzichten worden verwacht uit de vervolgmonitoring van de langsdammen bij Tiel, die loopt van 2025 tot en met 2028. Aanbevolen wordt om op korte termijn te evalueren of deze monitoring moet worden voortgezet.

Passende modelinstrumenten
RvdR 2.0 koerst aan op bodem- en sedimentbeheer met grotere ambities. Uit de verkenning is gebleken dat dit meer eisen stelt aan het modelinstrumentarium,

zowel voor wat betreft morfodynamiek in de hoofdgeul als alle morfodynamiek buiten de hoofdgeul. Nu er een nieuwe morfologische modelgeneratie in aankomst is, wordt aanbevolen om de ontwikkeling daarvan beter te laten aansluiten op de behoefte vanuit RvdR 2.0. Dat vergt in komende jaren niet alleen extra functionele ontwikkeling, maar ook intensievere begeleiding bij modeltoepassingen.

Bredere verkenning van effecten
Aanbevolen wordt om:

- De invloeden van bodemdynamiek op vaargeulonderhoud en op vlot en veilig varen, in trajecten met en zonder suppletie nauwkeurig te monitoren en met die ervaring richtlijnen voor suppleties in riviervaarwegen op te stellen;
- De effecten op de bodemligging van de Nederrijn-Lek en Boven-Rijn in beeld te brengen;
- De rivierkundige effecten en gevolgen voor de Rijn-Maasmonding en IJsselmeer-Vechtdelta goed in beeld brengen;
- Effecten en mogelijke ingrepen rond midden afvoeren, goed waterbeheer, in beeld te brengen, bv verruiming op het Pannerdensch kanaal.

Aanvullende maatregelen PK/Boven IJssel
Aanbevolen wordt om de verkenning van de aanvullende maatregelen zoals het aantakken van de Het Zwarte Schaar, de bypass bij Hondsbroekse Pleij en verbreding Boven-IJssel verder te verkennen.

Functie van de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij
In de onderliggende hoogwaterstudie is uitgegaan van maximaal regelbereik door de hoogwaterregelwerken op de splitsingspunten in de middenstand te houden. Hierdoor wordt de opgave voor een bepaalde hoogwater-afvoerverdeling sterk beïnvloed en vergroot. Onderzoek en overweeg in hoeverre maximaal regelbereik een uitgangspunt is en/of het regelwerk in bepaalde mate ingezet kan worden als maatregel.

Bredere impactanalyse
Voor een goede afweging van maatregelen is een integraal kosten-batenonderzoek noodzakelijk, inclusief een toetsing aan maatschappelijke duurzaamheidsdoelen. Daarbij moet het nul-alternatief (niets doen) en de noodzakelijke aanpassing van rivierfuncties in dit alternatief, worden meegewogen. Daarbij wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten over impact die in andere programma's en projecten is ontwikkeld.

Referenties

Asselman, N., M. Mens, M. Maarse, B. Maas, P. de Grave, E. van der Deijl (2022). *Effectbepaling nulalternatief IRM*. Deltares rapport 11208036-004-ZWS-0002.

Asselman, N., B. Maas, K. Sloff (2025). *Maakbaarheid afvoerverdeling Rijntakken laagwater*. Deltares rapport 11210367-002-ZWS-0007. April 2025.

Bake, D. de, Vieira da Silva, J., Gensen, M. (2025). *Doorrekenen afvoerverdeling bij hoogwater*. HKV-rapport PR5306.10. Mei 2025.

Bakker, M., Pfeijffer, C., Jong, W. de (2025). *Noodzaak instandhouding zomerbedverdiepingen. Eindrapport.* Haskoning, rapport BK6191-RHD-XX-XX-RP-X-0002. November 2025.

Barneveld, H.J., A.J. Paarlberg, P. van Denderen, J. Kuiper (2025). *Systeemmaatregelen beleidskeuze rivierbodemligging Rijntakken.* HKV-rapport. PR5219.10. Juli 2025.

Consortium ruimte en afvoercapaciteit voor de rivier (2025). *Ruimte voor de rivier 2.0: verkenning naar binnendijkse ruimte en afvoercapaciteit. Deelrapport 1: Ontwerpopgave, stuurknoppen, bouwstenen en onderzoeksrichtingen*. Rapport Consortium Ruimte en afvoercapaciteit voor de rivier. Maart 2025.

Expertisenetwerk Waterveiligheid (2021). *Toekomst van het beleid 'Lek ontzien'*. Advies nummer 21-04 aan DGWB. Juli 2021.

Gensen, M., Denderen, P. van, Barneveld, H. (2025). *Varianten voor de bodemligging van de Maas. Eindrapport*. HKV LIJN in Water, rapport PR5478.10. November 2025.

Gensen, M., L. Lokin, A.K. de Jong, J. Vieira da Silva (2025). *Maakbaarheid afvoerverdeling Rijntakken*. HKV-rapport PR5289.10. Juni 2025.

Jong, H. de, M. Leummens, L. de koning, C. Pfeijffer, D. Booij (2025). *Uitwerking schetsen meergeulensysteem Waal*. Haskoning Nederland B.V. BK8269-WM-RP-250930-1026. Oktober 2025.

Groenwege, R, C.J.. Sloff (2025). *Analyse KBN knelpunten*. Deltares rapport: 11211515-003-ZWS-0001.

Kanger, W.H., de Jong,W. (2025). *Kostennota: Meergeulensysteem Waal.* Haskoning, rapportnr. 31213455. November 2025.

Klijn, F., Schropp, M., Kater, E., Doorn S. van, Rozier, W., Voortman, B. (2024). *Afvoerverdeling Rijntakken bij hoogwater. Meer afvoer veilig van Lobith naar zee.* Deltares-rapport 11210367-002-ZWS-0006. Oktober 2024.

Ligtenberg & Weekhout (2025). *Transport en Bereikbaarheid HVWN bij extreme rivierafvoeren*, mei 2025.

Maas, B., N. Asselman, S. Bakker, A. Becker, K. Sloff (2025). *Effectbepaling meergeulensysteem Waal.* Deltares rapport 11211568-003-ZWS-0001. December 2025.

Mosselman, E., T. Buijse, E. van der Deijl, J. de Jong, V. Chavarrias, W. Ottevanger, N. Asselman, P. de Grave, R. van der Mark, R. van der Wijk, F. Collas, M. van der Vat, K. Sloff, L. Verbrugge, R. Van den Born (2021). *Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal: Hoofdrapport*. Deltares rapport 11204644-014-ZWS-0010.

Sloff, C.J. (2019). *Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050. Trends voor scheepvaart en waterbeschikbaarheid*. Deltares rapport 11203738-005-BGS-008. December 2019.

Sloff, C.J., Becker A, Paarlberg, A.J., & Denderen, P. van (2024). *2D morfologisch model IRM*. Deltares-rapport 1209264-00; HKV-rapport PR4987.10. Maart 2024.

Sloff, C.J., Becker A., (2024). *Memo afvoerreeksen KNMI-scenario's*. Deltares-memo, 7 oktober 2024.

Ter Maat, J., N. Asselman, M. Mens, E. Penning, F. Sperna Weiland (2024). *Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid? Verslaglegging hackathon over de implicaties van de KNMI'23-scenario's*. Deltares-rapport 11210275-004-BGS-0001.

Bijlagen

Bijlage A – Kostenraming: suppleties en onderhoudsvolumes per bodemalternatief Waal

Aanleiding en Doel

Voor de kostenraming van de verschillende beleidsalternatieven voor de Bodemligging van de Waal: "Suppleren" of "Meergeulensysteem Waal" blijken de hoeveelheden te suppleren materiaal en de omvang van de bijbehorende onderhoudsopgave belangrijke onbekende posten.

Het doel van deze notitie is om op basis van de beschikbare informatie uit huidig beheer en onderzoek, op basis van expert judgement te komen tot één getal voor de kostenraming:

- uitgaande van een gematigde / gemiddeld scenario voor klimaatsverandering (2050HD, zie Sloff en Becker 2024).
- met de huidige referentie gebaseerd op historische afvoeren over de laatste 10-20 jaar. Die periode kent relatief weinig hoogwaters; de afvoerhydrograaf daarvan komt daarom redelijk overeen met die uit het droge klimaatscenario.

Samenvattend: gaat het om de volgende jaarlijkse volumes (m3/j), per Item:

Overzichtstabel: getallen t.b.v. kostenraming beleidskeuze RvdR2.0 – Bodemligging

1. Suppleren Waal - als basisalternatief	Volume (m3/j)
a. Jaarlijks volume, extern sediment	150.000
b. Jaarlijks extra volume onderhoud vaarweg (baggeren en storten)	130.000
2. Aanlegfase Meergeulensysteem (0 - 15 jaar)	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	150.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen, gebaseerd op fasering	-
c. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	-
3. Eindbeeld Meergeulensysteem– Focus uiterwaardgeulen	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	125.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen, (% hergebruik)	125.000 (30%)
c. Instandhouding geulen (erosie van bodem en oevers)	onderdeel van aanleg
d. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	190.000
4. Eindbeeld Meergeulensysteem – Focus oevergeulen	
a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment	50.000
b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen (% hergebruik)	125.000 (50%)
c. Instandhouding geulen (erosie van bodem en oevers)	onderdeel van aanleg
d. Jaarlijks extra onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten)	130.000

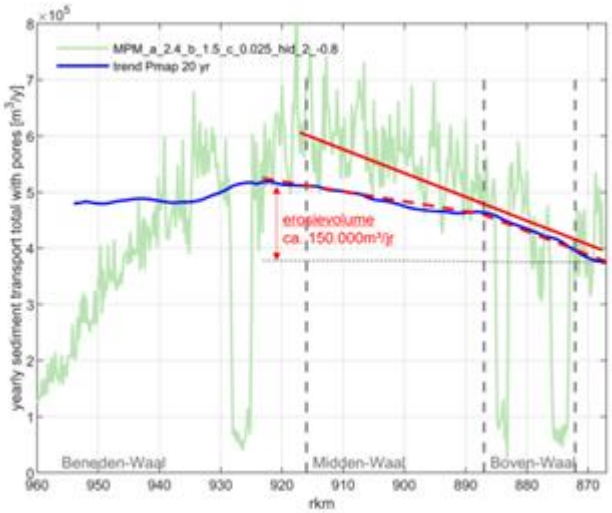
(-) betekent dat het volume niet kan worden bepaald op basis van de huidige onderzoeken en/of ervaringsgetallen.

1. Suppleren Waal als basisalternatief

a. Jaarlijks volume suppleren extern sediment: 150.000 m3/j, huidig klimaat.

Opmerkingen:
Getal is afgeleid op basis van metingen (20-jarige trend).

- Bron: *Van der Deijl 2021 11206795-008-ZWS-0002_v0.1-Benodigd volume voor rivierbodemherstel Rijntakken.pdf.*
- In dit rapport wordt 137.000 m3/j gegeven. Dit wordt gezien als een droog scenario;
- In deze metingen zitten daarnaast nog verstoringen van onttrekkingen (met name op de Beneden-Waal) en reeds uitgevoerde suppleties, sediment uit de kribvakken van de RVR kribverlaging en er is sediment onttrokken bij de aanleg van de langsdammen.
- Bijkomend zijn in deze periode de kribvaksuppleties uitgevoerd waardoor extra sediment uit de kribvakken beschikbaar was (PhD Eki Liptay);
- Voor het gemiddelde scenario houden we de trend berekend vanuit Delft3D aan (zie grafiek hieronder: 150.000 m3/j.
- De benodigde suppletie volumes voor een nat klimaat worden geschat op 225.000 m3/j?
- Dit getal is gebaseerd op R2M *(System measures Waal 2023_YllaaArbosTUDelft.pdf*)
- Getallen zijn echter niet 1 op 1 te vergelijken aangezien hier een 1D model is gebruikt en ook het klimaatscenario is anders tot stand gekomen dan in de Delft3D berekening
- Ander inzicht komt uit het Grensregio project (2025). Hier is eveneens met hetzelfde Delft3D model gerekend. Hieruit kwam naar voren dat 150.000 m3/j suppleren zelfs te veel is in een nat scenario. Daarmee lijkt het getal van 225.000 m3/j eerder aan de hoge kant te zijn dan aan de lage. Dit komt omdat (in theorie) suppleties doorschuiven en stroomafwaarts de suppletiebehoefte significant kan verminderen. In welke mate dit de suppletiebehoefte van de Waal vermindert, hangt er van af hoe de zand-grind gradiënt in de Waal zich daarbij ontwikkelt.



b. Jaarlijks volume extra onderhoud vaarweg (baggeren en storten): 500.000 m3/j
Om dit jaarlijkse volume te bepalen zijn een aantal uitgangspunten van toepassing

- Referentie volume baggeren en storten Waal = 370.000 m3/j. Bron: *Baggerregistratie (2009 - 2020). PC-vaarwegen.*

- *De jaarlijkse zandvracht bedraagt 400.000 m3/j (droog scenario).* Voor de klimaatscenario's voor de jaarlijkse zandvracht op de Waal hanteren we (bron: Grensregio project, Deltares) de volgende factoren:
  - ✓ zandvracht (droog): 1x => 400.000 m3/j
  - ✓ zandvracht (nat): 1,3x 400.000 = 520.000 m3/j
  - ✓ zandvracht (gemiddeld): 1,15x * 400.000 = 460.000 m3/j

Schaalfactor: we hanteren de verhouding tussen het jaarlijks te suppleren volume en de jaarlijkse zandvracht op de Waal als schaalfactor om het extra volume vaarwegonderhoud te bepalen. Schaalfactor: 150.000/460.000 = 0,32

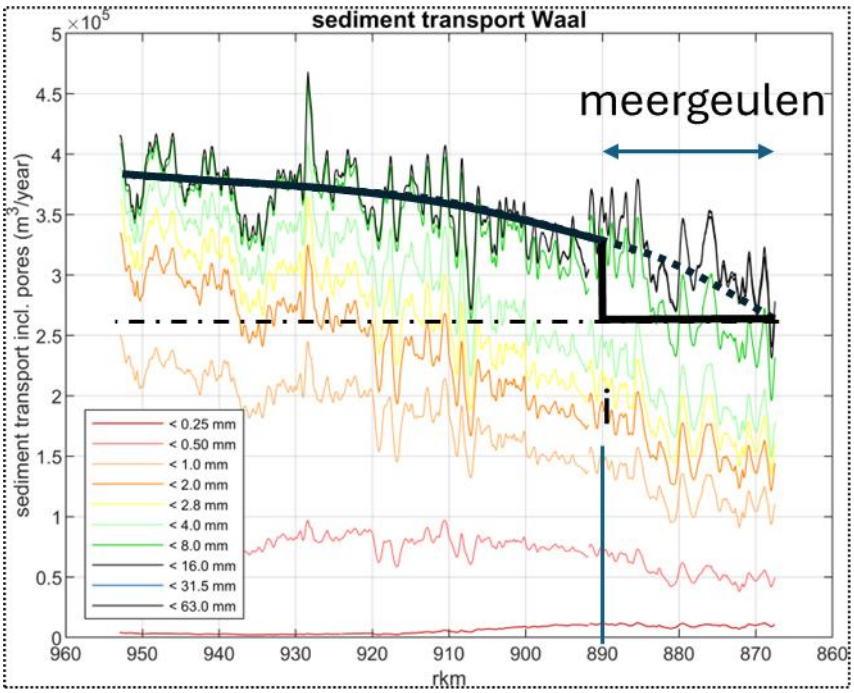
Bepaling jaarlijkse onderhoudsvolume voor de basisvariant 'suppleren': 370.000 * 1,32 = 490.650 m3/j

2. Aanlegfase Meergeulensysteem (15 jaar)

a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment gedurende bouwfase: 150.000m3/j

Het traject op de Waal kent een positieve transportgradiënt die toeneemt in stroomafwaartse richting en die voor erosie zorgt. Om deze bodem te stabiliseren is de opgave om 150.000 m3/j te suppleren (zie 1a).

Gedurende de bouw van het meergeulensysteem verschuift het erosiefront weliswaar maar de aanname is dat de restgave (150.000 m3/j) intact blijft. Oftewel, zolang niet het gehele erosieve traject is ingericht met een meergeulensysteem blijft de erosie onverminderd doorgaan.



b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen, (% hergebruik): -

Onderhoudsvolume van de geulen niet te bepalen is op basis van de huidige onderzoeken en methodieken. Dit vraagt om een betere geoptimaliseerde schematisatie en berekeningen met een morfologisch model.

c. Jaarlijks onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten): -
Onderhoudsvolume vaarweg niet te bepalen is op basis van de huidige onderzoeken en methodieken. Dit vraagt om een betere geoptimaliseerde schematisatie en berekeningen met een morfologisch model.

3. Eindbeeld Meergeulensysteem – Focus uiterwaardgeulen

a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment: 125.000 m3/j (zie uitleg onder 'methodiek')

b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen (% hergebruik): 125.000 m3/j (30%)
Voor reeds aangelegde nevengeulen in uiterwaarden zijn ervaringsgetallen beschikbaar vanuit het zogeheten WOCU van de jaarlijkse sedimentatie volumes. Hierbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Vanuit WOCU bedraagt de sedimentatie 500 – 2.000 m3/j per geul
- De uiterwaard geulen in het MGS onttrekken ordegrootte x5 meer afvoer
- De UG-variant van het MGS heeft circa 20 geulen
- De jaarlijkse beheerinspanning bedraagt: 20*(2.500 – 10.000): 50.000 – 200.000 m3/j

c. Jaarlijks onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten): 560.000 m3/j
De aanname is dat door de aanleg van een MGS er 25% extra vaarwegonderhoud nodig is boven op het extra onderhoud door het nog jaarlijks volume te suppleren t.o.v. de geschatte zandvracht: (125.000/460.000) = 27%. Hoewel er interactie te verwachten is tussen het extra suppleren in een aangelegd meergeulensysteem gaan we ervan uit dat deze twee componenten opgeteld kunnen worden. Jaarlijks onderhoudsvolume: 370.000 * 1,52 = 562.400 m3/j

4. Eindbeeld Meergeulensysteem– Focus oevergeulen

a. Jaarlijks volume suppleren, extern sediment: 50.000 m3/jr (zie uitleg onder methodiek)

b. Jaarlijks onderhoudsvolume – geulen (% hergebruik): 125.000 m3/j (30%)
Opmerkingen:

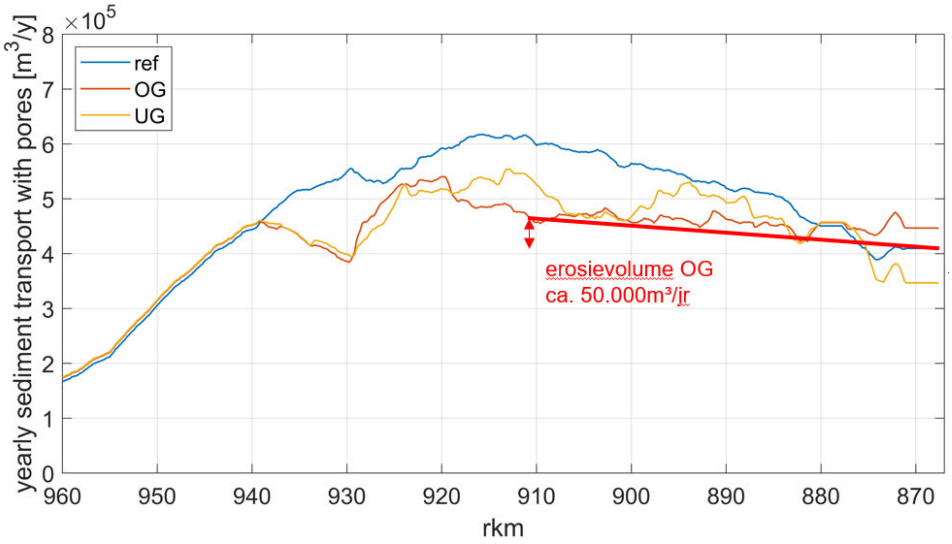
- Voor de oevergeulen zijn nog onvoldoende ervaringsgetallen beschikbaar vanuit het huidige langsdammentraject. Meer inzichten worden verwacht vanuit de monitoring langsdammen Fase II die op dit moment loopt.
- Voor nu worden dan ook dezelfde getallen gebruikt zoals bepaald voor de uiterwaardgeulen.

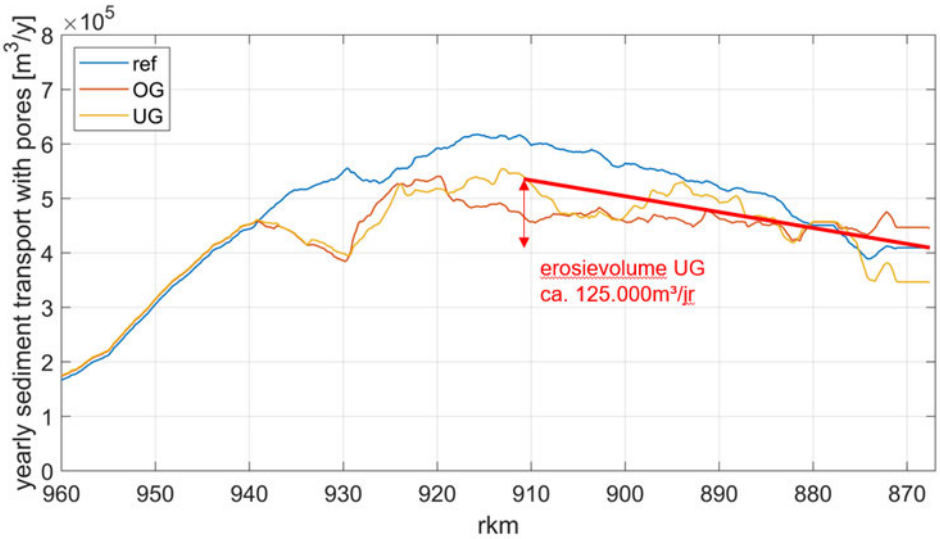
c. Jaarlijks onderhoudsvolume - vaarweg (baggeren en storten): 500.000 m3/j
De aanname is dat door de aanleg van een MGS er 25% extra vaarwegonderhoud nodig is boven op het extra onderhoud door het nog jaarlijks volume te suppleren t.o.v. de geschatte zandvracht: (50.000/460.000) = 11%. Hoewel er interactie te verwachten is tussen het extra suppleren in een aangelegd meergeulensysteem gaan we ervan uit dat deze twee componenten opgeteld kunnen worden. Jaarlijks onderhoudsvolume: 370.000 * 1,36 = 503.200 m3/j.

Methodiek - bepalen jaarlijks volume te suppleren extern sediment bij MGS

De methodiek om dit volume te bepalen vraagt voor beide varianten om een nadere interpretatie van de berekende transportgradiënten in D-Hydro. Met daarbij de volgende punten:

- Startpunt rkm 867:
  - ✓ OG: de maatregel laat een te geringe reductie zien op de transportcapaciteit. Dit is een foutje in de schematisatie waardoor de oevergeul niet goed werkt en er juist extra erosie optreedt. Het werkelijke startpunt zal lager liggen;
  - ✓ UG: deze verruimende maatregel is te effectief. Het is logischer en goedkoper om minder verruiming toe te passen. Het werkelijke startpunt zal hoger liggen;
  - ✓ Voor nu wordt de referentiewaarde (start blauwe lijn) als beginpunt gekozen
- Eindpunt rkm 912: dit punt (meer bovenstrooms) wordt gekozen omdat:
  - ✓ Op het langsdammentraject (912 – 920) is de verruiming van de oevergeulen niet helemaal goed is geschematiseerd. De oevergeulen zijn weliswaar voldoende gedimensioneerd maar de bestaande drempels zijn niet verbreed waardoor de geulen alsnog te weinig afvoer onttrekken om de transportgradiënt voldoende te verlagen;
  - ✓ De bodemopgave in dit traject is echter goed haalbaar gezien het feit dat er al een verruiming is die uitgebreid kan worden en de huidige transportgradiënt rond deze locatie (blauwe lijn) al begint af te vlakken.





% hergebruik vanuit beheerinspanning van de geulen
Vanuit RWS ON zijn ervaringsgetallen opgedaan vanuit het beheer van uiterwaardgeulen onder het zogeheten WOCU-contract. De ervaringsgetallen geven voor het huidige type uiterwaardgeulen per geul een onderhoudsinspanning vanwege sedimentatie van 500-2000 m3/jr. Voor de oevergeulen is dit nog onbepaald (er is nog geen onderhoud gepleegd of ingeschat).

Het materiaal wordt door de aannemer van het WOCU-contract aangeboden in de vorm van rapporten (met info over de samenstelling, vervuiling, hoeveelheden) met de vraag om te bepalen of het hergebruikt kon worden. Dat bleek voor circa 30% van het volume het geval. Het genoemde getal voor de oevergeulen (50%) is hiervan afgeleid. Dit is een conservatieve schatting; voor grotere geulen zal het aandeel grovere (en schonere) fracties vermoedelijk wat groter zijn.

Sediment in nevengeulen kan ongeschikt zijn voor hergebruik door zowel een verkeerde samenstelling als door vervuiling:
- voor de huidige nevengeulen is het percentage 'ongeschikt' groot (70%) omdat het fijner materiaal betreft (afgezet vanuit suspensief transport). Het bevat eigenlijk geen grind / grof zand. Wel zit er veel fijn zand in met veel kleibijmenging en daarom is de kans op vervuiling ook groter omdat vervuilingen hoofdzakelijk kleven aan organische stof;
- voor de oevergeulen, is de verwachting dat het percentage 'ongeschikt' kleiner is (50%). Het materiaal bestaat uit een grovere fractie, die dichter bij de samenstelling van het zomerbed ligt, en bijkomend minder vervuild is (minder kleibijmenging).

Instandhouding geulen (input Arjan Sieben)
Op basis van de berekende 2D stroomsnelheden zijn er zones zichtbaar met behoorlijk hoge snelheid in de geulen bij hoogwater. Het is niet realistisch om de kritische locaties onder beheer en onderhoud te schuiven. Het kan tijdens een hoogwater te hard gaan, dat is met b&o niet te voorkomen dus valt het onder aanleg.

Tav de raming als aanleg post: voor alle geuldelen met stroomsnelheden van 1 m/s en hoger bij 8400 m3/s, en een afstand van minder dan 1 maal de geulbreedte tot de beschermingszone is bescherming van de geuloever en aansluitende geulbodem nodig. Daar zou Haskoning een bescherming moeten ramen (horizontaal klei, op de oever wellicht steen).

Dat zal vooral wegen bij de uiterwaardgeulen, bij de oevergeulen is meer vrije ruimte.

Vanwege de hoge stroomsnelheden door de oevergeulen is nodig dat de bodembescherming bij de langsdammen berekend zijn op flinke erosie langs het lichaam aan de zijde van de oevergeulen. Bv een overdimensionering om te zorgen dat steen voldoende profielvolgend kan uitrollen. Ik denk dat daarvoor al iets is aangenomen; Haskoning zou moeten verifiëren of dat past bij erosie die met dergelijke snelheden lokaal door de oevergeulen mogelijk is.

Als onzekere factor moet worden benoemd het uitspoelen van sediment vooral uit de oevergeulen naar de hoofdgeul. Op zich mooi zo'n suppletiebron, maar niet eeuwigdurend en het kan extra onderhoud van de vaargeul vergen. Dus vooral signaleren. Bij gebrek aan beter is het denk ik goed om het bij het benoemen te

laten en niet als extra post op te nemen (pm dus), met de volgende motivatie. Er zijn op basis van de berekende snelheden drie scenario's

I. de oevergeulen sedimenteren overwegend, dan volstaat raming van de inspanning die nodig is om sediment uit instroomzone terug naar de hoofdgeul te brengen.
II. de oevergeulen sedimenteren in de instroomzone en eroderen in de rest van de geul; het gesedimenteerd volume wordt dan verdeeld over rest van de oevergeul, ik neem aan dat dat nog steeds redelijk gedekt is met de raming van i)
III. de oevergeul erodeert in zijn geheel. Een eerste schot voor de boeg is dan dat de raming van de inspanning vergelijkbaar is met die van i).

Bijlage B – Effectentabel: effecten oplossingsrichtingen op rivierfuncties

Deze bijlage toont de effecten van de verschillende oplossingsrichtingen voor stabilisering van de bodemligging c.q. stoppen van de erosie van het zomerbed op de Rijntakken. Die oplossingsrichtingen zijn:

- Voortzetting huidig beleid (nulalternatief), met doorgaande bodemerosie tot gevolg;
- Bodemerosie compenseren met suppleties (op Waal en IJssel), eventueel met aanvullende maatregelen gericht op de gewenste afvoerverdeling bij laag- en hoogwater;
- Bodemerosie verminderen of stoppen met een meergeulensysteem, waarbij gekozen kan worden tussen oevergeulen (2a) en uiterwaardgeulen (2b). Ook hier zijn aanvullende maatregelen gericht op de gewenste afvoerverdeling bij laag- en hoogwater mogelijk.

De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze is zo vormgegeven dat links de oplossingsrichtingen staan met de eventuele aanvullende maatregelen in de tweede kolom.

Daarnaast staan 3 blokken met verwachte effecten. Het eerste blok geeft aan in welke mate de oplossingsrichting bijdraagt aan het beoogde doelbereik vanuit het systeemfunctioneren (stoppen rivierbodemerosie) en de rivierfuncties waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid, natuur en bevaarbaarheid. Het gaat hierbij om de hoofddoelen, zoals een veilig afvoer en berging van hoogwater (waterveiligheid) of het herstellen van de afvoerverdeling laagwater om de vullingsgraad van het IJsselmeer en daarmee de zoetwaterbeschikbaarheid voor Noord-Nederland op peil te houden. De effecten van de alternatieven op de rivierfunctie ruimtelijk economische ontwikkeling is nog niet onderzocht en daarom niet opgenomen. Het tweede blok bevat scores op meer algemene criteria.

Met kleur is aangegeven of het effect positief of negatief is:
- Donkergroen = sterk positief
- Lichtgroen = positief
- Geel = licht positief
- Wit = geen effect
- Lichtoranje = beperkt negatief
- Donkeroranje = (sterk) negatief

Een aantal zaken valt op in Tabel 3.5:
- Voortzetten van het huidige beleid leidt tot doorgaande erosie en verslechtering van bijna alle functies. Alleen op waterveiligheid en uitvoerbaarheid scoort dit referentie- of nulalternatief positief. De rivierbodemerosie leidt immers tot iets lagere hoogwaterstanden.
- Alle maatregelen leiden tot een positief doelbereik t.a.v. de rivierbodemstabilisatie
- Suppleties hebben geen positieve uitwerking op de rivierfuncties, maar scoren goed op adaptiviteit. De bevaarbaarheid krijgt een toename aan hinder bij de periodieke suppleties. Om bij te dragen aan de vanuit de functies gestelde doelen zijn extra maatregelen nodig.

- Een meergeulensysteem, in beide uitvoeringsvarianten, scoort op veel criteria positiever dan suppleren. De rivierfuncties, ruimtelijke kwaliteit en duurzaamheid scoren beter.
- Een meergeulensysteem met uiterwaardgeulen heeft aanzienlijk meer natuurwaarde dan een systeem met oevergeulen
- Ook voor een meergeulensysteem, in beide uitvoeringsvarianten, geldt dat de bijdrage aan het doelbereik van de functies kan worden verbeterd met aanvullende maatregelen.
- Adaptiviteit scoort minder goed voor beide meergeulensysteemvarianten, waarbij de adaptiviteit in eerste instantie in drempelhoogte gezocht kan worden. Als dat onvoldoende blijkt te zijn, zijn meer ingrijpende ruimtelijke maatregelen nodig die impact hebben op het ruimtebeslag.
- De ruimtelijke kwaliteit gaat er het meest op vooruit bij de variant uiterwaardgeulen. Bij deze variant liggen de grootste kansen op een integrale gebiedsontwikkeling.
- Op het thema duurzaamheid scoort suppleties het slechtst, gevolgd door de constructie variant met de langsdammen (stortsteen). De uiterwaardgeulen hebben daarentegen een positieve bijdrage op duurzaamheid wanneer er goed wordt aangesloten bij het DNA van de rivier.
- Het effect van de aanvullende maatregelen is sterk afhankelijk van de geselecteerde maatregelen. Wanneer voor de afvoerverdeling hoogwater wordt gekozen voor grootschalige binnendijkse maatregelen, dan biedt dit veel kansen voor natuur (uitbreiding areaal en afhankelijk van de inrichting van het gebied ook diversiteit en connectiviteit).

Samenvattende tabel inzichten doelbereik, effecten en kenmerken van oplossingsrichtingen

		Bijdrage doelbereik (systeemfunctioneren en functies)								
		Rivier-bodemligging	Waterveiligheid	Zoetwater-beschikbaarheid	Natuur	Bevaarbaarheid	Adaptiviteit	Duurzaamheid	Ruimtelijke kwaliteit	Uitvoerbaarheid
Alternatief	aanvullende maatregelen	erosie stoppen	veilige afvoer en berging van hoogwater	herstellen Q-verdeling laagwater (55 m^3/s extra afvoer IJssel bij 1.300 m^3/s)	Herstel dynamisch riviersysteem met robuuste rivier-natuur (areaal, diversiteit, connectiviteit)	voldoen aan internationale afspraken vaardiepte	Aanpasbaar (bijv. om te anticiperen op klimaat-verandering), zonder veel spijt	o.a. CO_2 uitstoot, verbruik van grondstoffen		technische uitvoerbaarheid + institutionele/ maatschappelijke risico's
0.Referentie voortzetten huidig beleid	-	doorgaande erosie	10 cm lagere hoogwaterstand bij splitsingspunt. BGA net niet haalbaar bij 18.000 (wel verbetering). Toenemende onvoorspelbaarheid met mogelijk consequenties voor afvoerverdeling	IJsselafvoer neemt verder af (-30 m^3/s in 2050) Verslechtering waterinname door lager rivierwaterstand	Verslechtering Lagere GVG en GLG	verslechtering, m.n. bij vaste lagen en aansluitingen naar havens/sluizen	geen	Geen uitvoerende maatregelen, B&O blijft gelijk	Geen effect	vergt geen maatregelen
1. Suppleren Volume (m^3/jr): Waal 150.000 IJssel: 40.000	-	bodem stabiel	geen effect	geen effect	geen effect	geen effect vaardiepte (wel meer hinder tijdens suppleren en door extra B&O)	eenvoudig aan te passen, ook voor jaarlijkse variaties	grootschalig suppleren (grondstoffen en CO_2)	Geen effect	beschikbaarheid juiste materiaal en capaciteit is aandachtspunt. Overall goed te organiseren
2.(a) Inrichtings-maatregelen Waal: meer-geulensysteem met versmalling en oevergeulen, IJssel: aantakken Zwarte Schaar	-	bodem stabiel	Max 25cm waterstandsdaling op de Midden-Waal. 5-10cm bovenstrooms tot in DL. 0cm vanaf Tiel BGA nog net niet haalbaar 18.000 (wel verbetering t.o.v. nu) Kans op piping kan toenemen waar uiterwaarden zeer smal zijn	max 15 m^3/s extra IJsselafvoer bij OLA, nog maar 5 m^3/s bij 1.300 m^3/s te Lobith Waterinname verbetert i.v.m. hogere laagwaterstanden	oevergeulen bieden beperkt kansen voor natuur (m.n. areaal natte natuur en afname druk van bevaarbaarheid) afhankelijk van inrichtingsmaatregelen beperkte toename GLG met paar cm	toename vaardiepte Waal en IJssel (bij geoptimaliseerd ontwerp nog wel enige mate van aanvullende suppleties nodig, wel B&O met enige mate van hinder	Inlaatdrempel (hoogte & breedte) en vormgeving/dimensionering oevergeulen in enige mate aanpasbaar, maar niet jaarlijks	Oorzaakbestrijding is duurzamer. De wijze van aanleg van harde variant scoort niet goed op duurzaamheid.	Indien uitgevoerd met stortsteen en zonder eiland afname van de ruimtelijke kwaliteit	Nadere uitwerking vereist, maar geen onoverkomelijke belemmeringen in beeld
2.(b) Inrichtings-maatregelen Waal: meer-geulensysteem met versmalling en uiterwaardgeulen,	-	Bodem stabiel	Waarschijnlijk minder waterstandsdaling dan OG vanwege extra ruwheid door kribverlenging BGA nog net niet haalbaar bij 18.000 m^3/s (minder grote verbetering dan bij	max 15 m^3/s extra IJsselafvoer bij OLA, nog maar 5 m^3/s bij 1.300 m^3/s te Lobith (NB het model suggereert dat effect kribverlenging kleiner zou kunnen	uiterwaardgeulen bieden meer kansen vergroting areaal, connectiviteit met zachte overgangen tussen land en water en bieden meer heterogeniteit & diversiteit. Ze	toename vaardiepte Waal en IJssel, (bij geoptimaliseerd ontwerp geen aanvullende suppleties nodig, wel B&O dus enige mate van hinder. Dit is naar verwachting een	inlaatdrempel aanpaspaar, maar vormgeving uiterwaardgeulen lastig aanpasbaar, zeker niet jaarlijks. Versmalling aanpassen gaat wel makkelijker met kribverlenging	Oorzaakbestrijding is duurzamer, geen/minder stortsteen e.d. nodig	past bij DNA van de rivier,	Nadere uitwerking vereist, maar geen onoverkomelijke belemmeringen in beeld

IJssel: aantakken Zwarte Schaar			OG, maar kan aan ontwerp liggen) Kans op piping kan toenemen	zijn dan versmallen met langsdammen) Waterinname verbetert i.v.m. hogere laagwaterstanden	overstromingsduur neemt toe (i.v.m. verwijderen zomerkades), gunstig voor natuur toename GVG en GLG met paar cm	grotere opgave dan bij OG (NB het model suggereert dat toename vaardiepte bij kribverlenging kleiner is dan met langsdammen). Beleving van veilighied mogelijk wel groter bij kribverlenging ivm uitwijkmogelijkheden				