

Varianten voor de bodemligging van de Maas

Eindrapport

HKV LIJN IN WATER

Varianten voor de bodemligging van de Maas

Eindrapport

Definitief

Auteur(s)

Bescherming persoonlijke leven(Externe I

PR5478.10

november 2025

Voorwoord

Dit project is uitgevoerd binnen de context van het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat onder begeleiding van Rijkswaterstaat.

De projectstuurgroep heeft het proces van het project begeleid en bestond uit:

- [redacted] (Project manager; Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Rijkswaterstaat WVL)
- [redacted] (Rijkswaterstaat WVL)
- [redacted] (Deltares, adviseur voor de stuurgroep)

Daarnaast heeft een projectadviesgroep het Plan van Aanpak en de concept-rapportage van feedback kunnen voorzien en geparticipeerd in twee werksessies. Deze adviesgroep bestond uit specialisten binnen en buiten Rijkswaterstaat:

- [redacted] (Scheepvaart; Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted]jsse (Natuur en waterkwaliteit, Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Waterveiligheid, Rijkswaterstaat ZN, tevens lid van de projectstuurgroep)
- [redacted] (Waterbeschikbaarheid, Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Asset management, Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Asset management, Rijkswaterstaat ZN)
- [redacted] (Morfologie, Rijkswaterstaat WVL)
- [redacted] (De Vlaamse Waterweg nv)
- [redacted] (Deltares)

HKV heeft [redacted] als extern adviseur betrokken bij het project.

Samenvatting

Dit rapport is het resultaat van het onderzoek naar drie varianten voor een te handhaven rivierbodemligging van de Maas en de maatregelen die daarvoor nodig zijn. We hebben deze varianten beoordeeld op de doelen horende bij de beleidskeuze 'rivierbodemligging en sedimenthuishouding', maakbaarheid en beheerbaarheid en de impact op de functies van de rivier.

Voortzetten van het huidig beleid leidt tot een bodem die over 50 jaar 15 tot 50 cm lager ligt, de zogenaamde referentiebodemligging, waarbij er in de Gemeenschappelijke Maas naar verwachting diepe erosiekuilen zijn ontstaan. Zowel de huidige bodemligging als de referentiebodemligging hebben we beoordeeld (Figuur 1 en Figuur 2). Het ontstaan van diepe erosiekuilen in de bodem van de Gemeenschappelijke Maas geeft risico's voor een veilige afvoer en de stabiliteit van infrastructuur. Op den duur gaat dit mogelijk ook spelen voor een deel van de Zandmaas (Peelhorst). De hele Maas scoort onvoldoende ten aanzien van natuur.

Vervolgens zijn de volgende varianten onderzocht (Figuur 3 t/m Figuur 5):

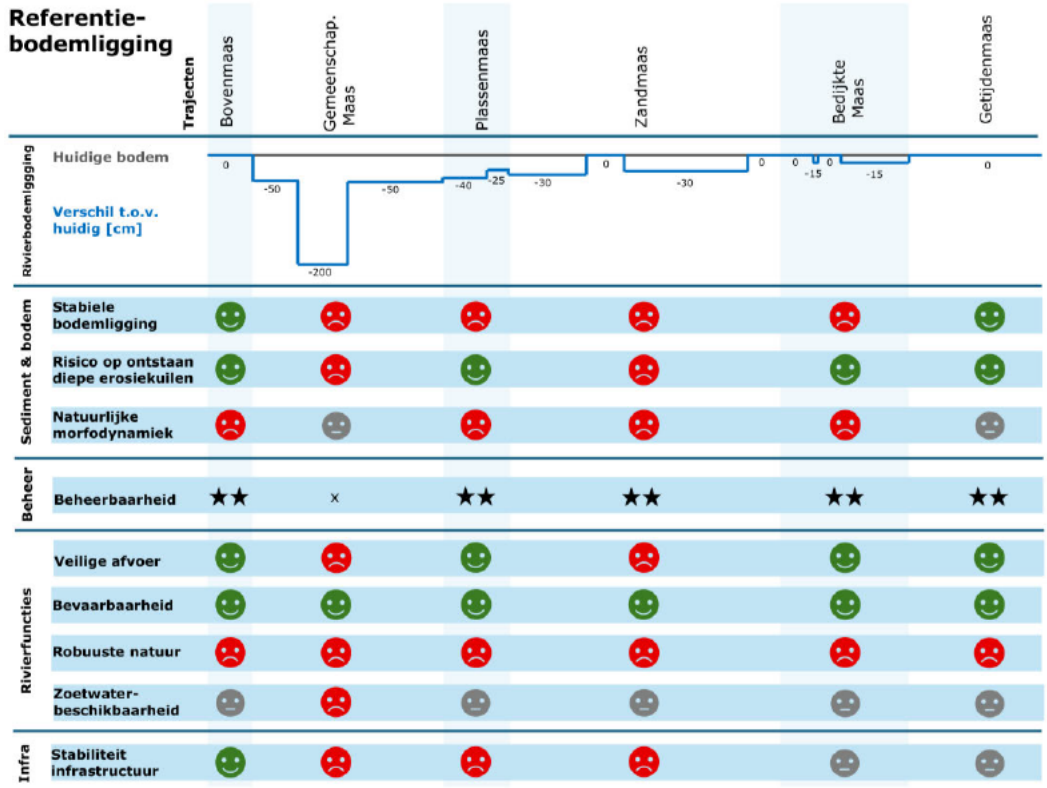
- Variant 1: handhaven van de huidige bodemligging (2025). Met deze variant wordt het ontstaan van diepe erosiekuilen niet geminimaliseerd, waardoor dit een onbeheerbare bodem is. De achteruitgang op veel functies tussen de huidige bodemligging en de referentiebodemligging wordt met deze variant voorkomen.
- Variant 2: beter beheerbare bodemligging. Door een bodemophoging in het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas wordt het risico op het ontstaan van diepe erosiekuilen geminimaliseerd, wat positief is voor de stabiliteit van primaire keringen (veilige afvoer) en infrastructuur. Op het verhoogde traject zijn er aanvullend positieve effecten voor natuur.
- Variant 3: bodemligging voor nattere weerden. Deze variant zorgt voor hogere inundatiefrequenties van de weerden langs de Maas. De benodigde bodemophoging is echter dermate groot dat de hoogwaterstanden sterk omhooggaan en dat de Maas niet meer bevaarbaar is.

Een optimale variant welke alle functies goed bedient, kon niet worden geformuleerd. Het handhaven van de huidige bodemligging is wenselijk vanuit de functies veilige afvoer en bevaarbaarheid, terwijl voor natuur (en in mindere mate zoetwaterbeschikbaarheid) een hogere bodemligging wenselijk is. Dit is niet te verenigen.

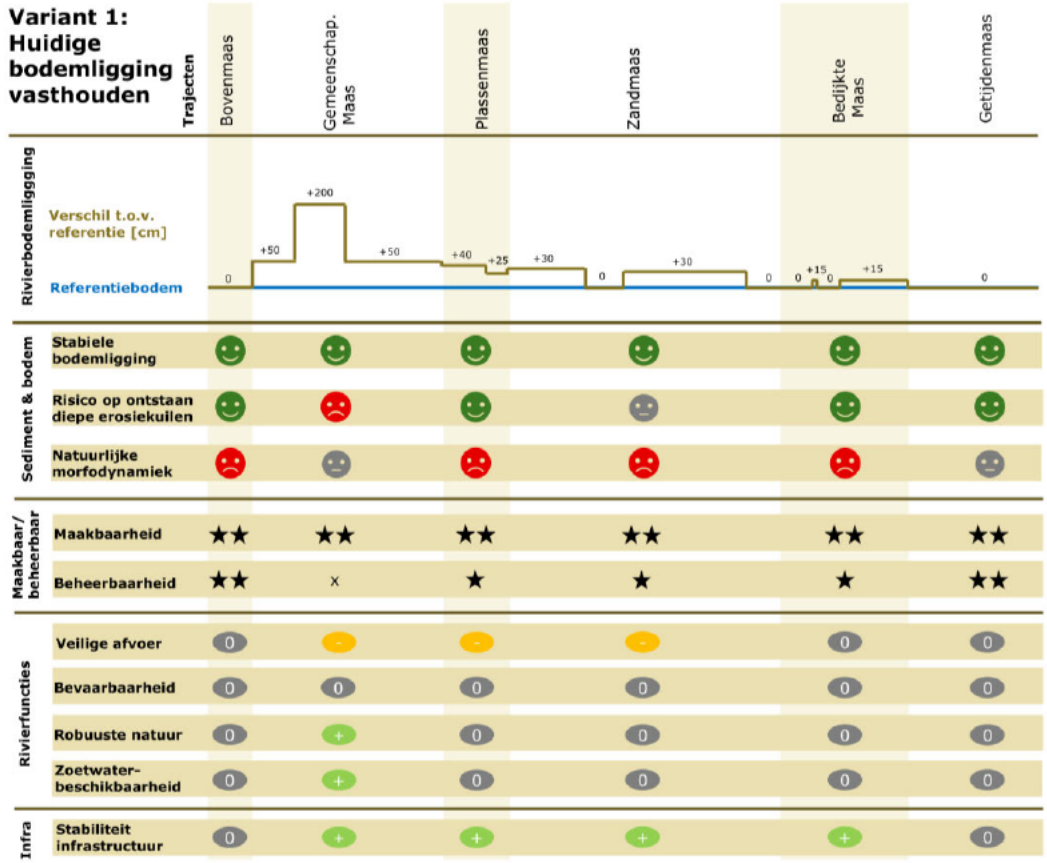
Sedimentsuppleties spelen een belangrijke rol in het stabiliseren van de bodemligging door het aanvullen van de bestaande sedimenttekorten. We hebben het totale sedimenttekort van de Maas geschat op gemiddeld 100.000 m^3/jaar. Het sedimenttekort op de Gemeenschappelijke Maas is hier de helft van. Voor de rest van de Maas kan het terugstorten van gebaggerd sediment naar verwachting een groot deel van het tekort wegnemen. Dit moet blijken uit monitoring. Grootschalige rivierverruiming (zomerbedverbredingen en weerdverlagingen) dragen zeer beperkt bij aan een beter beheerbare bodemligging. Lokale verruimingen, bijv. het verruimen van flessenhalzen, kunnen wel bijdragen aan het verkleinen van het risico op het ontstaan van diepe erosiekuilen.



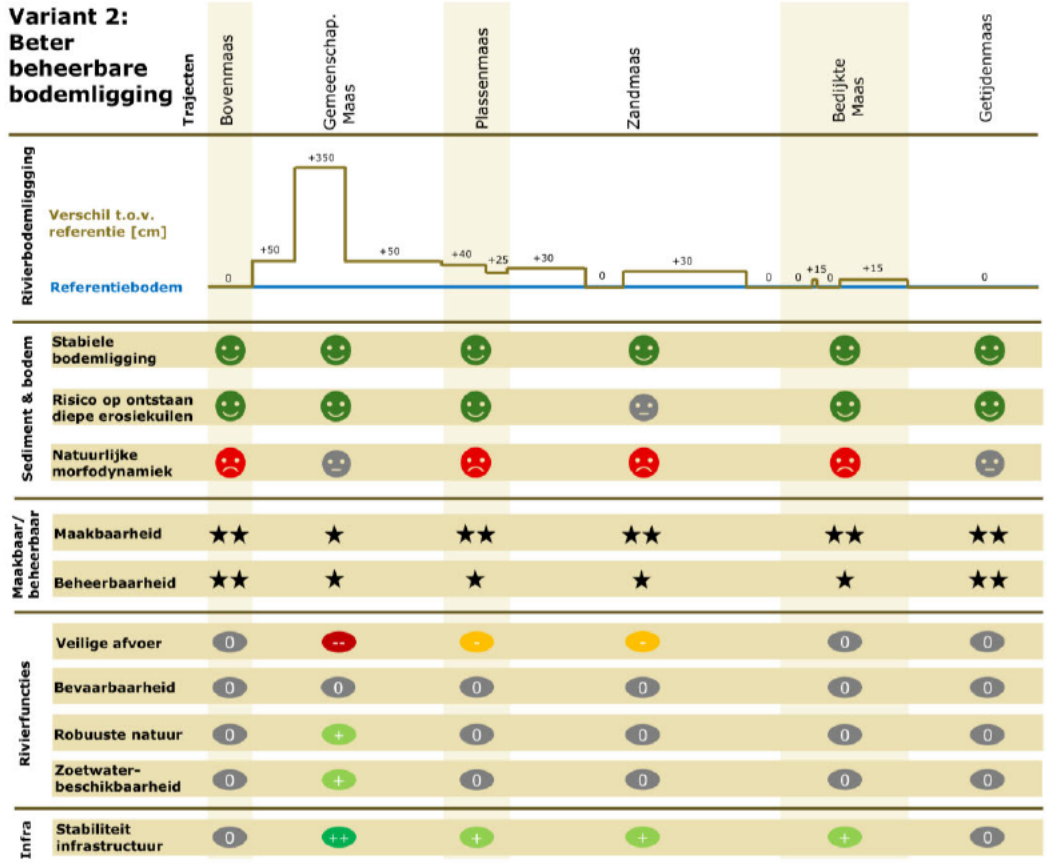
Figuur 1: Samenvatting beoordeling huidige situatie (absolute scores)



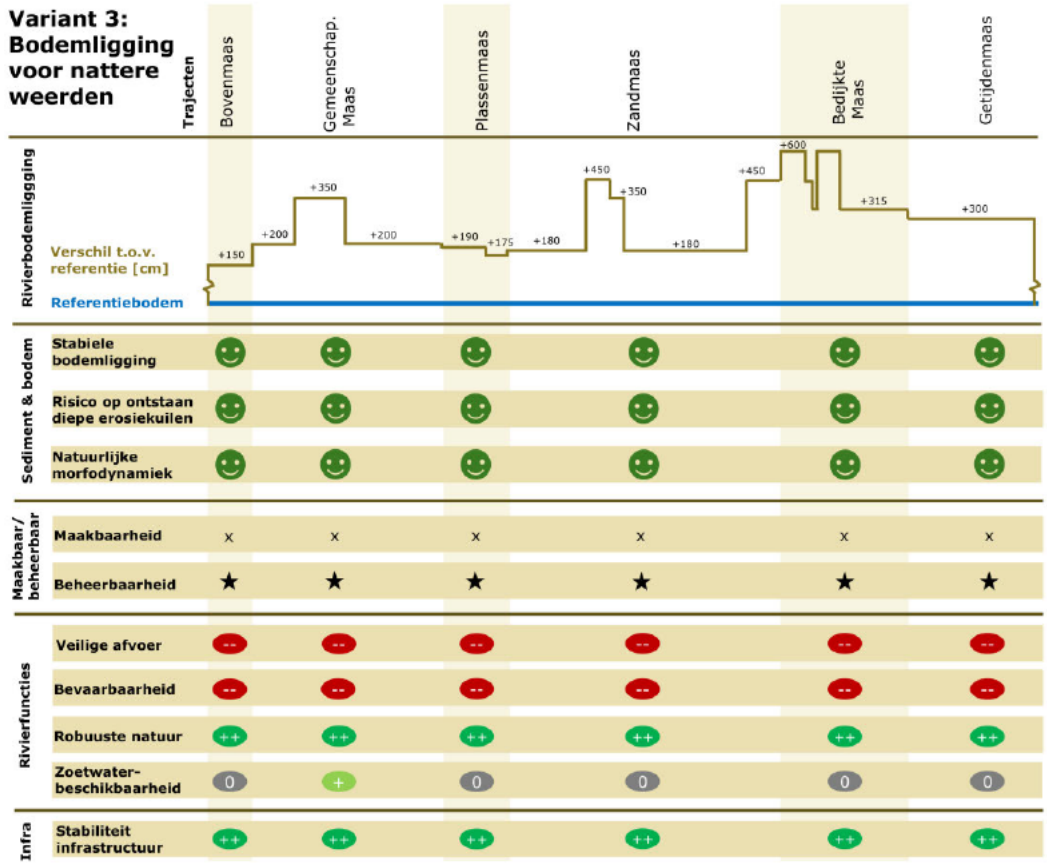
Figuur 2: Samenvatting beoordeling referentiebodemligging (absolute scores)



Figuur 3: Samenvatting beoordeling variant 1; voor de functies ten opzichte van de referentiesituatie



Figuur 4: Samenvatting beoordeling variant 2; voor de functies ten opzichte van de referentiesituatie



Figuur 5: Samenvatting beoordeling variant 3; voor de functies ten opzichte van de referentiesituatie

Inhoud

1	Inleiding	2
1.1	Achtergrond	2
1.2	Doel van dit rapport	2
1.3	Leeswijzer	3
2	Kennis rivierbodemligging Maas	4
2.1	Kenmerken van de Maas	4
2.2	Historische ontwikkeling rivierbodemligging Maas	9
3	Aanpak en uitgangspunten	19
3.1	Aanpak op hoofdlijnen	19
3.2	Afbakening tijd en ruimte	19
3.3	Bepalen referentiesituatie	21
3.4	Opstellen varianten voor de basisrivierbodemligging	22
3.5	Bandbreedte waarin de rivierbodemligging zich moet bevinden	23
3.6	Bepaling maakbaarheid en beheerbaarheid	23
3.7	Criteria voor impactanalyse beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding	25
3.8	Criteria voor de impactanalyse op functies	26
3.9	Effecten van maatregelen	32
4	Varianten van de rivierbodemligging	35
4.1	Huidige rivierbodemligging	35
4.2	Referentiebodemligging	40
4.3	Variant 1: huidige rivierbodemligging vasthouden	45
4.4	Variant 2: een beter beheerbare bodem met een verhoging op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas	49
4.5	Variant 3: een beter beheerbare bodem die optimaal de functies ondersteunt	54
5	Maatregelen	61
5.1	Beschrijving kansrijke maatregelen	61
5.2	Effect op maakbaarheid en beheerbaarheid	67
5.3	Impactanalyse functies	68
6	Synthese & discussie	71
6.1	Varianten en maatregelen	71
6.2	Ruimtelijke schaal en detailniveau	72
6.3	Volgordelijkheid maatregelen en monitoring	72

6.4 Vervanging & Renovatie stuwen Maas 73
6.5 Natuurdoelstellingen Gemeenschappelijke Maas 73

7 Conclusies en aanbevelingen 75
A Ruimtelijke begrenzingen 79
B Referentiebodemligging 82
C Bodempeilingen en analyse 93
D Morfologische effectbepaling 95

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Door klimaatverandering en ongecontroleerde rivierbodemerosie ontstaan knelpunten op het gebied van waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid, natuur en waterkwaliteit, bevaarbaarheid, economie en ruimte in het Nederlandse rivierengebied. Die knelpunten kunnen het welzijn en de welvaart in Nederland gaan bedreigen. Daarom willen de Nederlandse overheden actie ondernemen.

Binnen het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 (RvdR 2.0 - voorheen Integraal Riviermanagement IRM) ontwikkelen regionale overheden en het Rijk samen een visie op het Nederlandse rivierengebied. De overkoepelende doelstelling hierbij is te komen tot een toekomstbestendig, duurzaam riviersysteem dat goed functioneert, duurzaam te beheren is en meervoudig bruikbaar is.

Het Programma RvR2.0 valt onder de Omgevingswet en introduceert twee nieuwe beleidsdoelen voor het rivierengebied van Maas en Rijn, één op het gebied van rivierbodemligging en sedimenthuishouding en één op het gebied van afvoer- en bergingscapaciteit. Om deze doelen te bereiken maakt het Rijk bewuste beleidskeuzes passend bij de eigenschappen van de rivier, die zullen resulteren in aangepast rivierbeheer en rivierkundige ingrepen in het rivierengebied. Het programma RvR2.0 is voor het rivierengebied de invulling van de beleidsbrief Water en Bodem sturend.

Het beleidsdoel en de beleidskeuzes voor rivierbodemligging en sedimenthuishouding

Beleidsdoel:
Een voldoende stabiele en beheerbare bodemligging van het zomerbed, die bijdraagt aan herstel van de natuurlijke rivierdynamiek en zorgt voor een goede bevaarbaarheid en waterverdeling over Nederland bij lage rivierafvoeren.

Beleidskeuzes:

- De meest urgente opgave en de eerste stap op weg naar een stabiele rivierbodemligging is het stoppen van de erosie van de rivierbodem.
- Voor de Gemeenschappelijke Maas moet aanvullend op het beëindigen van ontgrondingen ingezet worden op het toevoegen van sediment om verdere daling van de bodem in het rivierbed te stoppen
- Er wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van de natuurlijke morfodynamiek van de rivier.

1.2 Doel van dit rapport

Het doel van dit rapport is inzicht verkrijgen in beheerbare en maakbare varianten voor de rivierbodemligging om een beleidskeuze 'bodemligging en sedimenthuishouding' te maken voor de Maas. Het betreft hierbij enkel en alleen het zomerbed van de rivier de Maas.

Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 noemt als meest urgente opgave (en de eerste stap op weg naar een stabiele rivierbodemligging) het stoppen van de erosie van de rivierbodem. Om dit te realiseren, moet eerst vastgelegd worden welke rivierbodemligging behouden moet worden. Deze rivierbodemniveau noemen we in het vervolg van dit document de 'basisrivierbodemligging'. Ook

moet onderzocht worden welke maatregelen getroffen kunnen worden om de erosieve kracht uit het systeem te halen en de erosie van de rivierbodem van de Maas te stoppen. Voor de Maas in het bijzonder is de kans op het ontstaan van diepe erosiekuilen een urgent probleem. Tijdens het hoogwater van 2021 ontstonden diepe kuilen in de rivierbodem van de Gemeenschappelijke Maas die schade veroorzaakten aan infrastructuur en die leidingen blootlegden waarin chemisch transport plaatsvond. Het chemisch transport moest worden stilgelegd en grootschalige noodreparaties moesten worden uitgevoerd. In de toekomst kunnen bij een volgend hoogwater opnieuw erosiekuilen ontstaan met dezelfde gevolgen. Dit vraagt om een oplossing.

De doelen van dit rapport zijn:

- Het doen van voorstellen voor de te behouden basisrivierbodemligging van de Maas en de acceptabele bandbreedte hierin;
- te inventariseren welke maatregelen genomen kunnen worden om deze basisrivierbodemligging te realiseren, de bodemdaling te stoppen en het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren;
- de maakbaarheid en beheerbaarheid van de rivierbodemligging te bepalen;
- te analyseren wat de impact is van de basisrivierbodemligging en de maatregelen op de rivierfuncties en op de bodemdaling/sedimenthuishouding.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 presenteren we een samenvatting van de kennis die er is over de rivierbodemligging van de Maas. We gaan in op belangrijke kenmerken en historische ontwikkelingen van de rivierbodemligging die relevant zijn voor het vaststellen van een rivierbodemligging. In Hoofdstuk 3 beschrijven we de aanpak, definities en de uitgangspunten die we hanteren in onze studie. In Hoofdstuk 4 stellen we de varianten voor de rivierbodemligging op en beoordelen we deze op hun bijdrage aan het beleidsdoel, hun maakbaarheid en beheerbaarheid en het effect op de rivierfuncties. In Hoofdstuk 5 beschrijven we kansrijke maatregelen om deze varianten voor de rivierbodemligging te realiseren en de invloed die ze hebben op de beheerbaarheid van de rivierbodemligging en het effect op de rivierfuncties. In Hoofdstuk 6 brengen we de varianten en maatregelen bij elkaar en gaan we in op het handelingsperspectief voor een toekomstige rivierbodemligging en het beheer daarvan. In Hoofdstuk 7 sluiten we af met de conclusies en aanbevelingen.

2 Kennis rivierbodemligging Maas

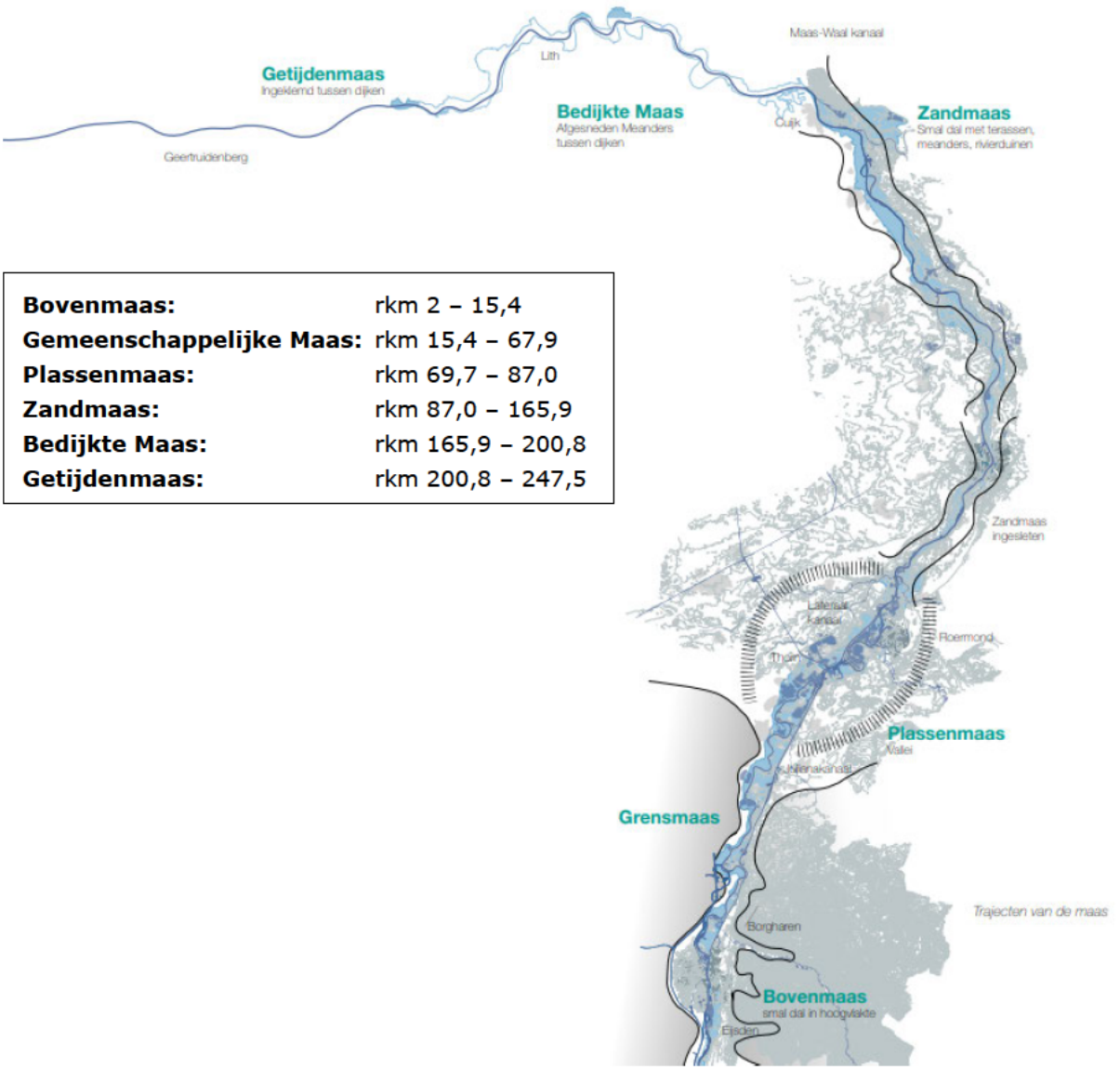
Om in de toekomst een basisrivierbodemligging voor de Maas vast te kunnen stellen, is het belangrijk beschikbare kennis mee te nemen. In de afgelopen decennia is veel kennis opgedaan over de morfologische ontwikkeling van het Nederlandse deel van de Maas. Echter, ten opzichte van de Nederlandse Rijntakken is de kennis over de Maasbodem nog steeds relatief beperkt. De bodem van de Rijntakken, en voornamelijk die van de Waal, wordt veel frequenter bemeten. Ook literatuur is voor de Rijntakken veel meer ontwikkeld.

We presenteren in dit hoofdstuk een samenvatting van de best beschikbare kennis die relevant is om te betrekken bij het vaststellen van een basisrivierbodemligging voor de Maas. De belangrijkste literatuur voor dit hoofdstuk is: Asselman et al. (2019), Barneveld et al. (2020), Barneveld et al. (2025a) en Barneveld et al. (2025b).

2.1 Kenmerken van de Maas

2.1.1 De rivier de Maas met zes onderscheidende riviertrajecten

De Maas is een rivier met een stroomgebied van 35.000 km^2 verdeeld over voornamelijk Frankrijk, België en Nederland. In Nederland is de rivier ca. 250 km lang voordat deze via de Amer in de delta samenkomt met de Rijn en het water van beide rivieren uitstroomt in de Noordzee. De Maas is een typische regenrivier, waarin in de zomer de afvoeren doorgaans zeer laag zijn en in de winter flink kunnen toenemen. Het Nederlandse deel van de Maas kan opgedeeld worden in zes trajecten met onderscheidende kenmerken als gevolg van zowel natuurlijke verschillen alsook als gevolg van menselijke ingrepen (Figuur 6).



Bovenmaas:	rkm 2 – 15,4
Gemeenschappelijke Maas:	rkm 15,4 – 67,9
Plassenmaas:	rkm 69,7 – 87,0
Zandmaas:	rkm 87,0 – 165,9
Bedijkte Maas:	rkm 165,9 – 200,8
Getijdenmaas:	rkm 200,8 – 247,5

Figuur 6: Maas onderverdeeld in zes trajecten. Figuur uit Verhaal van de Maas (Asselman et al., 2019). Naar de Grensmaas refereren we in dit rapport als 'Gemeenschappelijke Maas'.

De Bovenmaas is het deel vanaf de Nederlandse grens tot aan stuw Borgharen. De rivier stroomt hier door een diep dal waarin de rivier zich heeft ingesneden. Aan weerszijden bevinden zich de Limburgse heuvels. De rivierbodem is van harde kalksteen die niet of nauwelijks erodeert.

Na stuw Borgharen begint de Gemeenschappelijke Maas (of Grensmaas). De rivier vormt hier de grens tussen Nederland en België. De Gemeenschappelijke Maas is een echte grindrivier en kent veel natuurlijke elementen als grindbanken, vrij eroderende oevers en grote meanders. De Gemeenschappelijke Maas is van groot belang voor de natuur en is daarom één van de kerngebieden in de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). Over de Gemeenschappelijke Maas vindt geen beroepsscheepvaart plaats, die maakt gebruik van het parallel gelegen Julianakanaal en Zuid-Willemsvaart.

Vanaf de Plassenmaas na stuw Linne neemt de helling van de Maasbodem sterk af. De Roer, de grootste zijrivier van de Maas in Nederland mondt bij Roermond uit in de Maas. Stuwen Linne en Roermond zijn gelegen in de Plassenmaas en stuwen de waterpeilen hier en in het

benedenstroomse deel van de Gemeenschappelijke Maas op. Zeer kenmerkend voor de Plassenmaas zijn de grote en diepe plassen die zijn ontstaan door grindwinning.

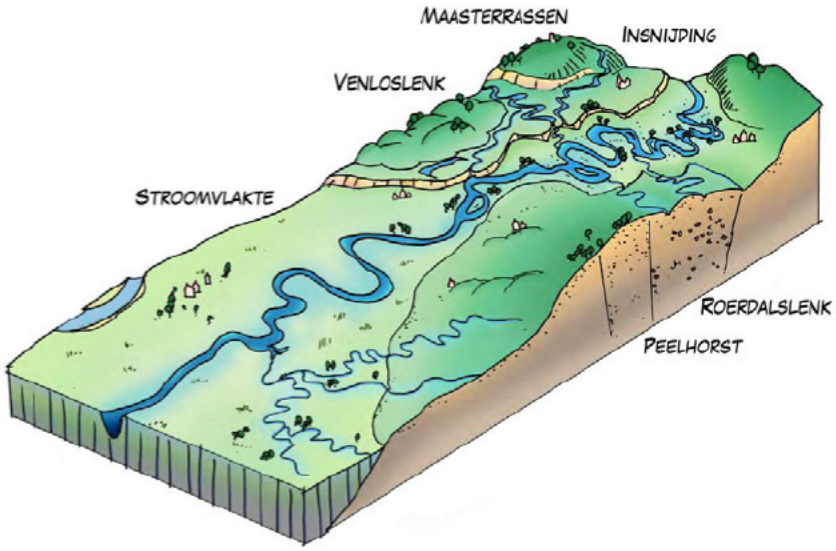
De Zandmaas, ook wel eens verder onderverdeeld in de Peelhorstmaas en de Venloslenkmaas, is het laatste deel van de Maas dat door de Maasvallei in Limburg stroomt. Door de Peelhorst (tot Arcen) stroomt de rivier door een smal dal. Daarlangs liggen hoge terrassen met grote landschapswaarden. Benedenstrooms van Arcen is de Zandmaas breder en liggen de rivierterrassen verder van de hoofdgeul af. In dit traject liggen de stuwen Belfeld en Sambeek.

Bij Mook / Cuijk stroomt de Maas Limburg uit en stroomt deze ook vanuit de vallei de brede overstromingsvlaktes van de Rijn en Maas binnen. De Bedijkte Maas is, zoals de naam al aangeeft, aan beide kanten bedijkt. De weerden tussen de dijken zijn in de loop der tijd hoog opgeslibd. In het landschap bevinden zich historische Maasmeanders. In de Bedijkte Maas liggen de stuwen Grave en Lith.

In de Getijdenmaas staan geen stuwen meer en is er invloed van het getij. Langs weerszijden is de rivier bedijkt. Een deel van de Getijdenmaas, de Bergsche Maas, is gegraven. Bij Keizersveer / Geertruidenberg gaat de Maas over in de Amer, welke vervolgens samenvloeit met de Nieuwe Merwede in het Hollandsch Diep.

2.1.2 Geologie en ondergrond van de Maas

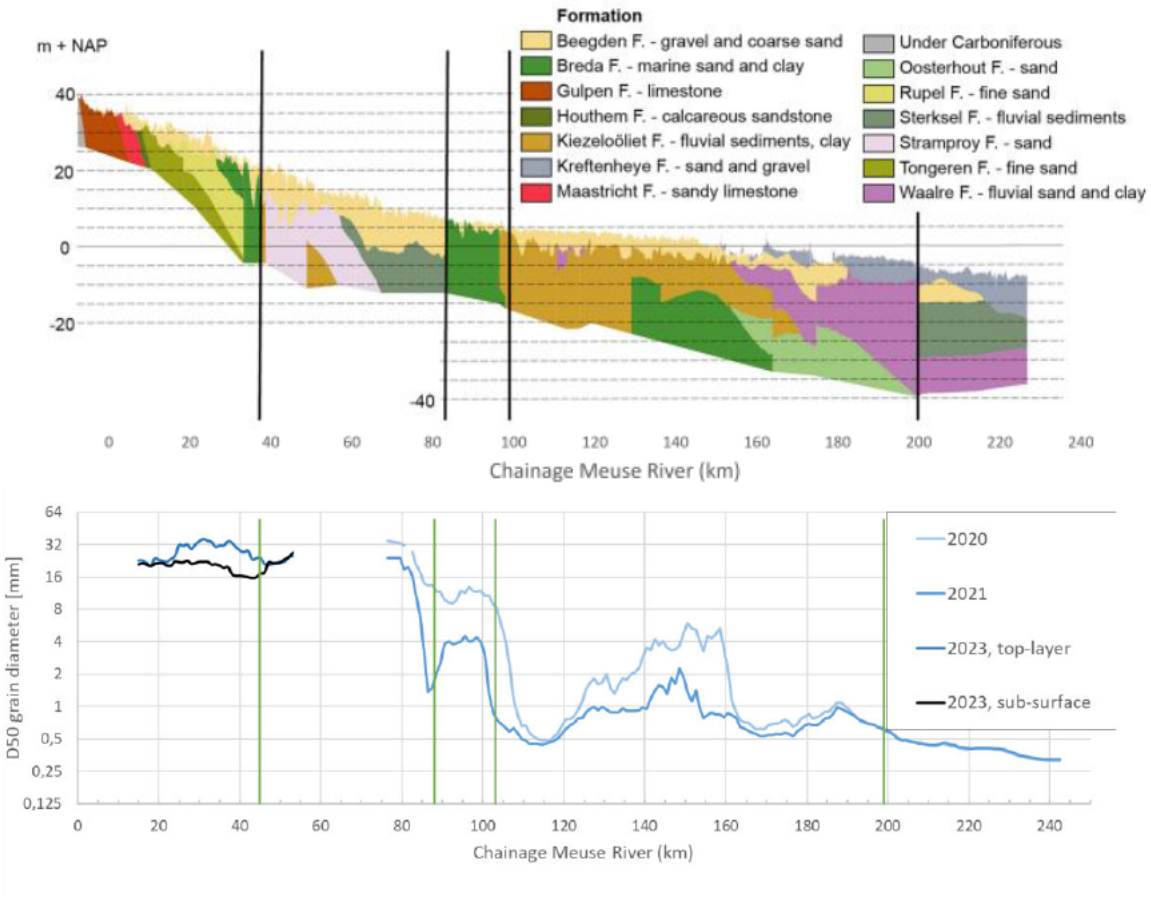
De morfologische ontwikkeling en de huidige rivierbodemligging van de Maas zijn voor een belangrijk deel te verklaren vanuit de geologie en de ondergrond (Figuur 7 en Figuur 8). In de Maasvallei liggen diverse breuklijnen. Langs deze breuklijnen is de bodem gedaald (slenken) of gestegen (horsten). Het resultaat van deze stijgingen en dalingen zien we ook in de opbouw van de ondergrond. De eerste breuklijn (Feldbissbreuk) doorsnijdt de Maas rondt Grevenbicht. Tot aan de volgende breuklijn (Peelrandbreuk) benedenstrooms van Roermond stroomt de Maas door de Roerdalslenk. Vanaf hier stroomt de Maas door de Peelhorst. In deze Peelhorst is de Maas diep ingesneden en is het rivierbed relatief smal. Nabij Arcen gaat de Peelhorst over in de Venloslenk waarin de Maas parallel door deze slenk stroomt.



Figuur 7: Geologie van de Maas schetsmatig verbeeld. Figuur uit het Verhaal van de Maas (Asselman et al., 2019).

In de ondergrond van de Maas zien we in het meest bovenstroomse deel (Bovenmaas) kalksteen (ofwel mergel) in de bodemopbouw. Dit harde gesteente erodeert nauwelijks. Tot aan de Roerdalslenk zien we dat er aan het oppervlak veel grind en grof zand daarin voorkomt. Het fijnere sediment spoelt uit waardoor de bodem zich heeft 'afgepleisterd'. Onder deze grove pleisterlaag zien we veel fijnere zanden (uit het Mioceen) in de bodem zitten. In de Roerdalslenk heeft de rivier veel grind en grof zand in de bodem afgezet.

In de overgang naar de Peelhorst (tussen rkm 80 en 100) krijgt de Maas een veel flauwer verhang. Dit zorgt voor lagere stroomsnelheden waardoor de rivier vooral nog zand (zowel grof als fijn) en slib kan transporteren (Figuur 8). De stuwen vertragen de stroming verder en zorgen ervoor dat er slechts 40 tot 45 dagen per jaar significant sedimenttransport plaatsvindt. Een afvoer van ca. 500 m^3/s (een ruime winterafvoer) is nodig om het zand in beweging te krijgen. Het zand en slib zien we tot aan de monding in de toplaag van de rivierbodem. Onder de toplaag van (grof) zand, ligt in de Peelhorst het nog veel fijnere Miocene zand dicht onder de rivierbodem. Net als in de Roerdalslenk heeft de rivier ook in de Venloslenk veel grind en grof zand afgezet, maar zien we aan het oppervlak een sedimenttransportlaag van zand (Figuur 8).

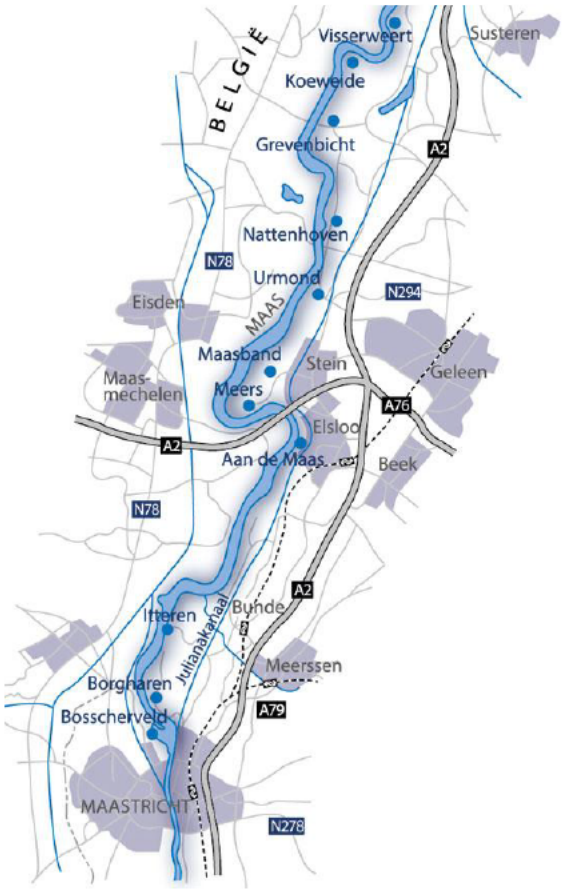


Figuur 8: Figuren uit Barneveld et al. (2025b). Boven: Langsprofiel van de bodemopbouw van de Maas. De zwarte lijnen geven de voor de riviermorfologie meest bepalende breuklijnen aan. Onder: de mediane korrelgrootte van de toplaag (in een deel van de Gemeenschappelijke Maas is er ook informatie van de laag eronder weergegeven) van de rivierbodem voor verschillende meetmomenten op basis van metingen van Rijkswaterstaat.

2.1.3 Menselijke ingrepen

In de afgelopen ruim honderd jaar hebben menselijke ingrepen de Maas enorm veranderd. De rivier werd verkort door bochtafsnijdingen en de Bergsche Maas werd gegraven om het water efficienter naar zee te krijgen. Omdat de Maas slecht bevaarbaar was werden in de Maas zeven stuwen gebouwd en werden diverse kanalen gegraven. Zand- en grindwinning hebben het zomerbed en het winterbed ook drastisch veranderd. Het zomerbed is ver gedaald en er zijn diepe plassen ontstaan.

In de afgelopen ruim twintig jaar is er na het hoogwater van 1995 ook nog veel gebeurd in en om de Maas. In de Maasvallei zijn waterkeringen rondom dorpen en steden gebouwd. Mede als gevolg hiervan is het rivierbed in de Maasvallei op een aantal trajecten ingesnoerd en zijn zogenaamde flessenhalzen ontstaan in het doorstroomprofiel van de Maas. In het project Zandmaas (onderdeel van de Maaswerken), in het Grensmaasproject (Figuur 9) en bij Vlaamse rivierverruimingen is de afvoer- en bergingscapaciteit vergroot door de aanleg van zomerbedverdiepingen, weerdverlagingen, hoogwatergeulen en retentiegebieden. De uitvoering ging meestal gepaard met zand- en grindwinning.

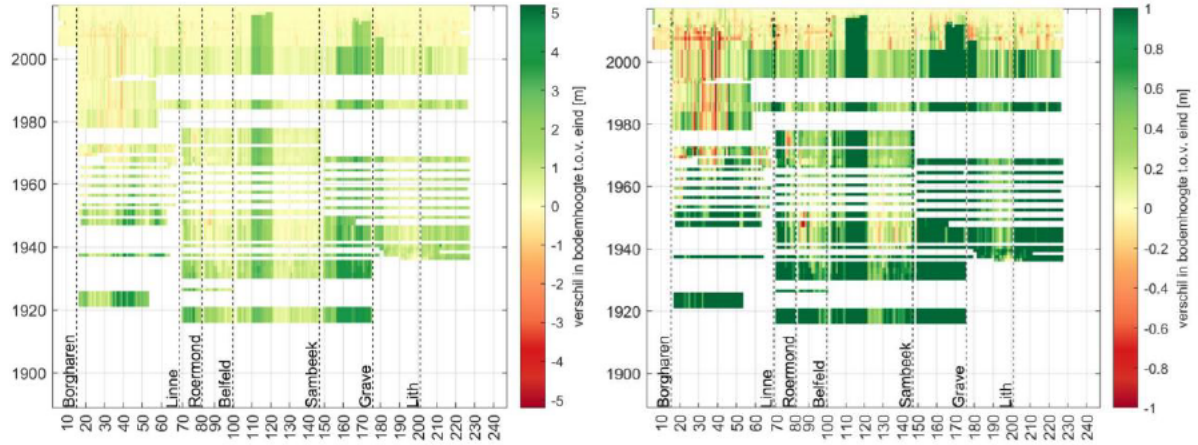


Figuur 9: Locaties met maatregelen in het Grensmaasproject (bolletjes met locatienamen). Bron: Consortium Grensmaas.

2.2 Historische ontwikkeling rivierbodemligging Maas

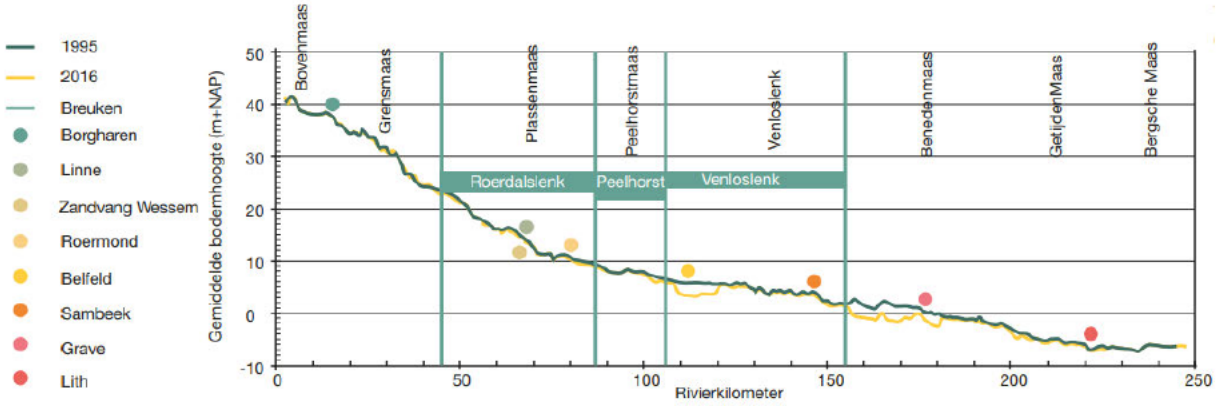
2.2.1 Rivierbodempeilingen Maas

De eerste rivierbodempeilingen in de Maas zijn uitgevoerd in 1889. Deze peilingen gebeurden tot 1995 met peilstokken. Vanaf 1995 werd er gepeild met singlebeam-metingen en vanaf 2004 werd er gepeild met multibeam-metingen. Het geheel aan peilingen geeft een goed beeld van de grootschalige bodemhoogteveranderingen in de afgelopen eeuw (Figuur 10). Ten opzichte van de vroegste peilingen is het zomerbed van de Maas bijna overal één of meerdere meters gedaald. De belangrijkste oorzaken zijn aan menselijke ingrepen toe te rekenen: de riviernormalisaties, zand- en grindwinning uit het zomerbed en de geringe aanvoer van sediment van bovenstrooms (Asselman et al., 2019 en Barneveld, 2025b).



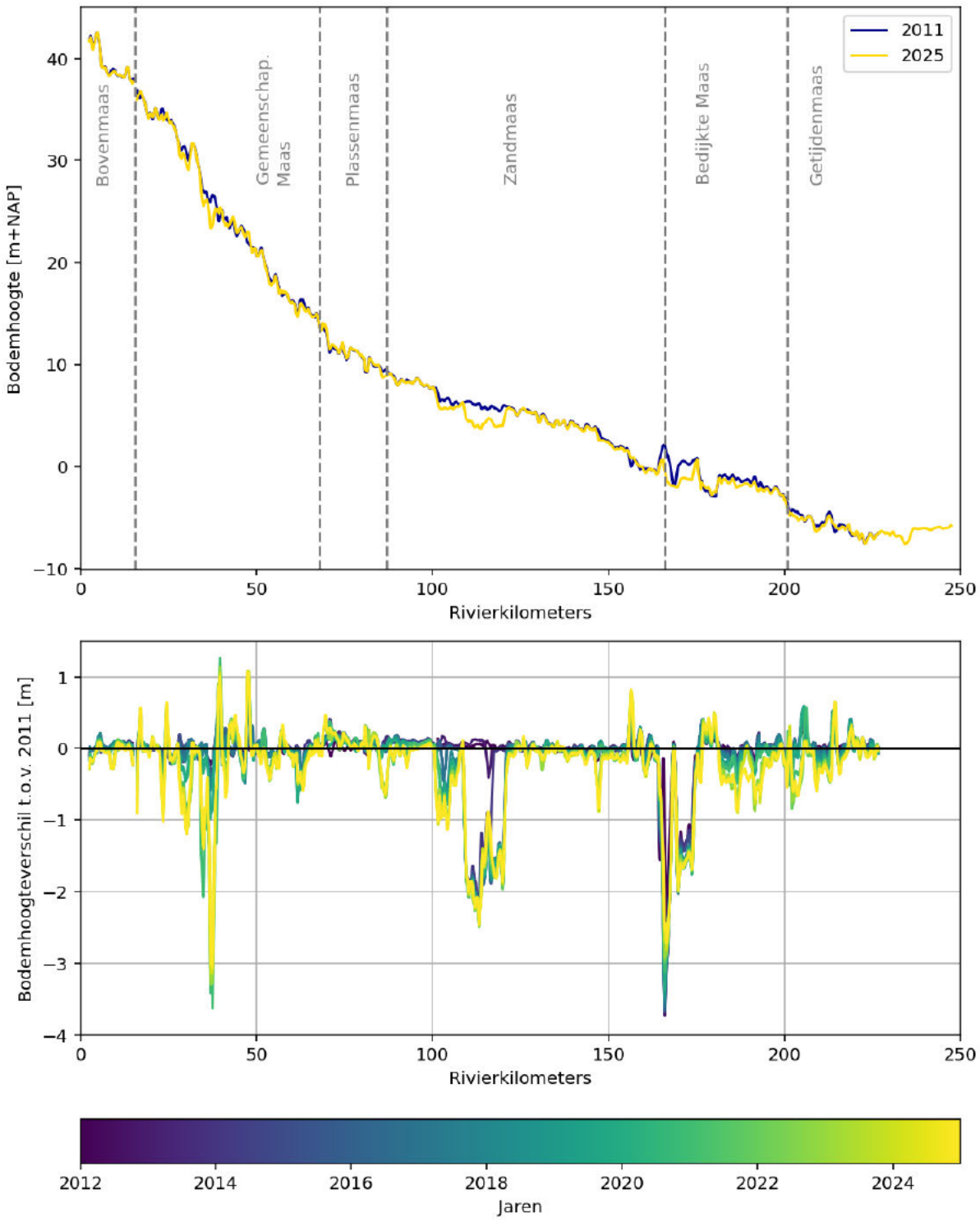
Figuur 10: Verschil in gemiddelde bodemhoogtes in het zomerbed t.o.v. de peiling van 2023 als functie van rivierkilometers (x-as) en tijd (y-as). Het figuur links en rechts hebben enkel een andere kleurenschaal. Groene kleuren geven aan dat het zomerbed hoger lag dan het niveau van 2023. Rode kleuren geven aan dat het zomerbed in die jaren lager lag dan het niveau van 2023. Figuur uit Van der Deijl et al. (2025).

Ook in een vergelijking tussen 1995 (het jaar dat er met singlebeam-peilingen is gestart) en 2016 zien we dat er significante veranderingen in de rivierbodem hebben plaatsgevonden (Figuur 11). De grootste veranderingen laten zich verklaren door de zomerbedverdiepingen (zie paragraaf 2.2.3). Een deel van de verschillen kan mogelijk ook verklaard worden door de overgang van singlebeam naar multibeam-metingen in 2004 (Van der Deijl et al., 2025). Mede door twijfels aan en onvolledigheid van de multibeam-peilingen in de eerste jaren, veronderstellen we dat pas vanaf 2011 de peilingen onderling echt goed te vergelijken zijn (conform Barneveld et al., 2025b).



Figuur 11: Gemiddelde bodemhoogtes van de Maas in 1995 en 2016. Figuur uit Verhaal van het Sediment (Barneveld et al., 2020).

Voor deze studie hebben we de door Rijkswaterstaat toegeleverde bodempeilingen tussen 2011 en 2025 geanalyseerd, volgens de methodiek die beschreven is in Bijlage C. Figuur 12 laat zien dat er in deze periode lokaal grote veranderingen zijn geweest in de rivierbodemligging. De verschillen zijn grotendeels te verklaren door langjarig sedimenttekort door de lage toevoer vanuit België (paragraaf 2.2.2), menselijke ingrepen waaronder zomerbedverdiepingen (paragraaf 2.2.3) en het ontstaan van diepe erosiekuilen in een deel van de Gemeenschappelijke Maas tijdens het zomerhoogwater van 2021 (paragraaf 2.2.4).



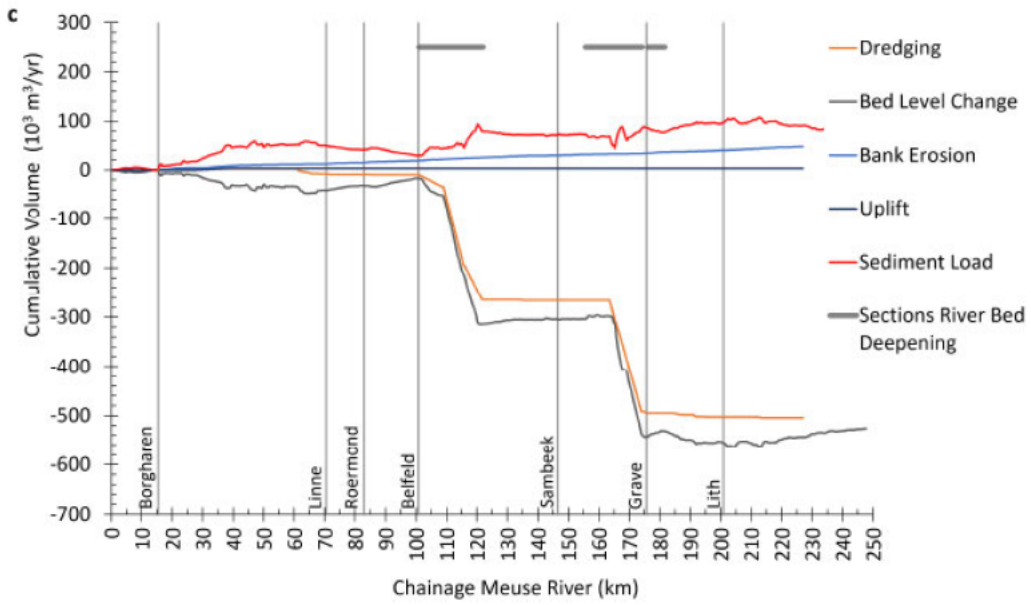
Figuur 12: Boven: Gemiddelde zomerbedhoogtes (zie Bijlage C voor een beschrijving van de analyse) gemiddeld per rivierkilometer in 2011 (blauw) en 2025 (oranje). Onder: Gemiddelde bodemhoogteverschillen per rivierkilometer t.o.v. 2011 voor alle jaren t/m 2025.

2.2.2 Langjarige trends in sedimenttransport

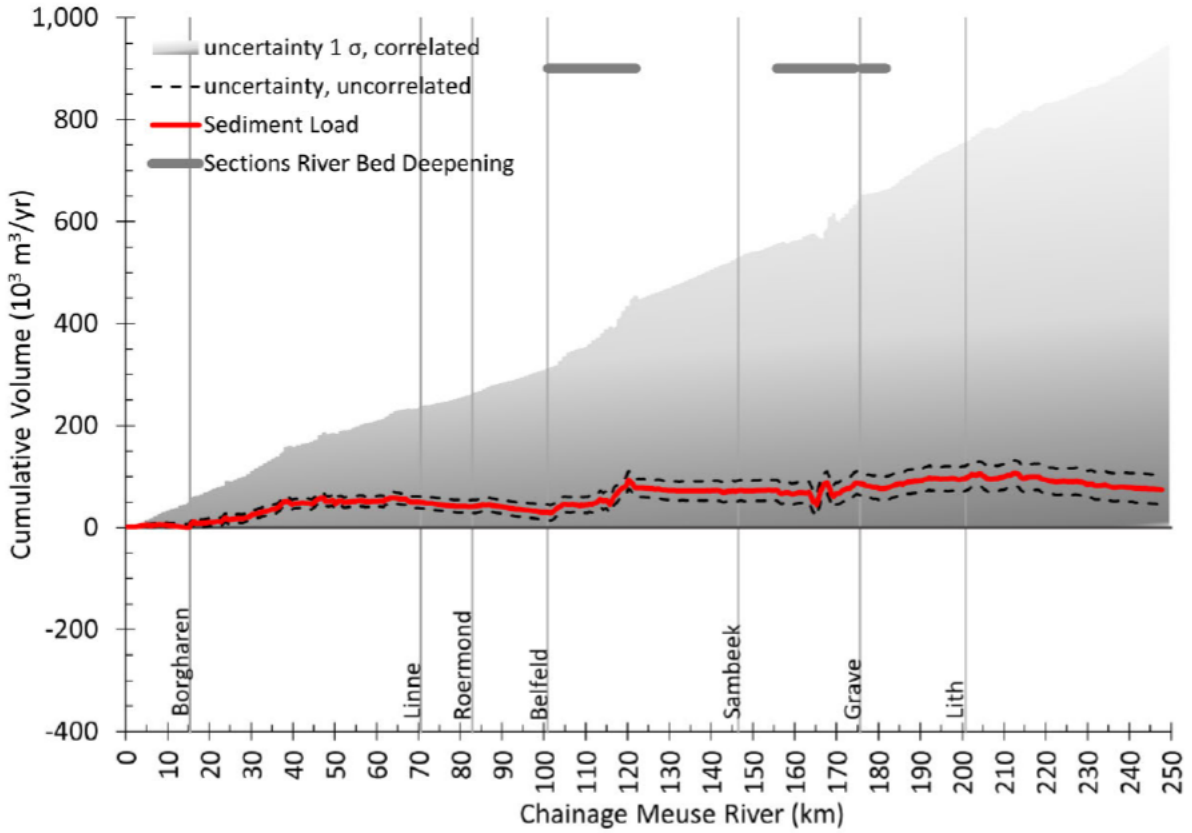
De Maas in Nederland kent al geruime tijd een tekort aan sedimenttoevoer omdat in België nog maar beperkt sediment uit zijrivieren en oevers komt en het sedimenttransport (en sedimenttransportcapaciteit) wordt mogelijk gereduceerd door de serie van stuwen in de Maas in België. Stuw

Monsin (Luik) en Lixhe (Nederlandse grens) gaan pas bij zeer hoge afvoeren (ca. 3.000 m^3/s) volledig open (Barneveld et al., 2025b). Er komt beperkt alluviaal sediment (zand en grind) de Nederlandse grens over, waardoor al het sediment dat in Nederland in transport komt uit de oevers of het zomerbed van de Maas zelf moet komen. Dit wordt helder aangetoond in de door Barneveld et al. (2025b) opgezette sedimentbalans (Figuur 13 en Figuur 14), waarvoor gegevens over bodemhoogteveranderingen, baggeren en oevererosie zijn gecombineerd. Bovenstrooms is de jaargemiddelde toevoer van sediment gering. In de Gemeenschappelijke Maas loopt de lijn op, wat aangeeft dat het sedimenttransport toeneemt. Dit sediment komt bij gebrek aan bovenstroomse aanvoer vanuit het zomerbed en/of de oevers. Bij stuw Linne is het sedimenttransport naar schatting ca. 50.000 m^3/jaar wat dus uit het zomerbed en de oevers van de Gemeenschappelijke Maas komt. Tussen stuw Grave en stuw Lith zien we weer een geleidelijke toename van het sedimenttransport, wat wederom duidt op erosie van het zomerbed en de oevers. In totaal brengt dit het sedimentte-kort op jaargemiddeld 100.000 m^3/jaar. Benedenstrooms van Lith zien we juist een neergaande lijn in het sedimenttransport, wat duidt op sedimentatie in het zomerbed.

Zolang er beperkt sediment van bovenstrooms wordt aangevoerd en er in Nederland sediment-transport in de Maas is (geen volledig afgepleisterde toplaag op de Gemeenschappelijke Maas), zal er altijd netto erosie blijven plaatsvinden. Het volumetekort is naar schatting 100.000 m^3/jaar, al is de onzekerheid groot en kan het ook meer zijn. Afpleistering zal naar verwachting geleidelijk in benedenstroomse richting uitbreiden, omdat het fijne sediment uit de toplaag spoelt en het grove sediment overblijft. Dit grove sediment kan alleen bij zeer hoge afvoeren in beweging komen. Het aantal dagen dat er daardoor sedimenttransport plaatsvindt, neemt nog verder af.



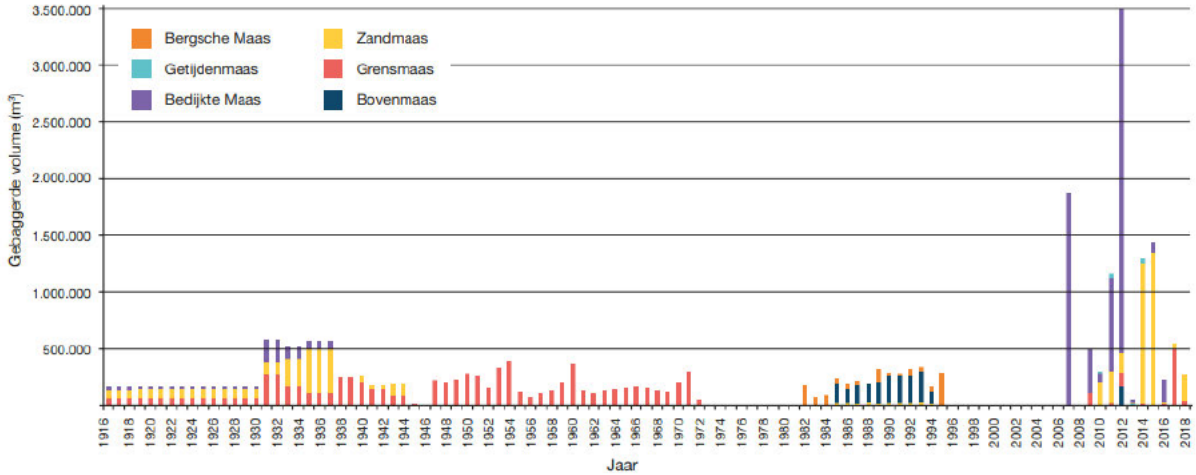
Figuur 13: Sedimentbalans van Barneveld et al. (2025b) op basis van bodempeilingen tussen 2011 en 2019. Boven: de verschillende bronnen in de sedimentbalans. 'Uplift' is ondergeschikt aan de andere posten (dichtbij 0) en speelt alleen lokaal in de Gemeenschappelijke Maas een significante rol. De rode lijn geeft het resulterende sedimenttransport als alle andere posten van de sedimentbalans van de bodemverandering zijn afgehaald.



Figuur 14: Sedimentbalans van Barneveld et al. (2025b) op basis van bodempeilingen tussen 2011 en 2019. Het figuur geeft het sedimenttransport inclusief onzekerheidsbanden. De rode lijn is dezelfde lijn als de rode lijn in Figuur 13.

2.2.3 Menselijke ingrepen

Menselijke ingrepen hebben de zomerbedhoogte van de Maas direct of indirect sterk veranderd, met voornamelijk een diepere ligging ten opzichte van een eeuw maar ook ten opzichte van een tiental jaar geleden. Jaargemiddeld zijn er enkele honderdduizenden kubieke meters zand en grind uit het zomerbed en het winterbed van de Maas gehaald (Figuur 15).



Figuur 15: Geschatte baggervolumes in de Maas tussen 1916 en 2018 in zomer- en winterbed gezamenlijk. Figuur uit Verhaal van het Sediment (Barneveld et al., 2020). Dit overzicht is niet volledig.

Zomerbedverdiepingen

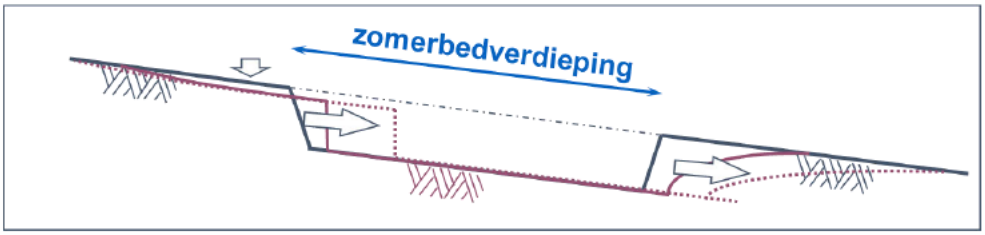
De grootste vergravingen in de afgelopen decennia zijn de zomerbedverdiepingen in de Zandmaas en Bedijkte Maas geweest (de hele hoge pieken in Figuur 15 en de grote dalingen in Figuur 11 en Figuur 12). Het zomerbed is in het kader van Maaswerken met 1,5 tot 3 m verdiept in drie trajecten waar de Maas is gestuwd (Figuur 16). Het voornaamste doel was het bevorderen van waterveiligheid met als belangrijk nevendoel het vergroten van de diepgang voor de scheepvaart. De eerste verdieping, genaamd Proefproject 1, heeft plaatsgevonden in het traject Gennep-Grave in 1996. Tussen rkm 155,7 en 174,2 is 1,5 miljoen m^3 uit het zomerbed gehaald. In navolging van het proefproject volgde eerst de verdieping Grave-Ravenstein (2007), vervolgens een verdieping van het traject Gennep-Grave (2011-2012) en ten slotte Venlo-Arcen (2013-2015). In totaal is er bij deze verdiepingen ca. 7,3 miljoen m^3 ontgraven.



Figuur 16: Trajecten zomerbedverdiepingen. Figuur uit Bakker et al., 2025

Het onderhouden van de zomerbedverdiepingen in de Maas valt binnen de reguliere onderhoudsbaggerwerkzaamheden. Uit baggerregistraties blijkt dat de baggervolumes in de verdiepingen relatief beperkt zijn. De analyse van Bakker et al. (2025) naar de bodemhoogtes in de zomerbedverdiepingen laat ook zien dat de grootschalige morfologische ontwikkelingen van de zomerbedverdiepingen relatief beperkt zijn. Lokaal zijn er wel sterke veranderingen, maar gemiddeld over de gehele verdieping is de verandering beperkt. Dit in tegenstelling tot de zomerbedverdieping in de IJsseldelta waar jaarlijks tienduizenden kubieke meters sediment in worden afgezet.

De beperkte veranderingen komen (nog) niet overeen met de theoretische ontwikkeling van zomerbedverdiepingen waarin deze aan bovenstroomse zijde vooral sedimenteren door vertragende stroming en aan benedenstroomse zijde eroderen (vanwege beperkte sedimentaanvoer van bovenstrooms). Mogelijk is de tijdspanne te kort om deze ontwikkelingen te kunnen observeren, verstoren onderhoudsbaggerwerkzaamheden de observaties of zorgt het geringe sedimenttransport in de Maas voor een zeer trage morfologische ontwikkeling. Door het geringe sedimenttransport is niet de verwachting dat de zomerbedverdiepingen zonder onderhoud snel vol gaan lopen (Bakker et al., 2025).



Figuur 17: Theoretische morfologische ontwikkeling van zomerbedverdiepingen. Figuur uit Sloff (2021).

Zand- en grindwinning en onderhoudsbaggerwerkzaamheden

In het zomerbed en het winterbed van de Maas wordt al heel lang zand en grind gewonnen (Figuur 15). Het gaat jaarlijks om volumes die vaak meer zijn dan het transport van de Maas zelf. Deze zand- en grindwinningen hebben ontegenzeggelijk voor een daling van het zomerbed gezorgd (Barneveld et al., 2025b).

In de periode 2011-2019 zijn er ook honderdduizenden kuubs sediment uit het zomerbed gebaggerd, los van de zomerbedverdiepingen. Hieronder viel bijvoorbeeld de verruiming van de vaarroute bij Venlo om de noord-zuidas Maasroute van Maastricht tot Weurt (Maas-Waalkanaal) geschikt te maken voor schepen van klasse Vb. Andere werkzaamheden zijn ook gelinkt aan het geschikt maken van de vaarroute voor deze klasse schepen.

Recenter zijn in drie fases in de periode 2021-2025 in het kader van Groot Onderhoud Vaarwegen (GOVa) baggerwerkzaamheden uitgevoerd. Het betrof honderdduizenden kuubs sediment die (onder andere) uit het zomerbed zijn gehaald. Grote volumes en bijbehorende bodemhoogteveranderingen zien we onder andere benedenstrooms van stuw Lith (GOVa fase 2) en tussen Heumen en Lith (GOVa fase 3). Op een aantal trajecten is er gewerkt met een dubbeldoelstelling: het oplossen van bestaande knelpunten in de vaargeul en het verruimen van het vaargeulprofiel om te voldoen aan de doelen van Maasroute.

Grensmaasproject en ingrepen aan Vlaamse zijde

Sinds 2008 is Consortium Grensmaas aan Nederlandse zijde bezig met rivierverruiming en zand- en grindwinning in de Gemeenschappelijke Maas op 11 projectlocaties (Figuur 9). De laatste projectlocaties zijn nog in uitvoering tot en met 2027. De maatregelen betreffen hoogwatergeulen, stroomgeulverbredingen, weerdverlagingen en nevengeulen. De rivierverruimingen hebben de hydrodynamica en morfologie van de rivier sterk veranderd. Vooral bij hoogwater is de verdeling van afvoer over de hoofdgeul en de weerden sterk veranderd. Door stroomgeulverbreding stromen de weerden veel minder vaak over. Omdat er veel is gegraven in de weerden komt er ook ander sediment aan de oppervlakte te liggen dat bij een hoogwater moeilijker of makkelijker in transport kan komen. Deze veranderingen zorgen voor (lokale) erosie- en sedimentatiepatronen. De bodem van de Gemeenschappelijke Maas is zich nog aan het aanpassen aan deze nieuwe situatie.

Omdat door de rivierverruiming de laagwaterstanden in de Maas en daarmee de grondwaterstanden in de omgeving verlaagd werden, is ter mitigatie een zevental grinddrempels in de Gemeenschappelijke Maas aangelegd. De meeste hiervan liggen nabij Meers (rkm 32-34) om de grondwaterstanden in het Vlaamse natuurgebied de Hoge Kempen op peil te houden. Deze grinddrempels steken boven de rivierbodem uit en stuwen de laagwaterstanden op (Figuur 18). Bij lage afvoeren zijn de stroomsnelheden bovenstrooms van de drempels laag en is er zelfs stagnant water. Hierdoor bezinkt slib op de rivierbodem.



Figuur 18: Grinddrempels (onder water) bij Meers. Foto van Beeldbank Rijkswaterstaat, Joop van Houdt.

Ook aan Vlaamse zijde zijn diverse rivierverruimingen uitgevoerd. Tussen 2006 en 2010 heeft verruiming plaatsgevonden bij Hochter Bampd, Herbricht en Kotem om hydraulische knelpunten te verminderen ("Boertien locaties" n.a.v. werkzaamheden Commissie Boertien in 1995; De Jong et al., 2022). Tussen 2016 en 2020 hebben nog eens aanvullende verruimingen plaatsgevonden om hydraulische knelpunten op te lossen, namelijk bij Maaswinkel, Mazenhoven, Leut-Meeswijk, Boyen-Veurzen en Geistingen. Los daarvan zijn ook de projecten Negenoord/Kerkeweerd, Bichterweerd, Koggegreend, Elerweerd en Kessenicht/Kollegreend/Koningssteen uitgevoerd. De verruimingen vonden voornamelijk in de oeverzone plaats.

Grindsuppleties

In augustus 2025 is in opdracht van Rijkswaterstaat gestart met het suppleren van grind in de Gemeenschappelijk Maas bij Meers. Dit wordt gedaan om het leefgebied van waterplanten, vissen en macrofauna te verbeteren. Door allerlei omstandigheden (waaronder menselijke ingrepen) is er te weinig ondiep, snelstromend water met een grindbodem die niet verslibd is. Dit is juist cruciaal voor de soorten die van deze omstandigheden afhankelijk zijn.

Er is ruim 37.000 m^3 grind aangebracht net benedenstrooms van een van de grinddrempels (Figuur 19). Deze locatie is geselecteerd onder meer vanwege het voorspelde morfologische effect (Sloff, 2025). Het grind zal zich geleidelijk gaan verspreiden in benedenstroomse richting. Dit gebeurt naar verwachting bij afvoeren hoger dan 500 m^3/s. Er volgt een uitgebreid monitoringsprogramma om de effecten van de grindsuppletie goed in beeld te krijgen. Deze kennis kan worden toegepast bij het ontwerp en de uitvoering van toekomstige (grind)suppleties.

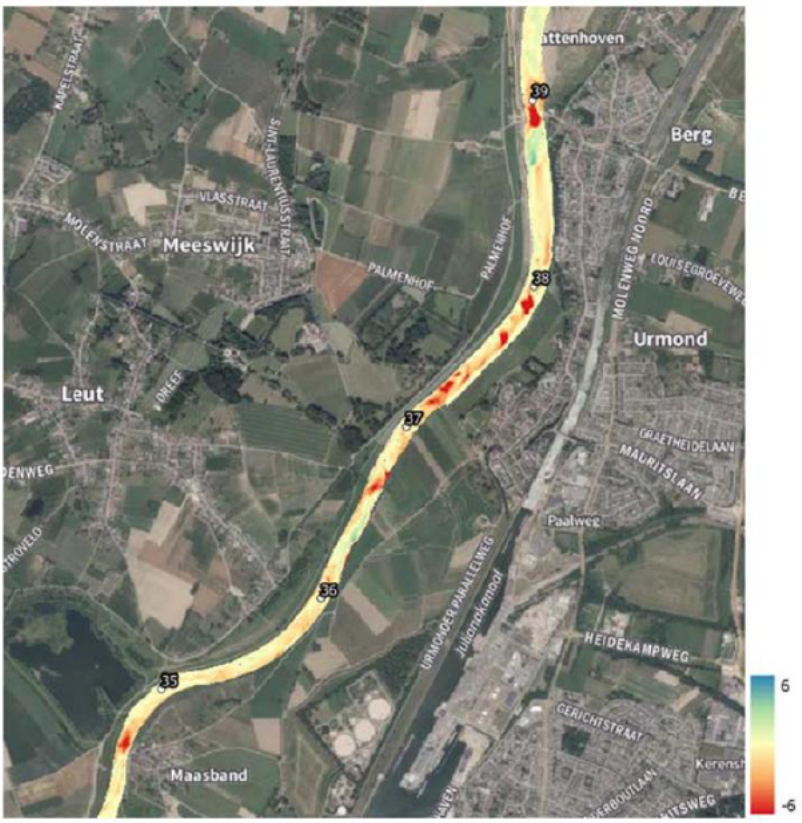


Figuur 19: Locatie grindsuppletie Gemeenschappelijke Maas. Bron: Rijkswaterstaat[1]

2.2.4 Erosiekuilen Gemeenschappelijke Maas

In Figuur 12 zien we dat tussen rkm 34 en 40 een forse bodemverlaging is opgetreden. Deze is het gevolg van het ontstaan van diepe erosiekuilen op dit traject tijdens het zomerhoogwater van 2021. Op dit traject zijn 16 kuilen ontstaan, waarvan er 1 meer dan 15 m diep was (Figuur 20). In totaal is er naar schatting 500.000 m^3 sediment geërodeerd tijdens dit hoogwater, waarvan het grootste gedeelte heel fijn zand is uit de erosiekuilen (Barneveld et al., 2025a). Als gevolg van de erosie(kuilen) zijn veerstoepen beschadigd en werden pijpleidingen, waardoor chemisch transport plaatsvindt, blootgelegd. Direct na het hoogwater is bij een aantal erosiekuilen noodherstel uitgevoerd.

[1] https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2025/08/1e-ladingen-vers-grind-aangebracht-op-maasbodem-bij-meers



Figuur 20: Bodemhoogteverschil in het erosiekuilentraject voor en na het hoogwater van 2021. Figuur uit Expertisenetwerk (2021).

Het risico op het ontstaan van erosie was voor het hoogwater weliswaar al tientallen jaren bekend, maar niet hoe groot de kans was, waar precies en hoe diep de erosiekuilen zouden kunnen worden (Barneveld et al., 2020). De grindlaag boven de fijne zanden in de ondergrond (paragraaf 2.1.2) was op diverse locaties minder dan een halve meter dik. Bovendien lopen door de rivierverruimingen in het Grensmaasproject en aan Vlaamse zijde de stroomsnelheden en schuifspanningen in flessenhalzen zeer sterk op tijdens hoge afvoeren. Dit speelt onder andere in het traject waar de erosiekuilen zijn ontstaan. Tijdens het hoogwater van 2021 ontstonden duinen van 1 m of hoger, waarschijnlijk vooral zo hoog door de hoge stroomsnelheden als gevolg van 'flessenhalseffect' (Barneveld et al., 2025a). De duinen werden hoger dan de gehele toplaag van grof sediment, waardoor de troggen van de duinen in het hele fijne zand sneden. Dit fijne zand kon vervolgens relatief makkelijk wegspoelen waardoor de diepe erosiekuilen ontstonden.

Het grootste deel van de kuilen is na het hoogwater niet opgevuld en ligt dus nog steeds in de rivierbodem. De kuilen die wel zijn opgevuld, zijn opgevuld vanwege het hoge risico die ze vormden voor de stabiliteit van infrastructuur. Omdat de grindlaag op het traject niet dikker is geworden, blijft het risico op het ontstaan van nieuwe kuilen bij een volgend hoogwater bestaan.

3 Aanpak en uitgangspunten

3.1 Aanpak op hoofdlijnen

De kern van deze studie is het vinden van een stabiele rivierbodemligging voor de Maas die langjarig niet meer stijgt of daalt en tegelijkertijd beheerbaar is. Bewust kiezen we ervoor de impact van de rivierbodemligging en de impact van maatregelen te scheiden. We krijgen daarmee eerst redeneerlijnen en beslisinformatie voor bepaalde rivierbodemhoogteliggingen. Er zijn vervolgens meerdere manieren (maatregelen) om deze rivierbodemligging te realiseren en te handhaven, elke manier met weer een eigen effect. De beschouwing daarvan geeft ook weer extra beslisinformatie.

Eerst bepalen we de referentiesituatie: de autonome ontwikkeling van de bodem richting de toekomst als we het huidige beleid voortzetten (methodiek in paragraaf 3.3). Vervolgens werken we drie varianten hierop uit (methodiek in paragraaf 3.4). Voor elke variant definiëren we de bandbreedte waarin de rivierbodem gehouden moet worden (methodiek in paragraaf 3.5), bepalen we de maakbaarheid en beheerbaarheid (methodiek in paragraaf 3.6), en beoordelen we de effecten op rivierfuncties (methodiek in paragraaf 3.7). De resultaten van deze analyses zijn te vinden in Hoofstuk 4.

Daarna doen we in Hoofdstuk 5 een beschouwing op de kansrijke maatregelen. Voor elk type maatregel bepalen we benodigde dimensies (methodiek in paragraaf 3.9), hoe maakbaar deze is en hoe het de beheerbaarheid van de rivierbodemligging beïnvloedt (dezelfde criteria als voor de bodemhoogteligging, paragraaf 3.6) en wat de impact van het maatregeltype is op de rivierfuncties (dezelfde criteria als voor de bodemhoogteligging, paragraaf 3.7).

In een synthese en discussie (Hoofdstuk 6) brengen we de varianten en maatregelen samen en schetsen we het handelingsperspectief voor een toekomstige rivierbodemligging.

3.2 Afbakening tijd en ruimte

Evaluatietijdschaal

Bij de beschouwing van de autonome ontwikkeling van de rivierbodem, bij de analyse van de beheerbaarheid, en bij de bepaling van de effecten (impact) van een rivierbodemligging of maatregelen moet een tijdpad worden gekozen waarover de betreffende situatie wordt gehandhaafd. We gaan uit van het vasthouden van de rivierbodemligging voor een periode van 50 jaar na 2025. In 50 jaar treedt er voldoende morfologische ontwikkeling op om de impact van een instabiele rivierbodemligging zichtbaar te maken. Een nog langere tijdschaal brengt te veel onzekerheden en minder urgentie met zich mee.

Zomerbedbegrenzing

Het rivierbodembeleid van het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 richt zich op de rivierbodemligging van het zomerbed: de rivierbedding tot de oevers. De weerden en nevengeulen horen niet bij het zomerbed, wat niet betekent dat deze niet beheerd hoeven worden. De keuze voor de zomerbegrenzing die we maken moet in lijn zijn met hoe het straks beheerd wordt: we willen bodemerosie stoppen. Om daarop te focussen is het belangrijk een eenduidige en smalle begrenzing van het zomerbed te hanteren, waarvoor bijna altijd peilingen beschikbaar zijn.

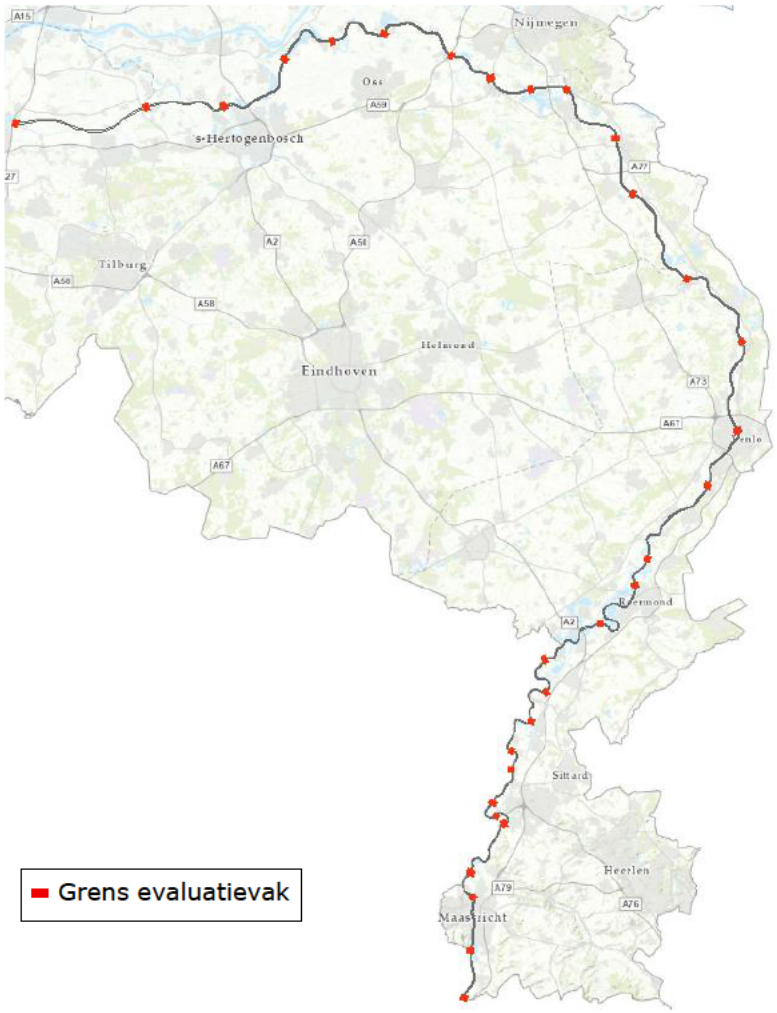
Voor de gehele Maas hanteren we de zomerbedbegrenzing afkomstig uit Baseline (NL j24). Het zomerbed is voor Baseline gedefinieerd als het deel van de rivier (tussen de oevers) dat onder normale condities (mediane afvoeren) altijd onder water staat. Het in Baseline opgenomen zomerbed heeft een relatief constante breedte (ongeveer 150 m in de gestuwde Maas) en heeft een goede dekking in bodempeilingen. Voor de gestuwde Maas sluit de begrenzing goed aan op het 'morfologisch actieve deel' van de rivier. Voor de Gemeenschappelijke Maas is de morfologie veel complexer en varieert het 'morfologisch actieve deel' van de rivier zeer sterk: deze splitst om eilanden en grindruggen en bevat oevers en lage weerden. De gehanteerde Baseline-definitie heeft ook hier voordelen, want: deze heeft een goede dekking in de peilingen, kent een relatief constante breedte van ruim 100 m en bevat voornamelijk het diepe deel van de rivier.

Ruimtelijke evaluatieschalen: vakken met vergelijkbare morfologische kenmerken én kilometervakken

De ruimtelijke schaal waarop bodemontwikkelingen geëvalueerd worden is belangrijk. De Maas is op een aantal trajecten een dynamische rivier waarvan de rivierbodem voortdurend in beweging is. Het is onwenselijk en onmogelijk om voortdurend in te grijpen zodra er ergens een vierkante meter Maasbodem iets hoger of lager ligt dan gewenst. Om recht te doen aan het doel van het stoppen van bodemerosie voor de gehele Maas, en deze bepaald wordt door grootschalige trends in sedimenttoevoer en sedimenttransport, hanteren we primair een grote evaluatieschaal. Op deze schaal wordt de grootschalige erosie zichtbaar, maar blijft kleinschalige dynamiek daarbinnen mogelijk. Meer concreet: lokaal mag de rivierbodem meerdere decimeters variëren in tijd en ruimte (waarbij eventueel lokaal baggeronderhoud voor de scheepvaart wordt geaccepteerd), maar uitgemiddeld over een lang riviertraject is slechts een veel kleinere afwijking tussen de basisrivierbodemligging en de daadwerkelijke rivierbodemligging toegestaan.

Naast de grotere ruimteschaal beschouwen we de morfologische ontwikkelingen binnen kilometervakken. In deze kilometervakken kan acute erosie veel sneller gesignaleerd worden. Daarnaast helpen de ontwikkelingen binnen de kilometervakken om de trends in de grotere evaluatievakken te verklaren, door te laten zien waar binnen een vak het ontbrekende of surplus volume sediment vandaan komt.

We hebben evaluatievakken gekozen met een lengte van gemiddeld ca. 8 km, waarbij de vakken het kortst zijn op de Gemeenschappelijke Maas en het langst op de meest benedenstroomse trajecten. De vakgrenzen zijn zo gekozen dat er binnen de vakken sprake is van vergelijkbare morfologische kenmerken en/of ontwikkelingen. De vakgrenzen zijn bijvoorbeeld gebaseerd op de stuwen, randen van de bestaande zomerbedverdiepingen en trajecten met fijne zandlagen in de ondergrond. Dit resulteert in vakken die langs de Gemeenschappelijke Maas wat korter zijn dan langs de rest van de Maas. De vakgrenzen zijn opgenomen in Bijlage A en hieronder visueel weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21: Grenzen van de evaluatievakken

Maastrajecten

Voor de bepaling van de effecten van een variant van de rivierbodemligging op de maakbaarheid en beheerbaarheid, bijdrage aan het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding en de impactanalyse op functies, maken we gebruik van een trajectindeling waarin we de Maas opdelen in zes trajecten (zie ook Figuur 6). De trajecten zijn als volgt:

- Bovenmaas: rkm 2,0 – 15,4
- Gemeenschappelijke Maas: rkm 15,4 – 67,9Z
- Plassenmaas: rkm 69,7Z – 87,0
- Zandmaas: rkm 87,0 – 165,9
- Bedijkte Maas rkm 165,9 – 200,8
- Getijdenmaas rkm 200,8 – 247,5

Elk traject kent meerdere evaluatievakken. De bodemhoogtes stellen we dus vast per evaluatievak, maar de effectbepaling doen we op trajectniveau.

3.3 Bepalen referentiesituatie

De referentierivierbodemligging is de bodem die zich ontwikkelt gedurende de evaluatietijdschaal van 50 jaar als niet wordt ingegrepen om langjarige erosie of sedimentatie af te remmen (in MER-

termen: de autonome ontwikkeling). We gaan daarbij uit van voortzetting van het huidige beleid, waaronder valt:

- Onderhoudsbaggerwerkzaamheden, waarbij het gebaggerde sediment niet wordt teruggestort in de rivier
- Het onderhouden en dus op diepte houden van de zomerbedverdiepingen
- Het niet/ten dele opvullen[2] van ontstane diepe erosiekuilen

Deze referentietoestand gebruiken we om de resultaten van de varianten mee te vergelijken.

We stellen de referentiebodemligging vast met als vertrekpunt de voor Integraal Riviermanagement vastgestelde trends van Sloff (2021) op basis van bodempeilingen tussen 1995 en 2017. We kijken of deze trends een update nodig hebben gegeven de ontwikkeling van de bodem in de periode 2018-2025. Zie Bijlage B.

3.4 Opstellen varianten voor de basisrivierbodemligging

Een variant is een combinatie van een basisrivierbodemligging (=gemiddelde hoogteligging in een vak), een bandbreedte waartussen de rivierbodemligging zich moet bevinden en (optioneel) aanleg- en beheermaatregelen.

Variant 1: de huidige rivierbodemligging

Voor variant 1 zoeken we naar de makkelijkst 'maakbare' rivierbodemligging. Het ophogen van de rivierbodemligging vraagt om veel sediment en heeft daarmee een grote impact op de maakbaarheid. Door de meest actuele rivierbodemligging te gebruiken (=2025) voor variant 1 zijn er geen aanlegmaatregelen nodig om de basisrivierbodemligging te realiseren. Deze variant is niet per definitie een goed beheerbare rivierbodemligging. Beheer in de vorm van suppleren en baggeren is noodzakelijk om de rivierbodemligging te handhaven.

Variant 2: een beter beheerbare bodem door een rivierbodemverhoging op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas

In variant 2 zoeken we expliciet naar een beter beheerbare bodem. Een belangrijk knelpunt voor variant 1 zal in Hoofdstuk 4 blijken te zijn het risico op het ontstaan van erosiekuilen in de Gemeenschappelijke Maas. Dit zorgt ervoor dat de bodem op dit traject niet beheerbaar is. We zoeken in deze variant dus (voornamelijk) naar een oplossing voor het risico op het plots kunnen ontstaan van erosiekuilen in de Gemeenschappelijke Maas. Dit doen we door op het traject waar dit risico bestaat een bufferlaag aan te brengen. We zoeken hier naar een minimaal benodigde bufferlaag.

Variant 3: een beter beheerbare rivierbodemligging die ook de functies van de rivier beter bedient

Deze variant is gericht op het definiëren van een optimale rivierbodemligging ten aanzien van alle vier de hoofdfuncties van de Maas, en die tegelijkertijd niet veel meer beheer vraagt dan variant 2. We zoeken hierbij naar een rivierbodemligging die alle optimaal functies bedient. Daartoe beschouwen we welke rivierbodemliggingverandering (of juist geen verandering) wenselijk is vanuit elke functie. De ene functie heeft namelijk andere behoeftes dan de andere.

[2] Het uitgangspunt is dat net als bij het hoogwater van 2021 enkele erosiekuilen worden opgevuld daar waar er risico's zijn voor infrastructuur als veerstoepen, leidingen, oevers en keringen.

3.5 Bandbreedte waarin de rivierbodemligging zich moet bevinden

Zodra de basisrivierbodemligging formeel is vastgesteld, zal de rivierbeheerder periodiek toetsen of de actuele rivierbodemligging nog voldoet aan de toegestane bandbreedte: een minimale en maximale rivierbodemligging binnen de evaluatievakken. Worden deze grenzen overschreden, dan signaleert de rivierbeheerder dat hij moet ingrijpen om de rivierbodemligging langjarig stabiel te houden.

Deze bandbreedte wordt zo gekozen dat deze bodemdynamiek toelaat, maar de kans op ongewenste effecten (bijv. plotselinge erosie, droogvallen nevengeulen) klein genoeg is. Toepassing van de bandbreedte moet daarmee leiden tot het stoppen en het voorkomen van (plotselinge) rivierbodemerosie.

De bandbreedte wordt daarom bepaald door:

- Risicolocaties voor plotselinge erosie: op deze locaties moet erosie zoveel mogelijk worden beperkt omdat dit tot onbeheersbare risico's kan leiden. Dit bepaalt een ondergrens voor de bodemligging.
- Functie-eisen: Welke variatie kan worden toegestaan zonder dat dit tot (grote) nadelen voor de functies leidt?
- Beheerbaarheid: welke meetfrequentie en onderhoudsfrequentie zijn gewenst?

We bepalen de jaar-tot-jaar dynamiek van de rivierbodemligging per evaluatievak door een analyse uit te voeren met de beschikbare bodempeilingen vanaf 2011 (=15 jaar). We berekenen de min-max waarden van de gemiddelde rivierbodemligging na het corrigeren voor een lineaire trend in de data. Dit geeft enig inzicht in de natuurlijke dynamiek van de rivierbodem. Met deze vergelijking kiezen we een geschikte bandbreedte per evaluatievak.

3.6 Bepaling maakbaarheid en beheerbaarheid

We bepalen de maakbaarheid en beheerbaarheid van de basisrivierbodemligging. Deze definiëren en beoordelen we als volgt.

Maakbaarheid: De mate waarin de gewenste rivierbodemligging door menselijk ingrijpen kan worden gerealiseerd.

Voor de maakbaarheid hanteren we de volgende criteria:

- Aanlegkosten: Kwantitatieve bepaling van de aanlegkosten door het benodigde volume voor het realiseren van de rivierbodemligging te vermenigvuldigen met eenheidskosten.
- Milieubelasting: Kwalitatieve beoordeling van verwachte CO_2- en stikstofuitstoot bij de aanleg
- Techniek: Kwalitatieve beoordeling of de techniek beschikbaar is om de basisrivierbodemligging te realiseren
- Hinder bij aanleg: Kwalitatieve beoordeling van de veroorzaakte hinder voor de omgeving als gevolg van de aanleg.

Naast deze criteria zijn bestaande wet- en regelgeving van belang (bijv. aantal dagen stremming vaarweg, omgang met PFAS-verontreiniging). We geven aan of het realiseren van de basisrivierbodemligging naar verwachting wel of niet past binnen huidige wet- en regelgeving. Omdat wet- en regelgeving niet per definitie zijn afgestemd op grootschalige ingrepen in het rivierengebied, stellen

we niet dat een basisrivierbodemligging niet maakbaar is als er niet wordt voldaan aan bestaande wet- en regelgeving. Indien nodig en gewenst kan wet- en regelgeving worden aangepast.

Beheerbaarheid: De inspanning die nodig is om de rivierbodemligging binnen de vastgestelde bandbreedte te houden.

Voor de beheerbaarheid hanteren we de volgende criteria:

- Beheerkosten: Kwantitatieve bepaling van de beheerkosten op basis van eenheidskosten voor baggeren en suppleren. De beheervolumes zijn hierin doorslaggevend.
- Milieubelasting: Kwalitatieve beoordeling van verwachte CO_2- en stikstofuitstoot tijdens het beheer.
- Hinder bij uitvoering beheer: Kwalitatieve beoordeling van de hinder die gepaard gaat met het beheer van de rivierbodem.
- Voorspelbaarheid van het beheer: Kwalitatieve beoordeling of er sprake is van voorspelbaar beheer. Omgedraaid, het beheer is niet voorspelbaar als Rijkswaterstaat als beheerder plots en acuut (uit nood) moet beheren en/of herstellen en dit beheer daardoor niet in de reguliere planning meegenomen kan worden.

Voor de kostenaspecten van maakbaarheid en beheerbaarheid hebben we de dimensies / volumes van maatregelen nodig. Deze dimensies bepalen we met de methodiek beschreven in paragraaf 3.9. We vermenigvuldigen de dimensies met de eenheidskosten uit de Kentallen Kosten-batenanalyse van IRM (Kind, 2022). Deze eenheidskosten hebben prijspeil januari 2021. Op basis van de meest recente index-cijfers[3] (=oktober 2024), hanteren we een indexatiefactor van 29%. Dit geeft de (afgeronde) eenheidskosten zoals genoemd in Tabel 1. De kosten zijn zeer indicatief omdat deze sterk afhankelijk zijn van lokale omstandigheden.

Tabel 1: Te hanteren eenheidskosten

Type maatregel	Kosten (prijspeil okt. 2024)
Sedimentsuppleties	€ 61 per m^3 suppletie[4]
Zomerbedverbreding	€ 454.000 per m verbreding, per rivierkilometer
Nevengeulen	€ 55 per m^3 vergraving
Uiterwaardvergravingen	€ 55 per m^3 vergraving

De scores op de criteria voor maakbaarheid en beheerbaarheid kennen we toe op basis van onderlinge vergelijkingen van de varianten. We hanteren de volgende schaal:

Score	Toelichting
x	Niet maakbaar / beheerbaar
★	Grote inspanning nodig → Minder maakbaar / beheerbaar
★★	Kleine inspanning nodig → Goed maakbaar / beheerbaar

De overall score op 'maakbaarheid' en 'beheerbaarheid' wordt bepaald door of de meerderheid '★' of '★★' is, tenzij er op een criterium 'x' is gescoord. Dan is deze doorslaggevend.

[3] CBS 42/43: Grond-, weg- en waterbouw. https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84538NED

[4] De eenheidskosten voor suppleties is veel discussie over. Deze zijn namelijk sterk afhankelijk van de omvang suppleties, met welk materiaal en hoe eenvoudig hier aan gekomen kan worden, waar deze worden uitgevoerd en welke bijkomende kosten er zijn (bijv. vervangen bodembescherming). Grootschaliger suppleties zijn doorgaans goedkoper per m^3 suppletie dan kleinschaliger suppleties. Voor de Gemeenschappelijke Maas is grind en (grof) zand nodig, wat niet altijd voorradig is. Bovendien moet het sediment over land worden aangevoerd en ook (deels) vanaf land worden aangebracht in de rivier. Binnen RWS ZN wordt met een kengetal van €45 per ton touvenant (~€23 per m^3) gerekend (bron: persoonlijke communicatie RWS ZN).

3.7 Criteria voor impactanalyse beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding

We beoordelen in welke mate een gekozen rivierbodemligging bijdraagt aan het beleidsdoel 'rivierbodemligging en sedimenthuishouding':

Een voldoende stabiele en beheerbare rivierbodemligging van het zomerbed die bijdraagt aan herstel van de natuurlijke rivierdynamiek en zorgt voor een goede bevaarbaarheid en waterverdeling over Nederland bij lage rivierafvoeren

Een deel van dit beleidsdoel ('goede bevaarbaarheid') wordt beoordeeld in de impactanalyse op de functies van de rivier. Het deel over de waterverdeling over Nederland bij lage rivierafvoeren is met name toegespitst op de Rijntakken.

Dan blijft over het beoordelen hoe de varianten voor de rivierbodemligging scoren op 'een voldoende stabiele en beheerbare rivierbodemligging van het zomerbed die bijdraagt aan herstel van de natuurlijke rivierdynamiek'. Hiervoor hebben we de volgende criteria opgesteld:

- Stabiele rivierbodemligging: een rivierbodemligging die langjarig niet meer stijgt of daalt, ongeacht of hier beheer- of aanlegmaatregelen voor nodig zijn. Dit criterium resulteert in 'voldoet wel' ( ) of 'voldoet niet' ( ).
- Risico op ontstaan diepe erosiekuilen: een te kleine dekking boven de erosiegevoelige fijne zanden in de ondergrond kan leiden tot het ontstaan van diepe erosiekuilen. Indien er naar verwachting te weinig dekking is scoren we een 'voldoet niet' ( ).
- Natuurlijke morfodynamiek: morfologische processen als gevolg van hydraulische krachten op het sediment kunnen vrij optreden binnen het rivierbed. We beoordelen kwalitatief (positief , neutraal , negatief) en houden hierbij rekening met diverse relevante aspecten (zie Bot, Kers en Stolk, 2013), waaronder:
  - Sedimentconnectiviteit: doorgaand en ononderbroken sedimenttransport in de lengterichting van de rivier waarbij sediment geen barrières als dammen, stuwen en zandvangen aanwezig zijn of het sediment deze barrières onbelemmerd kan passen
  - Natuurlijkheid van de bedding: het niet hebben van een kunstmatige bedding (beton, vaste lagen, etc.)
  - Het vrij kunnen optreden van sedimentatie en erosie in het zomerbed en de oeverzone- waardoor grind- en zandbanken kunnen ontstaan en migreren en oevers eroderen waarbij steilranden kunnen.

Natuurlijke morfodynamiek	
++	Aantal dagen per jaar met doorgaand sedimenttransport neemt toe met meer dan 30 dagen
+	Aantal dagen per jaar met doorgaand sedimenttransport neemt toe met 5 tot 30 dagen
0	Aantal dagen per jaar met doorgaand sedimenttransport verandert nauwelijks (+/- 5 dagen)
-	Aantal dagen per jaar met doorgaand sedimenttransport neemt af met 5 tot 30 dagen
--	Aantal dagen per jaar met doorgaand sedimenttransport neemt af met meer dan 30 dagen

3.8 Criteria voor de impactanalyse op functies

Om inzicht te krijgen in de impact van keuzes omtrent de hoogteligging van de rivierbodem en eventuele maatregelen brengen we in beeld hoe deze doorwerken op de hoofdfuncties van de rivier. Voor elke functie selecteren we enkele criteria die de hoofdfunctie goed kunnen beschrijven. We beoordelen vervolgens elk criterium per Maastraject. De scores middelen we om tot een score voor de hoofdfunctie te kunnen komen, tenzij een score op één van de criteria dermate zwaar weegt ten opzichte van de anderen. Dit wordt dan bij de beoordeling benoemd.

De impactanalyse begint bij een beoordeling van de huidige situatie en referentiebodemligging. Dit doen we met 'smiley'-scores: **goed** (☺), **neutraal** (😐) en **slecht** (☹). Voor de referentiebodemligging beoordelen we enkel het effect van de andere bodemligging en houden expliciet geen rekening met de effecten van klimaatverandering. De varianten voor de rivierbodemligging beoordelen we relatief ten opzichte van de referentiebodemligging met scores van '++' tot '--'. Voor de impactanalyse van de maatregelen hanteren we dezelfde beoordelingscriteria.

De criteria per hoofdfunctie zijn als volgt.

Veilige afvoer

Een veilige afvoer van hoogwater wordt gevat in de beoordelingscriteria:

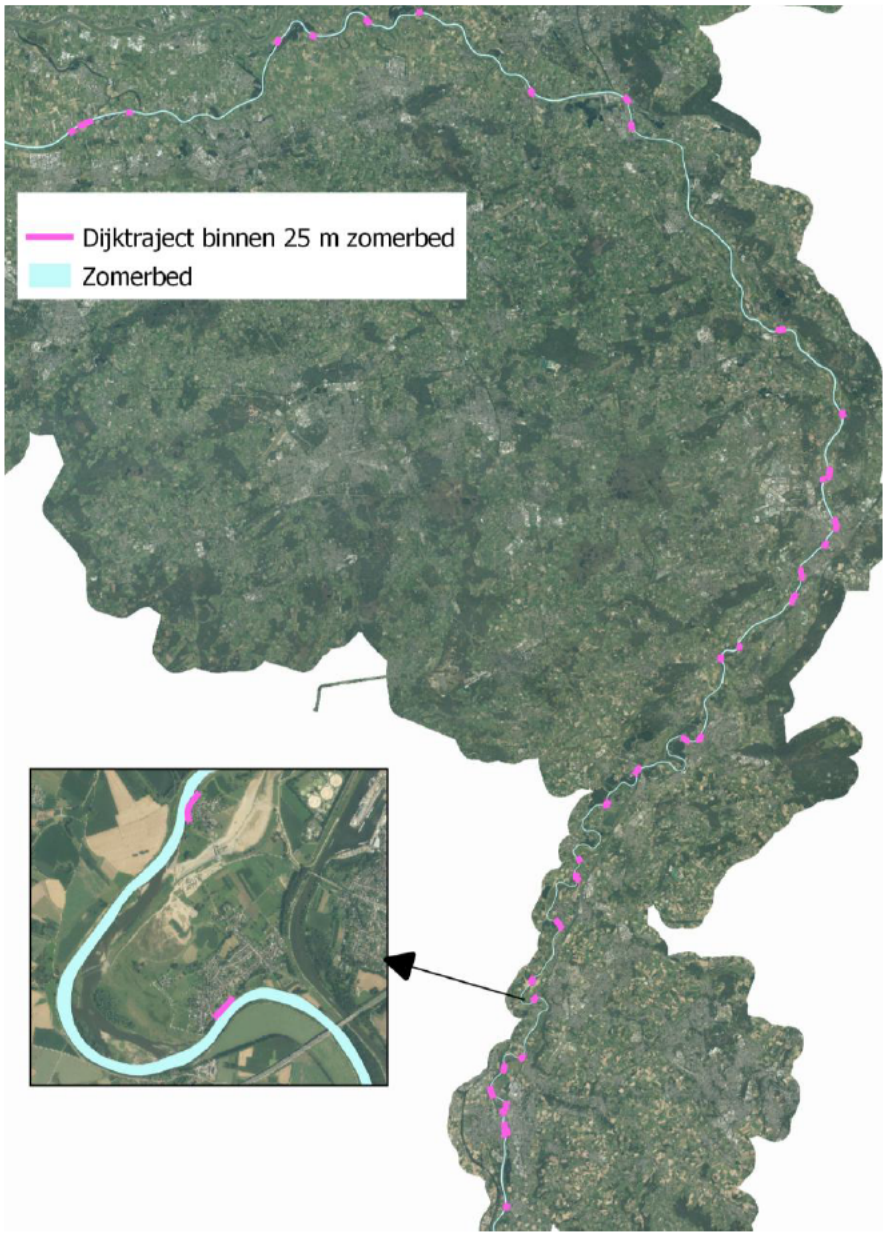
- Hoogwaterstanden; en
- Stabiliteit van primaire keringen.

Hoogwaterstanden zijn de belangrijkste hydraulische belasting op de waterkeringen. Een verlaging van de hoogwaterstanden is dus gunstig voor een veilige afvoer van hoogwater. Toch is een verlaging van de hoogwaterstanden niet noodzakelijk voor het voldoen aan de Omgevingswet (=hoogwaterveiligheid), omdat met het verhogen en versterken van keringen ook de veiligheidsnorm bereikt kan worden. Vanuit het Rivierkundig Beoordelingskader is waterstandsverhoging niet toelaatbaar; deze eis is echter (mogelijk) conflicterend met het belang van een stabiele en beheerbare rivierbodemligging. In onderstaande schaal komt dit expliciet naar voren als er sprake is van een toename van de hoogwaterstanden. Deze dienen mogelijk gecompenseerd te worden met rivierverruimende maatregelen.

Noodzakelijkerwijs dienen de keringen ook stabiel te blijven. Daar waar de keringen dicht bij de hoofdgeul liggen (< 25 m; Figuur 22), kunnen incidentele erosiekuilen de stabiliteit van de primaire keringen ondermijnen. Dit beschouwen we kwalitatief in de impactanalyse.

Hoogwaterstanden bij een Maasafvoer van 3.000 m^3/s	
++	Meer dan 50 cm waterstandsverlaging
+	10 tot 50 cm waterstandsverlaging
0	-10 tot +10 cm
-	10 tot 50 cm waterstandsverhoging
--	Meer dan 50 cm waterstandsverhoging

Risico op instabiliteit primaire keringen	
++	Sterke afname risico op instabiliteit primaire keringen
+	Afname risico op instabiliteit primaire keringen
0	Geen effect op instabiliteit primaire keringen
-	Toename risico op instabiliteit primaire keringen
--	Sterke toename risico op instabiliteit primaire keringen



Figuur 22: Dijken die binnen 25 m van het zomerbed af liggen.

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

De Maas voorziet een groot deel van Zuid-Nederland van water. Delen van Limburg, Noord-Brabant, Zuid-Holland en Gelderland zijn deels afhankelijk van Maaswater voor de zoetwatervoorziening. Verder wordt gebruik gemaakt van zoetwaterbekkens en grondwater. Watertekorten ontstaan in de zomerperiode wanneer de watervraag hoog is en de rivierafvoer sterk afneemt. In droge zomers kan de afvoer door de Maas, bijv. in de Gemeenschappelijke Maas afnemen tot ongeveer 10 m^3/s. Het water van de Maas is niet alleen nodig voor drinkwatervoorziening, maar ook voor de natuur en voor het peilbeheer. De hoeveelheid water (in m^3/s) die in droge periodes door de Maas stroomt, is het belangrijkste knelpunt in de zoetwatervoorziening vanuit de Maas (Daggenvoorde en Pezij, 2024). Enkele m^3/s extra in de zomer kunnen de zoetwatervoorziening al sterk verbeteren. Dit water moet dan vanuit het grondwater, tijdelijke bergingsgebieden of vanuit een afname van de verdamping komen.

Naast het water direct uit de rivier, zorgt de Maas ook voor toevoer van water naar het grondwater. Voldoende buffer in het grondwater is belangrijk voor de zoetwatervoorziening in het achterland, bijvoorbeeld voor landbouw. We hanteren de mediane waterstanden in de Maas als maat voor de grondwaterstanden t.a.v. zoetwatervoorziening.

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening wordt gevat in de beoordelingscriteria:
- Maasafvoer in droge periodes; en
- Grondwaterstanden t.b.v. zoetwatervoorziening.

Maasafvoer in droge periodes	
++	Toename van de Maasafvoer in droge periodes met 10 m^3/s of meer
+	Toename van de Maasafvoer in droge periodes met 1 tot 10 m^3/s
0	Geen toe- of afname van de Maasafvoer in droge periodes (+/- 1 m^3/s)
-	Afname van de Maasafvoer in droge periodes met 1 tot 10 m^3/s
--	Afname van de Maasafvoer in droge periodes met 10 m^3/s of meer

Grondwaterstanden ten behoeve van zoetwatervoorziening	
++	Toename mediane Maaswaterstanden met meer dan 50 cm
+	Toename mediane Maaswaterstanden met 5 cm tot 50 cm
0	Geen toe- of afname van de mediane Maaswaterstanden (-5 tot +5 cm)
-	Afname mediane Maaswaterstanden met 5 cm tot 50 cm
--	Afname mediane Maaswaterstanden met meer dan 50 cm

Natuur en ecologische waterkwaliteit

In de Programmatische Aanpak van Grote Wateren (PAGW) zijn vijf sleutelfactoren vastgesteld die elk, en in samenhang met elkaar, bepalend zijn voor de ecologische robuustheid. Dit zijn: schaal, dynamiek, habitatkwaliteit (abiotisch en biotisch), habitatvariatie en connectiviteit. De hydrodynamische en morfodynamische karakteristieken van de rivier (hetgeen de rivier biedt en wat direct beïnvloed wordt door de rivierbodemligging) zijn voornamelijk gekoppeld aan de sleutelfactor dynamiek.

We vatten de hydrodynamiek en morfodynamiek in een zestal criteria:
1. Stroomsnelheden jaarrond
2. Inundatiefrequenties uiterwaarden en weerden
3. Grondwaterstanden in grondwatergevoelige natuurgebieden (alleen Gemeenschappelijke Maas)
4. Substraat zomerbed (alleen Gemeenschappelijke Maas)
5. Substraat weerden
6. Connectiviteit van beekmondingen, strangen en nevengeulen

De stroomsnelheden in de hoofdgeul zijn belangrijk voor vishabitat. De meeste vissoorten hebben een bepaalde minimale (en maximale) stroomsnelheid nodig. Slechts voor een korte periode in het jaar mogen de stroomsnelheden uitzakken tot minder dan 15 cm/s (Witman et al., 2024). Een verhoging van de stroomsnelheden jaargemiddeld, maar met name in droge periodes is gewenst. Variatie in stroomsnelheden is daarnaast ook nodig. De hydropeaking in de Gemeenschappelijke Maas, het fenomeen waarbij afvoeren en daarmee de stroomsnelheden in korte tijd sterk omhoogschieten, is dan juist weer zeer onwenselijk (Van Denderen, 2024). Langs de hele Maas kan slib bezinken in het zomerbed in perioden met lage stroomsnelheden, wat niet gewenst is (criterium

substraat zomerbed). In de Gemeenschappelijke Maas is een tekort aan grof zand en fijn grind in de bedding.

De inundatiefrequenties van de uiterwaarden en de weerden langs de Maas zijn nu (te) laag voor het ontstaan en behouden van de meeste natte ecotoopsoorten (Asselman et al., 2022), ofwel ecotopen en habitats die een minimale inundatie nodig hebben (bijv. 50 dagen per jaar voor zachthoutooibos en natte graslanden volgens Van den Berg (2021)). De lage inundatiefrequentie geeft ook een beperkte laterale connectiviteit tussen hoofdgeul en weerden, waardoor er nauwelijks vers sediment wordt afgezet op de uiterwaarden en weerden (belangrijk voor Natura 2000 gebieden; criterium substraat winterbed). De afzetting van verse slib, vers zand en verse grind is heel belangrijk voor de natuur op de weerden.

De grondwaterstanden in een groot gebied rondom de rivier zijn afhankelijk van de rivierwaterstanden (Asselman et al., 2022). De gemiddeld hoogste grondwaterstanden, gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden en de gemiddeld laagste grondwaterstanden reageren op de waterstanden (die dus ook een goede proxy zijn). In het vrij afstromende deel van de Maas zijn de grondwaterstanden sterk afhankelijk van de rivierbodemligging. Geschikte grondwaterstanden (voldoende hoog en voldoende laag in de juiste periode van het jaar) zijn noodzakelijk voor de terrestrische natuur. Elk type vegetatie heeft z'n eigen behoefte (Van den Berg, 2021). De natuurgebieden van de Kempen aan Vlaamse zijde van de Gemeenschappelijke Maas zijn gevoelig voor te lage grondwaterstanden. Een verhoging van de grondwaterstanden is wenselijk.

Ook afhankelijk van de waterstanden in de rivier is de connectiviteit van beken, strangen en nevengeulen. Deze wateren vormen essentieel ondiep stromend habitat voor vis en macrofauna (Vriese et al., 2021). Bij te lage waterstanden kunnen geulen en strangen (ongewenst) droogvallen. Bij te hoge waterstanden zijn diverse beekmondingen langs de gestuwde Maas verdronken, zijn de waterdieptes te groot en is er nauwelijks stroming.

Voldoende stroomsnelheid jaarrond	
++	Toename van de stroomsnelheid met meer dan 15 cm/s
+	Toename van de stroomsnelheid met 3 tot 15 cm/s
0	Geen significante toe- of afname van de stroomsnelheden (+/- 3 cm/s)
-	Afname van de stroomsnelheid met 3 tot 15 cm/s
--	Afname van de stroomsnelheid met meer dan 15 cm/s

Inundatiefrequentie weerden (kwalitatief)	
++	Sterke toename van de inundatiefrequentie
+	Toename van de inundatiefrequentie
0	Geen effect op de inundatiefrequentie
-	Afname van de inundatiefrequentie
--	Sterke afname van de inundatiefrequentie

Grondwaterstanden in grondwatergevoelige natuurgebieden (Gemeenschappelijke Maas), proxy = waterstand bij Maasafvoer van 100 m^3/s

++	Toename van de waterstand met meer dan 1 m
+	Toename van de waterstand met 10 cm tot 1 m
0	Geen effect op de inundatiefrequentie
-	Afname van de waterstand met 10 cm tot 1 m
--	Afname van de waterstand met meer dan 1 m

Substraat zomerbed (kwalitatief)	
++	Sterke toename hoeveelheid beschikbaar grof zand en fijn grind in het zomerbed
+	Toename hoeveelheid beschikbaar grof zand en fijn grind in het zomerbed
0	Nauwelijks effect op substraat
-	Afname hoeveelheid beschikbaar grof zand en fijn grind in het zomerbed
--	Sterke afname hoeveelheid beschikbaar grof zand en fijn grind in het zomerbed

Substraat weerden (kwalitatief)	
++	Sterke toename uitwisseling sediment tussen hoofdgeul en weerden
+	Toename uitwisseling sediment tussen hoofdgeul en weerden
0	Nauwelijks effect op substraat
-	Afname uitwisseling sediment tussen hoofdgeul en weerden
--	Sterke afname uitwisseling sediment tussen hoofdgeul en weerden

Connectiviteit beken, strangen en geulen (kwalitatief)	
++	Sterke verbetering connectiviteit door veel minder verdronken beekmondingen en veel minder frequente droogval strangen en nevengeulen
+	Verbetering connectiviteit door minder verdronken beekmondingen en minder frequente droogval strangen en nevengeulen
0	Nauwelijks effect op connectiviteit van beken, strangen en geulen
-	Verslechtering connectiviteit door meer verdronken beekmondingen en frequentere droogval strangen en nevengeulen
--	Verslechtering connectiviteit door veel meer verdronken beekmondingen en veel frequentere droogval strangen en nevengeulen

Bevaarbaarheid

De bevaarbaarheid van de rivier wordt bepaald door het wel/niet halen van de voorgeschreven vaargeuldimensies horend bij de toegelaten scheepvaartklasse. De vaargeuldimensies zijn een minimale diepte en breedte (en doorvaarthoogte). In de gestuwde Maas wordt de waterdiepte op peil gehouden met de stuwen en is scheepvaart in principe altijd mogelijk. Bodemerosie in de gestuwde Maas heeft door de vaste stuwpeilen geen beperking op de bevaarbaarheid. Een grote sedimentatie kan (tijdelijke) hinder veroorzaken totdat deze wordt weggebaggerd. Op de Gemeenschappelijke Maas vindt geen doorgaand beroepsscheepvaart plaats. Op diverse locaties langs de Gemeenschappelijke Maas steken wel veerponten de rivier over. Het meest benedenstroomse traject van de Gemeenschappelijke Maas, vanaf de invaart naar Heerenlaak, kent de Gemeenschappelijke Maas een scheepvaartfunctie (klasse III), met name voor recreatie en voor zand- en grindwinning.

Het doelbereik voor bevaarbaarheid wordt getoetst op:

- de bevaarbare diepte in de vaargeul; en

- breedte van de vaargeul.

Bevaarbare waterdiepte	
++	Toename van de bevaarbare waterdiepte met meer dan 50 cm
+	Toename van de bevaarbare waterdiepte met 10 tot 50 cm
0	Nauwelijks effect op de bevaarbare waterdiepte (max. 10 cm)
-	Afname van de bevaarbare waterdiepte met 10 tot 50 cm
--	Afname van de bevaarbare waterdiepte met meer dan 50 cm

Vaarwegbreedte	
++	Toename van de bevaarbare breedte met meer dan 25 m
+	Toename van de bevaarbare breedte met 5 tot 25 m
0	Nauwelijks effect op de bevaarbare breedte (max. 5 m)
-	Afname van de bevaarbare breedte met 5 tot 25 m
--	Afname van de bevaarbare breedte met meer dan 25 m

Stabiliteit infrastructuur

Naast de 4 hoofdfuncties van de rivier beoordelen we het aspect stabiliteit infrastructuur, dat bestaat uit:

- Stabiliteit kabels en leidingen; en
- Stabiliteit kunstwerken.

Stabiliteit kabels en leidingen	
++	Toename dekking boven kabels en leidingen met meer dan 50 cm
+	Toename dekking boven kabels en leidingen met 10 tot 50 cm
0	Nauwelijks effect op de dekking boven kabels en leidingen (max. 10 cm)
-	Afname dekking boven kabels en leidingen met 10 tot 50 cm
--	Afname dekking boven kabels en leidingen met meer dan 50 cm

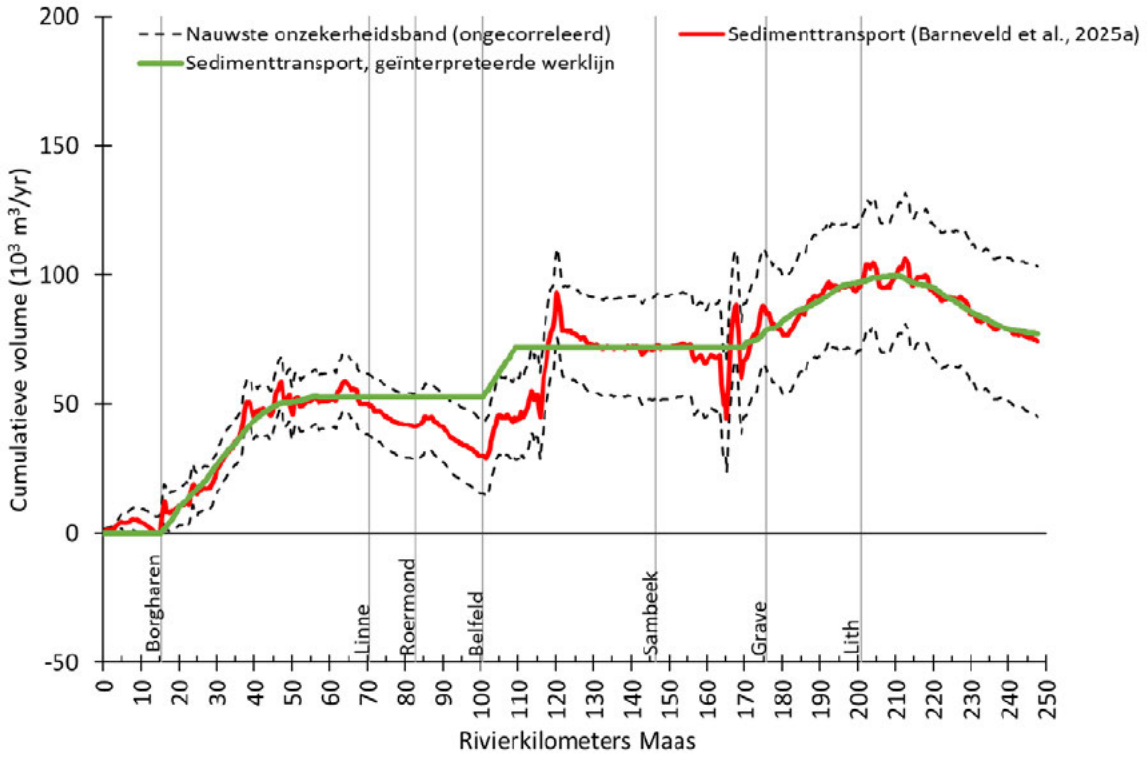
Stabiliteit kunstwerken	
++	Sterke afname risico op instabiliteit door meer dan 50 cm hogere bodem
+	Afname risico op instabiliteit door 10 tot 50 cm hogere bodem
0	Nauwelijks effect op het risico op instabiliteit
-	Toename risico op instabiliteit door 10 tot 50 cm lagere bodem
--	Sterke toename risico op instabiliteit door meer dan 50 cm lagere bodem

3.9 Effecten van maatregelen

Het realiseren en het vervolgens handhaven van een rivierbodemligging op het gewenste niveau vraagt (waarschijnlijk) om aanleg- en/of beheermaatregelen. We bepalen de effectiviteit van mogelijke maatregeltypen (de 'gereedschapskist') op de stabiliteit en beheerbaarheid van de rivierbodemligging en daarnaast hun effect op de functies.

We starten vanaf een longlist van maatregelen welke in overleg met Rijkswaterstaat is samengesteld. Hieruit maken we een selectie van kansrijke maatregelen die kunnen bijdragen aan het beleidsdoel van rivierbodemligging en sedimenthuishouding. We beschrijven hoe deze maatregelen ingezet kunnen worden om de maakbaarheid en beheerbaarheid van de rivierbodemligging te verbeteren.

Vervolgens dimensioneren we maatregelen met een eenvoudige methodiek, namelijk de vuistregeltool die is ontwikkeld voor de QuickScan Rivierbodem Maas (Zuijderwijk et al., 2020). Hierin staat de sedimentbalans van de rivier centraal. Het vertrekpunt is een vereenvoudigde versie van de sedimentbalans en sedimenttransportlijn van Barneveld et al. (2025b), zie Figuur 23. De werklijn (groen) is een interpretatie van de gedetailleerde sedimenttransportlijn. Plotse gradiënten in de transportlijn zijn eruit gehaald om een betere schatting te geven van de benodigde volumes om grootschalige bodemveranderingen te stoppen. Hiermee krijgen we ook enig inzicht in de trajecten waar gesuppleerd (en gebaggerd) moet worden. We merken op dat de sedimenttransportlijn onzeker is. In Figuur 23 tonen we de nauwste onzekerheidsbanden; de wijdste onzekerheidsbanden lopen echter van 0 tot bijna 1.000.000 m^3/jaar (Barneveld et al., 2025b; zie Figuur 14).



Figuur 23: Werklijn (groen) voor het sedimenttransport gebaseerd op Barneveld et al. (2025b; rode lijn) met daarnaast gepresenteerd de nauwste onzekerheidsbanden van Barneveld et al. (2025b).

Direct uit de sedimenttransportlijn halen we de benodigde onderhoudsvolumes: een toename van het sedimenttransport in benedenstroomse richting moet worden opgevuld met suppleties (omdat het sediment anders uit het zomerbed erodeert) en een afname van sedimenttransport in benedenstroomse richting moet worden gebaggerd omdat de bodem anders stijgt. Met de vuistregeltool kunnen we vervolgens bepalen hoe het sedimenttransport verandert als gevolg van ruimtelijke maatregelen (zie Bijlage D voor een verdere toelichting). Met rivierverruiming kunnen gradiënten uit de sedimenttransportlijn worden gemitigeerd zodat onderhoudsvolumes afnemen. Dit leidt tot een beter beheerbare bodem (minder kosten en milieu-impact).

We beoordelen ten slotte de impact van de maatregelen op de functies. Dit doen we aan de hand van de criteria zoals opgesteld in paragraaf 3.8. Dit laat zien of een maatregel geschikt is om bepaalde verbeteringen in functies te bewerkstelligen (daar waar een variant voor de rivierbodemligging dit niet doet), negatieve effecten van een variant voor de rivierbodemligging kan mitigeren of negatieve effecten op de functies heeft en daardoor niet gewenst is.

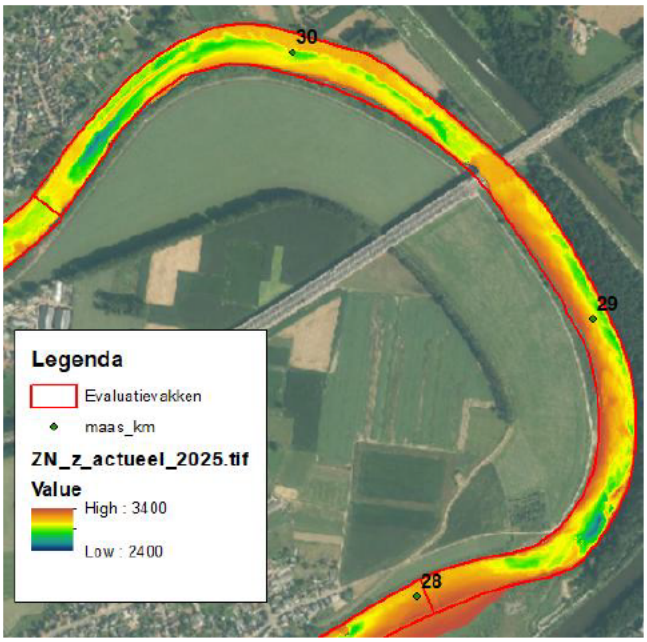
4 Varianten van de rivierbodemligging

We vertrekken vanaf de huidige rivierbodemligging met onze analyse (paragraaf 4.1). Deze huidige rivierbodemligging beoordelen we in absolute termen met 'positief', 'neutraal' en 'negatief'. Alle varianten scoren we t.o.v. de huidige rivierbodemligging met scores van '++' tot '--'. Vervolgens bepalen we de referentiebodemligging over 50 jaar met het voortzetten van het huidig beleid (paragraaf 4.2). Voor deze referentiebodemligging beschouwen we de beheerbaarheid, de bijdrage aan het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding en de impact op de functies. In paragrafen 4.3 t/m 4.5 werken we drie varianten voor de rivierbodemligging over 50 jaar uit: 1) de huidige rivierbodemligging vasthouden, 2) een beter beheerbare bodem en 3) een beter beheerbare bodem die optimaal de functies ondersteunt. Voor elk van deze varianten beschouwen we de maakbaarheid & beheerbaarheid, de bijdrage aan het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding en de impact op de functies.

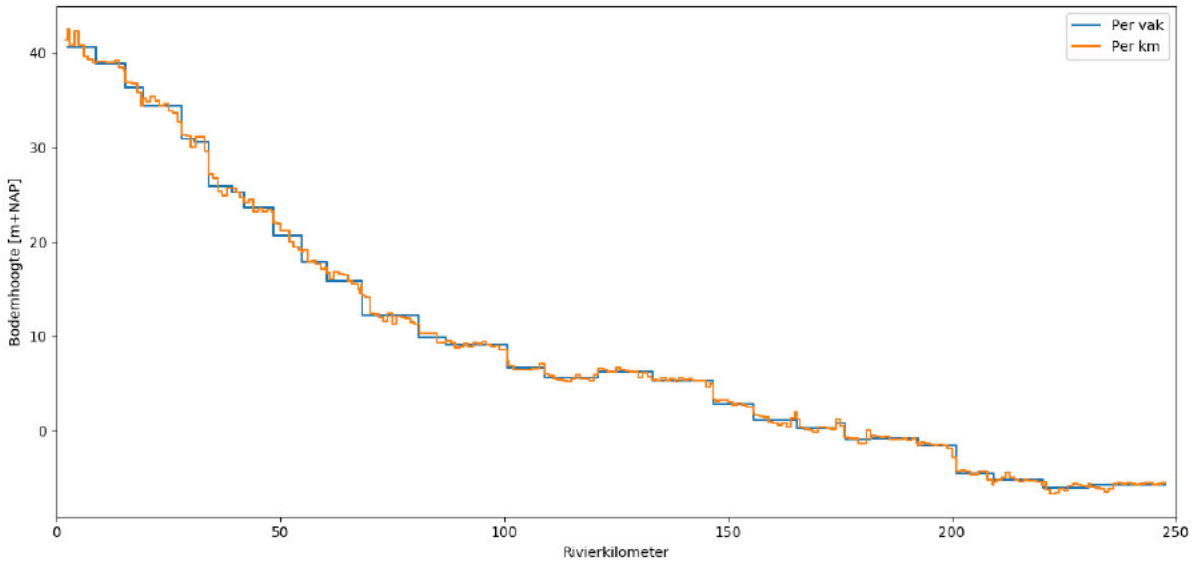
4.1 Huidige rivierbodemligging

4.1.1 Bodemhoogteligging

We gebruiken de samengestelde bodempeiling van 2025 voor de 'huidige rivierbodemligging'. De peilingen in 2025 hebben een goede dekking. Hiaten vullen we in vanuit historische peilingen (zie Bijlage C voor een toelichting). Per evaluatievak (begrensd door de zomerbedbegrenzing aan de ene kant en de vakgrenzen aan de andere kant, zie paragraaf 3.2) bepalen we een gemiddelde bodemhoogteligging. Illustratief tonen we in Figuur 24 voor de peiling in 2025 dat er veel variatie in bodemhoogte in een vak kan zijn. Dit vak heeft een gemiddelde hoogteligging van 30,95 m+NAP. In Figuur 25 vergelijken we de gemiddelde hoogte per evaluatievak en de gemiddelde hoogte per kilometer in langsrichting. Met een enkele uitzondering (bij de zomerbedverdieping Venlo-Arcen) is de hoogteligging per evaluatievak dalend in langsrichting. De hoogteligging per kilometer toont een veel grilliger verloop. Deze is veel gevoeliger voor grindbanken, drempels, (on)dieptes in rivierbochten, etc.



Figuur 24: Bodempeiling 2025 (in cm+NAP) voor het evaluatievak in de bocht bij Kotem tussen rkm 28,02 en 30,78



Figuur 25: Huidige rivierbodemligging (2025) per evaluatievak (blauw) en per kilometer (oranje).

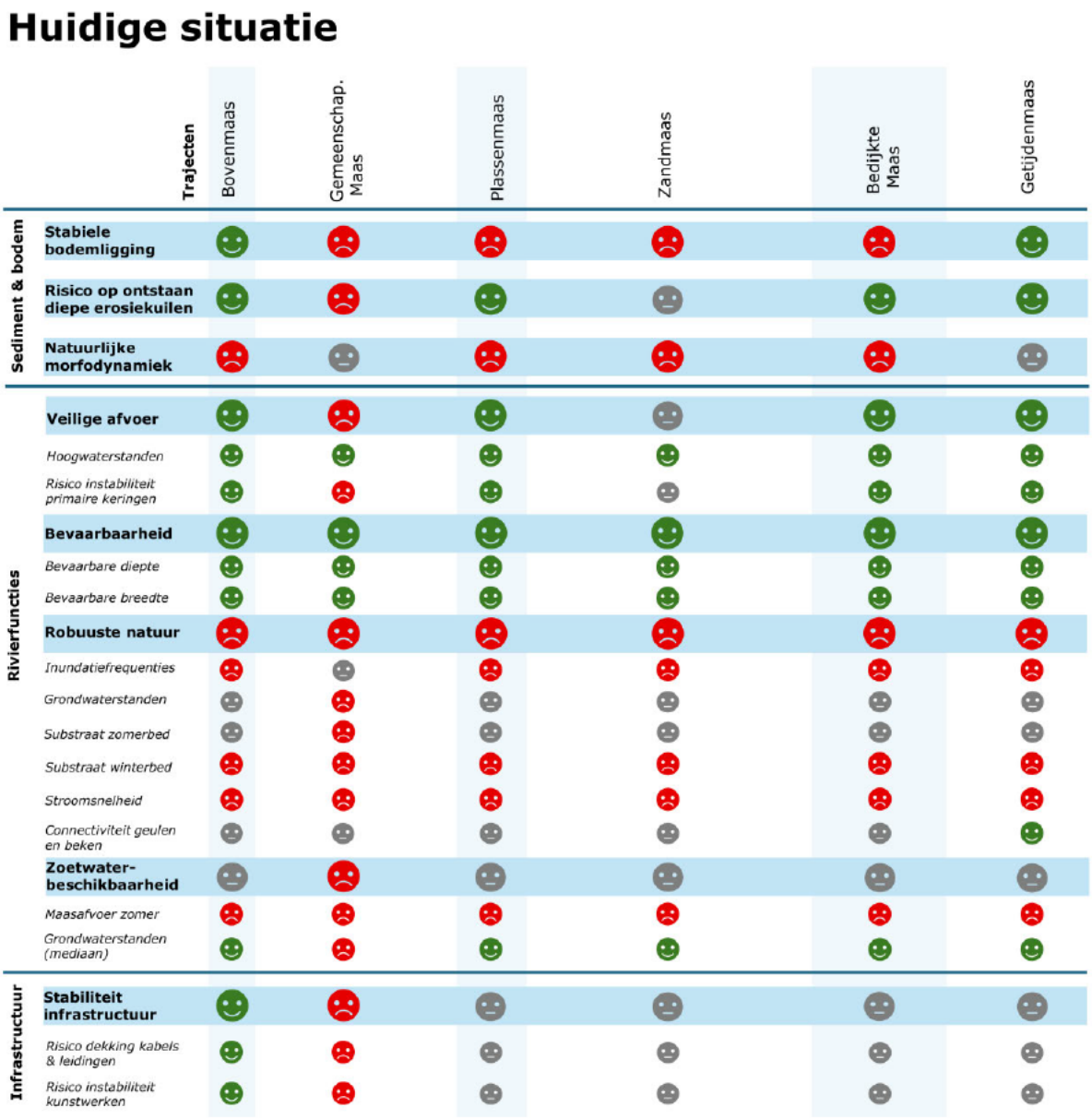
4.1.2 Beoordeling bijdrage aan beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding en bediening van de functies

We beoordelen hoe de huidige rivierbodemligging op dit moment scoort op de criteria die we hebben opgesteld voor het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding en de criteria voor de rivierfuncties. We beoordelen in de volgende paragrafen de referentiebodemligging en de varianten relatief ten opzichte van de huidige ligging. Hiervoor is het dus belangrijk te weten hoe de huidige rivierbodemligging scoort.

We scoren met drie smileys en onderbouwen deze scores hieronder: ☺ is **positief/voldoet**, 😐 is **neutraal**, ☹ is **negatief/voldoet niet**. De scores zijn kwalitatief en niet gestoeld op

kwantitatieve criteria. We sluiten waar mogelijk aan bij de studie 'Effectbepaling nulalternatief IRM' (Asselman et al., 2022) en de PlanMER IRM (Royal HaskoningDHV, 2023).

De scores zijn samengevat in onderstaande Figuur 26.



*Figuur 26: Beoordeling huidige situatie (huidige rivierbodemligging in 2025). De criteria voor het beleidsdoel (samengevat als Sediment & bodem) scoren we als volgt: = **positief/voldoet**, = **neutraal**, = **negatief/voldoet niet**. De criteria voor de functies en infrastructuur scoren we met: = **positief**, = **neutraal**, = **negatief**.*

Beleidsdoel rivierbodemligging & sedimenthuishouding (Sediment & bodem)

In de huidige situatie is de bodem van het zomerbed niet stabiel (**voldoet niet**). Naar verwachting zal deze op de meeste trajecten verder eroderen (zie referentiebodemligging, paragraaf 4.2). We verwachten geen erosie op de Bovenmaas en Getijdenmaas (**voldoet**).

Omdat er op de Gemeenschappelijke Maas onvoldoende dekking is bij de erosiegevoelige lagen, is er momenteel een groot risico op het ontstaan van nieuwe erosiekuilen (**voldoet niet**). Op basis van de huidige kennis denken we dat de dekking boven fijne zanden in de Zandmaas (Peelhorst) op dit moment voldoende is, maar detailinformatie ontbreekt nog. De stroomsnelheden nemen daar bij hoogwater niet dermate toe dat er tijdens één hoogwater erosiekuilen kunnen ontstaan, verwachten we. Vooralsnog hebben we dit traject **neutraal** beoordeeld. Op de andere Maastrajecten is er (zover bekend) geen risico op het ontstaan van diepe erosiekuilen (**voldoet**).

Langs de Maas kent de Gemeenschappelijke Maas nog de meest natuurlijke morfodynamiek. Hier kunnen grindbanken ontstaan en migreren, kunnen oevers eroderen en kan sedimenttransport relatief ongehinderd plaatsvinden. Omdat de bodem van de Gemeenschappelijke Maas is afgepleisterd vindt er jaarrond toch maar een beperkt aantal dagen (ca. 40 tot 45 dagen per jaar) sedimenttransport plaats (Barneveld et al., 2020), terwijl dit in andere rivieren in Nederland bijna jaarrond is. Daardoor scoren we de Gemeenschappelijke Maas **neutraal**. Bij de gestuwde Maastrajecten vindt er ook alleen tijdens hoogwater sedimenttransport plaats (wederom ca. 40 tot 45 dagen per jaar). De rest van het jaar zijn de stroomsnelheden (veel) te laag om significant sedimenttransport te kunnen laten plaatsvinden. De zomerbedverdiepingen werken in theorie als zandvang (Sloff, 2021), al blijkt dit niet uit bodempeilingen (Bakker et al., 2025). De stuwen blokkeren waarschijnlijk het sediment niet rechtstreek (Van der Deijl et al., 2025). Ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn vele oevers langs de Maas ontsteend waardoor oevererosie kan plaatsvinden. Natuurlijke erosieprocessen gaan gepaard (Buijse et al., 2019) en worden misschien overschaduwd door het effect van scheepsgolven. Al met al is er geen sprake van natuurlijke morfodynamiek in de gestuwde Maas en beoordelen we deze trajecten **negatief**. De Getijdenmaas kan vrij afstromen wat ten goede komt aan morfodynamische processen. Vanwege het relatief grote doorstroomprofiel zijn de stroomsnelheden laag en vindt er in beperkte periodes sedimenttransport plaats. Veel oevers kunnen vrij eroderen. We scoren de Getijdenmaas **neutraal**.

Veilige afvoer

Voor het beoordelen en ontwerpen van primaire waterkeringen wordt gebruik gemaakt van formeel vastgestelde hydraulische belastingen die voor bepaalde periodes worden vastgezet. De hydraulische belastingen (in ontwikkeling: *hr_2023*) volgen uit modelberekeningen waarin is uitgegaan van een bepaalde rivierbodemligging. We scoren het aspect 'Hoogwaterstanden' **positief**; de waterstanden wijken immers beperkt af van de waarden waarvan in beoordelen en ontwerpen van wordt uitgegaan.

De stabiliteit van primaire keringen als gevolg van een te lage rivierbodemligging in het zomerbed is bijna nergens in het geding (**positief**). Dit komt voornamelijk omdat primaire keringen langs de Maas over het algemeen ver van het zomerbed af liggen. Op enkele locaties ligt de primaire kering dicht bij het zomerbed (Figuur 22) en is bij het ontstaan van erosiekuilen een groot risico op ondermijning van de primaire keringen. Voor de Gemeenschappelijke Maas is dit risico er (lokaal) zeker gegeven het ontstaan van de erosiekuilen in 2021, ook daar waar de kering dicht bij de hoofdgeul ligt (**negatief**). Voor de Zandmaas (Peelhorst) is onbekend hoe groot het risico is (**neutraal**).

Geaggregeerd scoren we alle trajecten **positief** op het aspect 'Veilige afvoer' met uitzondering van de Gemeenschappelijke Maas (**negatief**) en Zandmaas (**neutraal**) waar lokaal het risico op ondermijning van de primaire kering speelt.

Bevaarbaarheid

De Maas is goed bevaarbaar omdat de waterdieptes op peil worden gehouden in de Maas en de parallelle kanalen. Ten behoeve van de Maasroute zijn werkzaamheden uitgevoerd om het vaarwegprofiel op orde te krijgen. We scoren de 'bevaarbare diepte' en 'bevaarbare breedte' beide **positief** voor alle trajecten.

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

Op (bijna) alle aspecten gerelateerd aan natuur en waterkwaliteit scoren de Maastrajecten **negatief**. Dit is zeker niet enkel toe te schrijven aan de rivierbodemligging. In de gestuwde Maas zijn de te lage stroomsnelheden en verdronken beekmondingen toe te schrijven aan het gestuwde karakter van de Maas. De lage inundatiefrequenties en de beperkte uitwisseling van sediment tussen zomer- en winterbed zijn deels wel toe te schrijven aan een lage zomerbedligging (zeker bij de zomerbedverdiepingen), maar ook aan de breedte van het zomerbed en de historische opslibbing van de weerden. Veel beken en geulen zijn redelijk goed verbonden met de hoofdgeul, al dan niet door (herstel)werkzaamheden ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water. Diverse mondingen zijn echter nog verdronken (Vriese et al., 2021). We scoren op dit criterium **neutraal**.

De Gemeenschappelijke Maas is veel natuurlijker dan de gestuwde Maas, maar toch scoren we ook dit traject voornamelijk **negatief**. De stroomsnelheden zijn veel hoger dan in de gestuwde Maas, maar zijn toch lokaal te laag om slibsedimentatie te voorkomen. Dit speelt voornamelijk bij de grinddrempels waar bij enkele drempels tot meer dan 4 km bovenstrooms het water bij lage en mediane afvoeren de waterstand wordt opgestuwd (Vriese et al., 2021). Bij de laagste afvoeren stagneert het water, waardoor slib kan neerslaan. Inundatiefrequenties zijn laag in de opgeslibde weerden. Het Grensmaasproject heeft weerden verlaagd, waardoor in deze weerden de inundatiefrequentie sterk is toegenomen. Dit geeft niet overal de gewenste inundatiefrequenties omdat veel weerden te ver zijn afgegraven en deze te vaak inunderen. Al met al geeft dit een score **neutraal**.

In de Getijdenmaas bevinden zich geen verdronken beekmondingen (Vriese et al., 2021) en vallen (beperkt aanwezige) geulen zelden droog (**positief**).

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

Zomerafvoeren in de Maas kunnen zo laag worden dat zoetwatervoorziening (t.b.v. andere functies dan natuur) onder druk komt te staan. In de huidige situatie speelt dit al bij het Julianakanaal en de Plassenmaas (Daggenvoorde en Pezij, 2024). Richting de toekomst ontstaan er langs de rest van de Maas naar verwachting meer knelpunten. De rivierbodemligging van de Maas heeft maar een zeer beperkte invloed op de afvoer van de Maas (Asselman et al., 2022; Daggenvoorde en Pezij, 2024). Desondanks scoren we **negatief**. De grondwaterstanden rondom de Maas, m.u.v. de Gemeenschappelijke Maas en Getijdenmaas, worden op peil gehouden door de opgestuwde waterstanden. Hierdoor scoren we **positief**. Langs de Gemeenschappelijke Maas zakken en stijgen de grondwaterstanden mee met de rivierwaterstanden. Soms zijn de (mediane) grondwaterstanden te laag om alle functies goed te kunnen bedienen. We scoren daarom **negatief**.

Stabiliteit infrastructuur

We scoren zowel de dekking bij kabels en leiding als de stabiliteit van kunstwerken in de huidige situatie **neutraal**. Er is gedetailleerde informatie en een gedetailleerde analyse per kabel, leiding en kunstwerk nodig om eventuele knelpunten te kunnen vaststellen. Op basis van de huidige kennis is er geen concrete aanleiding tot een negatieve score op dit aspect. Alleen de Gemeenschappelijke Maas heeft een **negatieve** score gekregen op basis van de hoge stroomsnelheden daar en de lessen uit het hoogwater van 2021.

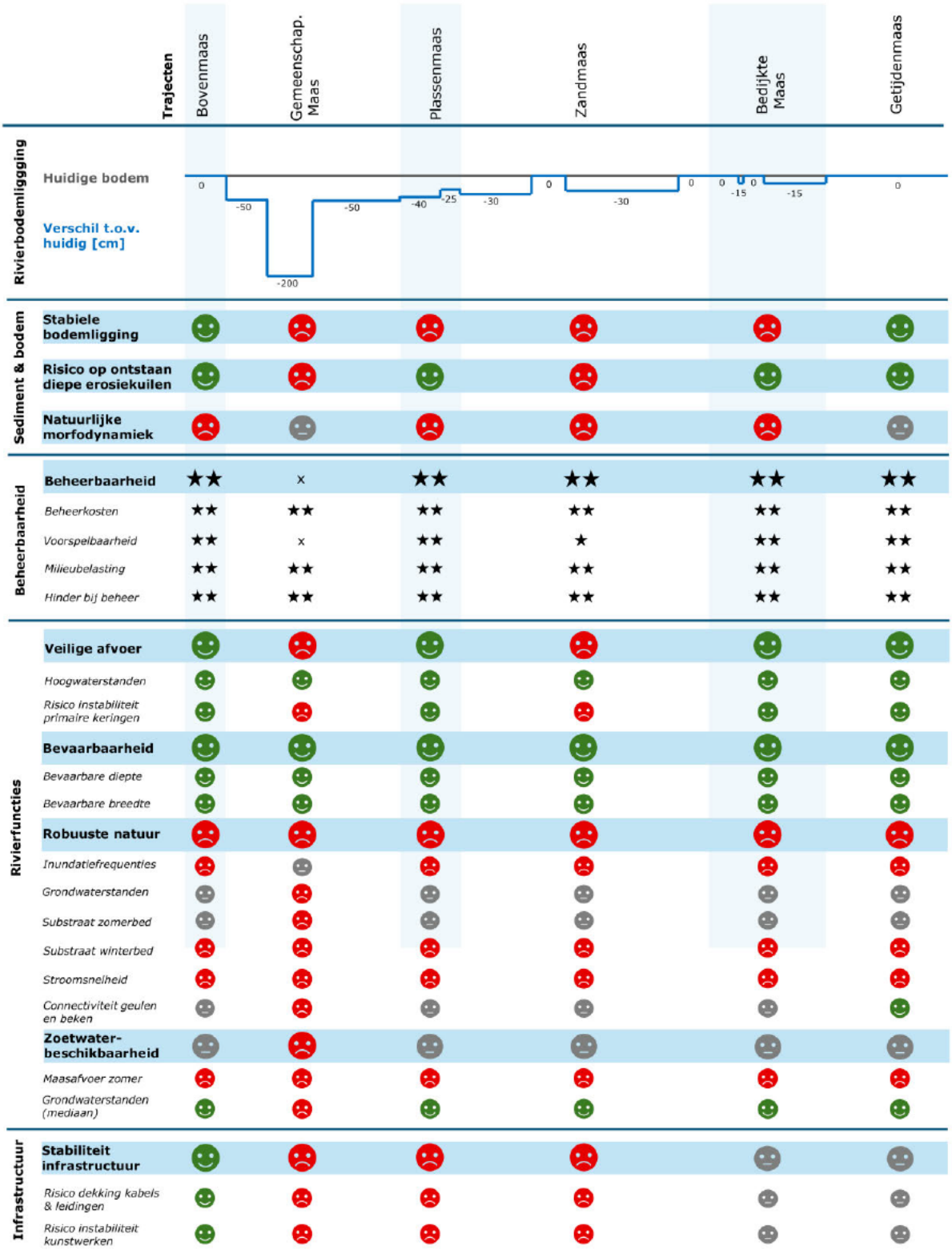
4.2 Referentiebodemligging

De referentiebodemligging is de verwachte rivierbodemligging over 50 jaar (=evaluatietijdschaal) met het voortzetten van huidig beleid. Onder het huidig beleid scharen we:

- Onderhoudsbaggerwerkzaamheden, waarbij er niet teruggestort wordt
- Het onderhouden en dus op diepte houden van de zomerbedverdiepingen
- Het niet/ten dele opvullen van ontstane diepe erosiekuilen

Figuur 27 vat de referentiebodemligging en de effecten daarvan samen. In paragrafen 4.2.1 t/m 4.2.3 volgt de toelichting hierop.

Referentiebodemligging

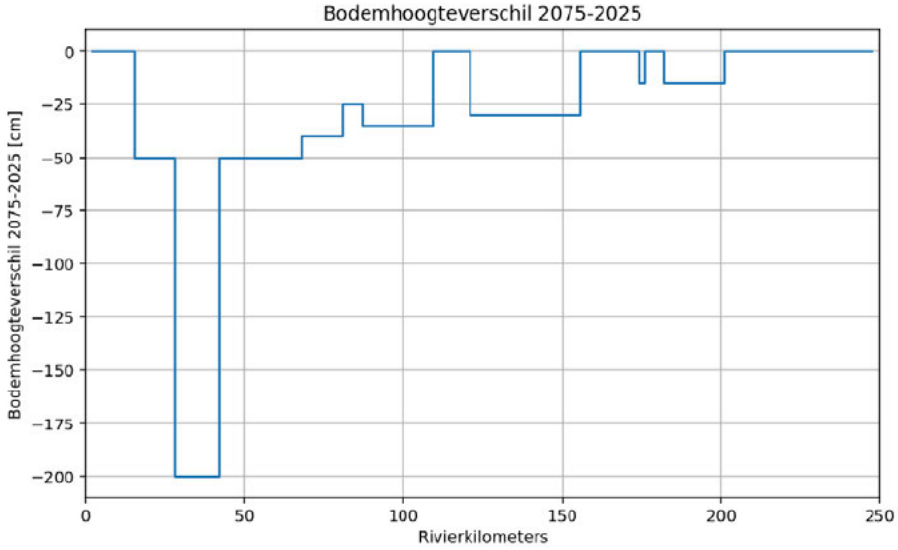


*Figuur 27: Samenvatting 'Referentiebodemligging'. De criteria voor het beleidsdoel (samengevat als Sediment & bodem) scoren we als volgt: ☺ = **positief/voldoet**, 😐 = **neutraal**, ☹ = **negatief/voldoet niet**. De criteria voor beheerbaarheid scoren we met: 'x' = niet maakbaar/beheerbaar, ★ = minder maakbaar/beheerbaar, ★★ = goed maakbaar/beheerbaar. De criteria voor de functies en infrastructuur scoren we met: ☺ = **positief**, 😐 = **neutraal**, ☹ = **negatief**.*

4.2.1 Bodemhoogteligging

We hebben door middel van expert judgement een prognose gemaakt van de referentiebodemligging in 2075 (50 jaar na 2025) gebaseerd op beschikbare literatuur (Sloff, 2021, Barneveld et al., 2025b) en een aanvullende data-analyse. De meest recente prognose van toekomstige trends in de rivierbodemligging is gemaakt door Sloff (2021). Sloff (2021) maakte gebruik van data tussen 1995 en 2017. Barneveld et al. (2025b) hebben gebruik gemaakt van de data tussen 2011 en 2019 voor het opstellen van een sedimentbalans. In een aanvullende data-analyse waarin we de meest recente peilingen (2020 t/m 2025) hebben meegenomen, hebben we gekeken of in de recente jaren de trends anders zijn dan de historische trends. Dit gaf op enkele trajecten aanleiding om af te wijken van Sloff (2021). De onderbouwing voor de referentiebodemligging is gegeven in Bijlage B.

De verandering van de referentiebodemligging t.o.v. de rivierbodemligging van 2025 is gepresenteerd in Figuur 28. De grootste verschillen verwachten we langs de Gemeenschappelijke Maas, waar de historische erosietrend al het hoogst is en zich voortzet. In het erosiekuilentraject (rkm 28-42) is het zeer reëel dat de gemiddelde rivierbodemligging nog eens extra daalt als gevolg van het ontstaan van nieuwe erosiekuilen. Dit uit zich niet in geleidelijke erosie over de tijd, maar (als het gebeurt) in één of enkele erosiemomenten in de komende 50 jaar. We hebben voor dit traject nu 1,5 m extra gemiddelde bodemdaling aangehouden (zie bijlage B), maar dit blijft erg onzeker. De bodemhoogtes in de zomerbedverdiepingen blijven onveranderd (rkm 109-121, 155,7-174,2 en 176,1-181,7), maar dit is het gevolg van het uitgangspunt dat deze actief worden onderhouden. Dit geldt ook voor de Getijdenmaas (rkm 200,8 en verder) waar rivierbodemstijging verwacht kan worden als er niet gebaggerd zou worden om de vaargeul op diepte te houden.



Figuur 28: Verandering van de bodemhoogte in de referentiesituatie, oftewel de prognose van het bodemhoogteverschil tussen 2075 en 2025

4.2.2 Beheerbaarheid en impact op het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding

Het door laten gaan van erosie van het zomerbed betekent per definitie dat er geen sprake is van een stabiele rivierbodemligging (**voldoet niet**), met uitzondering van de Bovenmaas en Getijdenmaas waar we geen erosie verwachten (**voldoet**). Daar bovenop komt dat er plotselinge erosie kan plaatsvinden (en naar verwachting zal plaatsvinden) in het erosiekuilentraject in de Gemeenschappelijke Maas doordat de dekking boven de fijne erosiegevoelige zanden te klein is (**voldoet niet**). Ook in de Zandmaas (Peelhorst) bevinden zich fijne zandlagen dicht onder de rivierbodem. Met de

35 cm gemiddelde bodemerosie in de referentiebodemligging (in 50 jaar) neemt de dekking af, waardoor het risico op het ontstaan kan toenemen (**voldoet niet**), al blijft het onzeker hoe groot de kans is dat deze daadwerkelijk kunnen ontstaan. Het risico op het ontstaan van erosiekuilen zorgt ervoor dat de referentiebodemligging niet beheerbaar is (beoordeling 'x'). Acute problemen (bijv. blootliggende leidingen, instabiele primaire keringen of andere infrastructuur) moeten met noodmaatregelen worden opgelost. Het beheer is hiermee niet voorspelbaar.

De mate van natuurlijke morfologische processen neemt ten opzichte van de huidige situatie nog wat verder af bij de referentiebodemligging: de bodem raakt over een groter deel afgepleisterd en de stuwen worden als gevolg van de gedaalde bodem minder vaak gestreken waardoor er minder dagen vrije afstroming plaatsvindt. De natuurlijkheid van de morfodynamiek blijft relatief het hoogst bij de Gemeenschappelijke Maas en de Getijdenmaas (score **neutraal** blijft gehandhaafd). De andere trajecten blijven **negatief** scoren.

4.2.3 Impactanalyse functies en stabiliteit infrastructuur

We beoordelen de impact van de referentiebodemligging op de functies. We beoordelen uitsluitend het effect van de bodemligging en niet de gevolgen van klimaatveranderingen en de daardoor veranderende afvoerstatistiek. Naar verwachting hebben de lager wordende zomerafvoeren en grotere kans op (extreem) hoge afvoeren een grotere impact op de functies dan de bodemligging (Asselman et al., 2022).

Veilige afvoer

De dalende rivierbodem heeft als (enige) voordeel dat de hoogwaterstanden dalen. In de Gemeenschappelijke Maas loopt de waterstandsdaling op tot meer dan 1 m. In de Gemeenschappelijke Maas gaat relatief veel afvoer bij hoogwater door de hoofdgeul, waardoor de hoogwaterstand sterk reageert op veranderingen in de gemiddelde rivierbodemligging. In de Plassenmaas en de Zandmaas is de waterstandsdaling ca. 10 cm. We scoren het aspect hoogwaterstanden **positief** voor alle trajecten.

De stabiliteit van primaire keringen komt mogelijk in het geding in de trajecten waar erosiekuilen (kunnen) ontstaan en de primaire keringen dicht tegen het zomerbed aanliggen. Dit zien we bij de Gemeenschappelijke Maas en de Zandmaas (Peelhorst). Deze trajecten scoren we **negatief**. Op de andere trajecten is ervoor zover bekend geen groot risico op instabiele primaire keringen en verandert deze ook niet als gevolg van de daling van de rivierbodem (**positief**). Overall, scoren we de Gemeenschappelijke Maas en de Zandmaas **neutraal**, waarmee we het lokale risico op instabiliteit van primaire keringen meewegen. De andere trajecten scoren we **positief**.

Bevaarbaarheid

Net als in de huidige situatie worden met de referentiebodemligging de waterdieptes op peil gehouden door de stuwen. Door de rivierbodemdaling worden de stuwen iets minder vaak gestreken, waardoor schepen iets minder vaak door de gestreken stuw kunnen varen. Dit effect is echter zeer beperkt. Zowel de bevaarbare diepte en bevaarbare breedte scoren we overal **positief**.

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

Het dalen van de rivierbodem zorgt voor een verslechtering van de natuur. Het voornaamste effect van het dalen van de rivierbodem is het afnamen van de inundatiefrequenties van de weerden, welke in de huidige situatie veelal al te laag zijn. De score blijft voor alle trajecten (m.u.v. de Gemeenschappelijke Maas) **negatief** met de aantekening dat er wel degelijk verslechtering is. Op de

Gemeenschappelijk Maas verdrogen de weerden ook verder door de lagere inundatiefrequenties. Illustratief op basis van de vuistregeltool: een halve meter waterstandsdaling geeft vaak een halvering van het aantal dagen dat de waterstand hoger is dan het oorspronkelijke niveau (dus bijv. waterstand 'x + NAP' komt nog maar 4 i.p.v. 8 dagen per jaar voor). De uitgevoerde weerdverlagingen in het Grensmaasproject en aan Vlaamse zijde zorgen nog wel voor diversiteit in inundatiefrequenties en weerden met een voldoende hoge inundatiefrequentie (score **neutraal**). De lagere inundatiefrequenties langs de Maas zorgen voor een verdere afname van de sedimentuitwisseling tussen zomer- en winterbed en daarmee voor een slecht substraat in het winterbed (blijft score **negatief**).

In de Gemeenschappelijke Maas wordt het (nog) lastiger om de grondwaterstanden in grondwatergevoelige natuur op peil te houden. De bestaande grinddrempels zakken mogelijk deels mee met de dalende bodem en reparaties aan deze drempels gaan vaker nodig zijn. De score blijft **negatief**. Daarnaast komt over een groter deel van de Gemeenschappelijke Maas en voor een langere periode in het jaar stagnant water voor, bijv. achter de grinddrempels en in de erosiekuilen, waardoor de stroomsnelheden (nog) minder voldoen aan de criteria voor stromend habitat, de score blijft **negatief**. Naar verwachting neemt ook de verslibbing verder toe (blijft **negatief**) en stromen geulen minder vaak mee (score wordt **negatief**).

In de gestuwde Maas zijn de effecten van de referentiebodemligging op de andere beoordelingscriteria beperkter. De stuwen houden de waterstanden hoog, waarmee grondwaterstanden relatief hoog blijven (**neutraal**), terwijl de reeds te lage stroomsnelheden nauwelijks verder afnemen (**negatief**). De bodem gaat zich mogelijk verder afpleisteren. Het substraat van het zomerbed is hier echter beperkt relevant (we houden **neutraal** aan m.u.v. de Bovenmaas waarvoor we net als in de huidige situatie **negatief** aanhouden). Herstelde beekmondingen blijven redelijk functioneren zoals in de huidige situatie, terwijl nevengeulen ook verbonden blijven (score **neutraal**).

We merken op dat de verslechtering van de natuur beperkt tot uitdrukking komt in de beoordeling, maar dat deze wel plaatsvindt met de referentiebodemligging.

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

Zomerafvoeren in de Maas kunnen zo laag worden dat zoetwatervoorziening (t.b.v. functies als landbouw en natuur) onder druk komt te staan. In de huidige situatie speelt dit al bij het Julianakanaal en de Plassenmaas (Daggenvoorde en Pezij, 2024). Richting de toekomst ontstaan er langs de rest van de Maas meer knelpunten. De rivierbodemligging van de Maas heeft maar een zeer beperkte invloed op de afvoer van de Maas (Asselman et al., 2022; Daggenvoorde en Pezij, 2024). Daarom scoren we neutraal. De grondwaterstanden rondom de Maas, m.u.v. de Gemeenschappelijke Maas, worden op peil gehouden door de opgestuwde waterstanden. Hierdoor scoren we **neutraal**. Langs de Gemeenschappelijke Maas zakken en stijgen de grondwaterstanden mee met de rivierwaterstanden. Soms zijn de (mediane) grondwaterstanden te laag om alle functies goed te kunnen voorzien. We scoren **negatief**.

Stabiliteit infrastructuur

De bodemdalingen zorgen voor een toename van het risico van instabiliteit van infrastructuur, door een kleinere dekking bij kabels en leiding en een diepere rivierbodemligging bij kunstwerken. Met name in de Gemeenschappelijke Maas neemt het risico toe dat kabels en leidingen bloot komen te liggen of kunstwerken instabiel worden (scores blijven **negatief**). De bodemerosie zorgt ook voor een beperktere dekking boven kabels en leidingen en een risico op instabiliteit van kunstwerken in

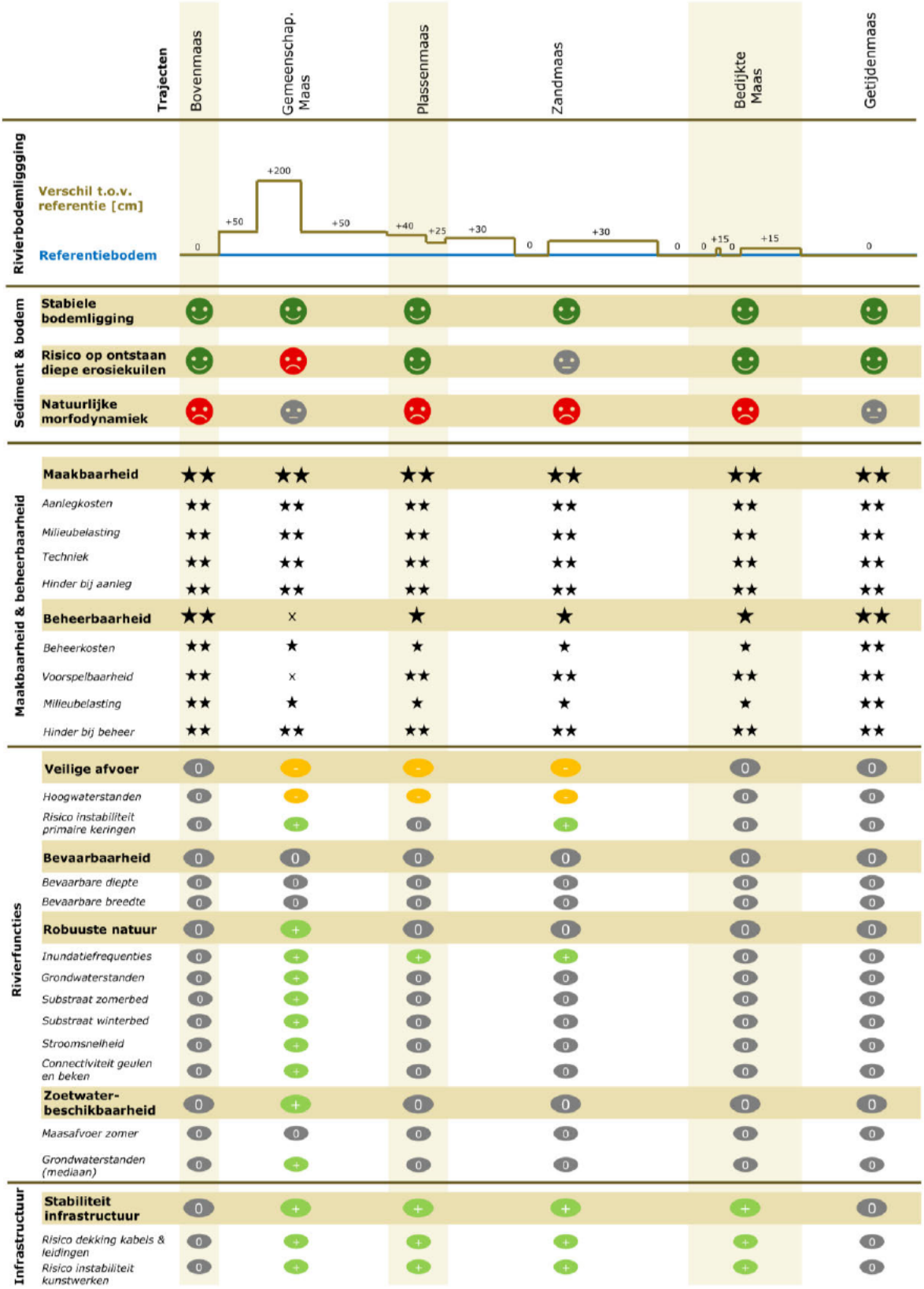
de Plassenmaas en Zandmaas (**negatief**). De bodemhoogteveranderingen in de Bedijkte Maas zijn beperkt, waardoor we dit traject **neutraal** blijven scoren.

4.3 Variant 1: huidige rivierbodemligging vasthouden

De meest logische eerste variant op het voortzetten van het huidig beleid waarin de rivierbodem gaat eroderen, is het vasthouden van de huidige rivierbodemligging. Deze beschouwen we daarom als Variant 1. We gaan er hierbij vanuit dat het vasthouden van de huidige rivierbodemligging wordt gedaan met beheermaatregelen als baggeren en suppleren. De analyse in Hoofdstuk 5 laat zien dat de huidige rivierbodemligging niet kan worden vastgehouden met louter rivierverruiming. De belangrijkste reden hiervoor is dat er geen toevoer van sediment vanuit België komt. Enkel het volledig in steen leggen van de Maasbodem (= niet realistisch en wenselijk), leidt, naast baggeren en suppleren, tot het behoud van de huidige rivierbodemligging.

Figuur 29 vat Variant 1 en de effecten daarvan samen. In paragrafen 4.3.1 t/m 4.3.4 volgt de toelichting hierop.

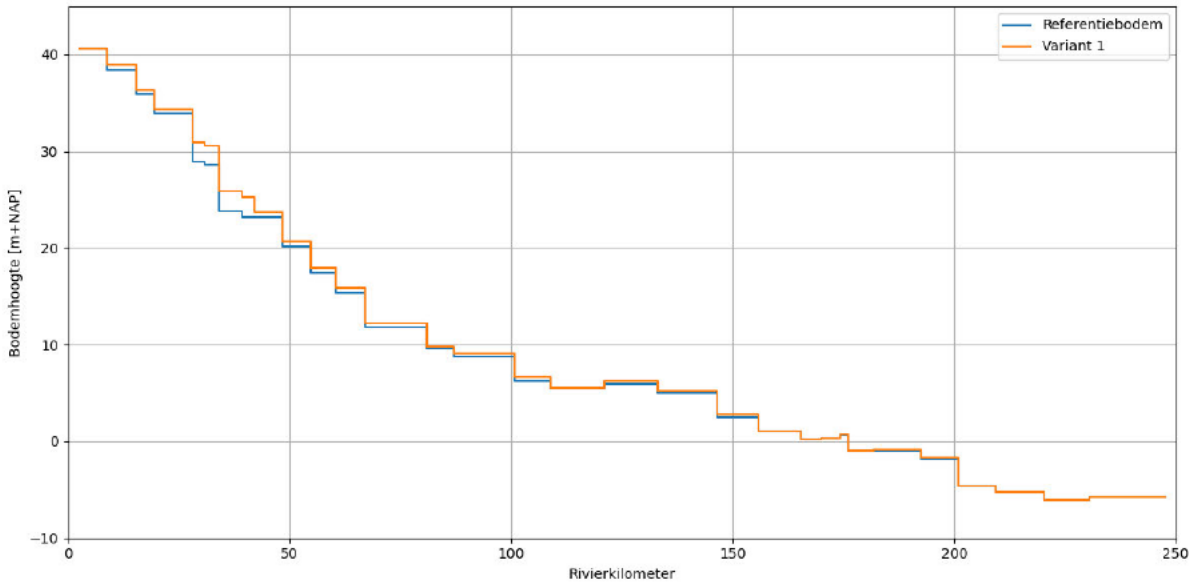
Variant 1: Huidige bodemligging vasthouden



*Figuur 29: Samenvatting van Variant 1: huidige rivierbodemligging vasthouden. De criteria voor het beleidsdoel (samengevat als Sediment & bodem) scoren we als volgt: = **positief/voldoet**, = **neutraal**, = **negatief/voldoet niet**. De criteria voor maakbaarheid en beheerbaarheid scoren we met: 'x' = niet maakbaar/beheerbaar, ★ = minder maakbaar/beheerbaar, ★★ = goed maakbaar/beheerbaar. De criteria voor de functies en infrastructuur scoren we relatief t.o.v. de referentiebodemligging op een schaal van '++' tot '--'.*

4.3.1 Rivierbodemligging en bandbreedte

De rivierbodemligging van variant 1 en de referentiebodemligging per evaluatievak is getoond in Figuur 25.



Figuur 30: Referentiebodemligging (blauw) en variant 1 (oranje).

Bij deze bodemhoogteligging hoort ook een toegestane bandbreedte waarbinnen deze zich moet bevinden. Zodra de bandbreedte wordt overschreden, signaleert dit dat de rivierbeheerder zou moeten ingrijpen om de rivierbodemligging langjarig stabiel te houden.

We kiezen voor een uniforme bandbreedte van plus en min 5 cm. Dit betekent dus dat de rivierbodemligging gemiddeld in een evaluatievak maximaal 5 cm mag afwijken van de vastgestelde rivierbodemligging (voor Variant 1 dus de huidige rivierbodemligging). Alhoewel 5 cm als weinig klinkt, betreft het hier voor een heel vak tienduizenden kubieke meters sediment.

De volgende argumenten liggen aan keuze voor 5 cm ten grondslag:

- In een set met bodempeilingen van 2015 t/m 2025 laten de minimale en maximale bodemhoogteverschillen (gecorrigeerd voor de langjarige trend) in de meeste evaluatievakken verschillen zien in de orde van 2 tot 10 cm, met een mediaan van ca. 5 cm (zie Bijlage C voor de data-analyse). Een deel van deze verschillen is toe te schrijven aan baggerwerkzaamheden (direct na baggerwerk wijkt de bodem sterker af van de langjarig gemiddelde trend). Het kiezen van een bandbreedte van plus en min 5 cm betekent dat de jaar-tot-jaar dynamiek waarschijnlijk niet gaat zorgen voor het overschrijden van de bandbreedte.
- Een uniforme bandbreedte voor de hele Maas is beter uitlegbaar dan een onderscheid per traject of per vak. De data-analyse laat ook geen duidelijke aanleiding zien om een onderscheid per traject of vak te maken.
- Gegeven een langjarig gemiddelde erosiesnelheid van 1 cm/jaar (over een periode van 50 jaar leidt dit tot de 50 cm lagere bodem voor de Gemeenschappelijke Maas in de referentiesituatie) wordt de ondergrens van de bandbreedte gemiddeld elke 5 jaar onderschreden als er niet beheerd wordt. Dit geeft een tijdschaal waarop suppleties goed kunnen worden voorbereid.

4.3.2 Maakbaarheid en beheerbaarheid

Per definitie is het vasthouden van de huidige rivierbodemligging het meest maakbaar (★★). Er is namelijk initieel geen vergraving of suppletie nodig om deze te realiseren.

Het vasthouden van de huidige rivierbodemligging vraagt wel om een grote beheerinspanning. Het totale sedimenttekort in de Maas is ca. 100.000 m^3/jaar (zie Bijlage C). Het grootste tekort (ca. 50.000 m^3/jaar) is er op de Gemeenschappelijke Maas. Het sedimenttekort moet worden aangevuld om de huidige rivierbodemligging te kunnen handhaven. Baggerwerk is ook nog nodig, voornamelijk benedenstrooms van Lith in de Getijdenmaas. Het volume is hetzelfde als voor de referentiebodemligging. De suppleties brengen significante kosten (jaargemiddeld ~6 miljoen euro = 100.000 m^3 * €61 [5]) en milieu impact met zich mee. Voor alle Maastrajecten waar (mogelijk) suppleties nodig zijn (Gemeenschappelijke Maas, Plassenmaas, Zandmaas en Bedijkte Maas) verwachten we dat beheermaatregelen nodig zijn met ook milieu impact (★). Op de Gemeenschappelijke Maas is de inspanning naar verwachting het grootst. Hier verwachten we ook dat het beheer hinder veroorzaakt, voornamelijk omdat materiaal over land moet worden aangevoerd (★). Op de andere trajecten verwachten we dat het beheer met beperkte hinder mogelijk is omdat hier transport over water mogelijk is (★★).

Daar bovenop komt dat in deze variant het risico op het ontstaan van nieuwe erosiekuilen in de Gemeenschappelijke Maas niet wordt gemitigeerd. Het vasthouden van de huidige rivierbodemligging betekent dus dat alle toekomstige erosiekuilen moeten worden opgevuld (= correctief beheer). Dit vraagt jaargemiddeld om 40.000 m^3/jaar aan extra sediment (1.900.000 m^3 / 50 jaar; zie Bijlage B), maar is eigenlijk incidenteel een veel groter volume. Er is tegelijkertijd een risico op instabiliteit van keringen, infrastructuur en het bloot komen te liggen van leidingen. Dit vraagt noodherstel. De beheerinspanning is hiermee niet voorspelbaar ('x'), wat maakt dat (het vasthouden van) de huidige rivierbodemligging voor de Gemeenschappelijke Maas als niet beheerbaar is beoordeeld ('x').

4.3.3 Impact op het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding

Het vasthouden van de huidige rivierbodemligging geeft per definitie een belangrijke bijdrage aan het beleidsdoel van een stabiele rivierbodemligging, ondanks dat hier beheermaatregelen voor nodig zijn. Door het beheer blijft de rivierbodemligging langjarig op hetzelfde niveau (**voldoet**). De dekking boven erosiegevoelige fijne lagen blijft ook per definitie gelijk. Deze is dus onvoldoende in de Gemeenschappelijke Maas om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren (**voldoet niet**). Het ontstaan van nieuwe erosiekuilen zorgt ervoor dat de rivierbodem door de onderkant van de toegestane bandbreedte zakt. Correctief beheer (herstel) is daardoor nodig. De negatieve impact van de referentiebodemligging op de natuurlijke morfodynamiek wordt gemitigeerd door het handhaven van de huidige bodemligging. De scores blijven echter **negatief** voor de gestuwde Maastrajecten en **neutraal** voor de Gemeenschappelijke Maas en Getijdenmaas.

4.3.4 Impactanalyse functies en stabiliteit infrastructuur

We scoren variant 1 voor de basisrivierbodemligging relatief t.o.v. de referentiebodemligging. De rivierbodemligging is in deze variant hetzelfde als in de huidige situatie (paragraaf 4.1). De absolute scores t.a.v. de functies zijn dus hetzelfde als in Figuur 26. Een verbetering t.o.v. de referentiebodemligging betekent dus niet dat een functie goed bediend wordt.

[5] Waarschijnlijk een onderschatting van de eenheidskosten en dus van de beheerkosten.

Veilige afvoer

De hoogwaterstanden gaan op de meeste trajecten omhoog t.o.v. de referentiebodemligging. Qua orde grootte varieert dit tussen enkele centimeters op de Bedijkte Maas (score '0') tot lokaal een meter op de Gemeenschappelijke Maas. Voor de Gemeenschappelijke Maas (het grootste deel), de Plassenmaas en de Zandmaas is het waterstandsverschil tussen de 10 en 50 cm, score: (-). De andere trajecten krijgen de score (0) omdat er geen verschillen zijn t.o.v. de referentiebodemligging of omdat deze verschillen kleiner zijn dan 10 cm.

Door de hogere rivierbodemligging neemt het risico op instabiliteit van primaire keringen door het ontstaan van erosiekuilen af bij de Gemeenschappelijke Maas en de Zandmaas (+). Het risico is echter niet gemitigeerd omdat erosiekuilen nog wel degelijk kunnen ontstaan.

Bevaarbaarheid

De bevaarbaarheid wordt niet beïnvloed, scores (0).

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

Het vasthouden van de bodemligging van 2025 zorgt ten opzichte van de referentiebodemligging met name voor de Gemeenschappelijke Maas voor een verbetering ten aanzien van natuur. Anders gezegd, alle negatieve gevolgen als gevolg van de referentiebodemligging worden opgeheven. Let op dat op de meeste criteria de situatie negatief blijft omdat de huidige bodemligging al negatief scoort; de verdere verslechtering met de referentiebodemligging wordt voorkomen.

Voor de Gemeenschappelijke Maas scoren we (+) voor alle criteria. De inundatiefrequenties zijn hoger, waardoor er ook meer uitwisseling is van sediment tussen zomerbed en winterbed en slib meer uitspoelt. Het op peil houden van de grondwaterstanden met de grinddrempels is beter mogelijk, omdat de grinddrempels minder vaak doorbreken. Omdat de grinddrempels ook minder boven de omliggende bodem uitsteken, wordt het water minder opgestuwd en zijn de stroomsnelheden iets hoger. De rivierbodem raakt ook minder afgepleisterd en tegelijkertijd kan slib beter uitgespoeld worden. Ten slotte neemt het aantal dagen dat geulen droogvallen af.

Bij de Plassenmaas en Zandmaas zijn de inundatiefrequenties iets hoger (+). Ook bij de Bedijkte Maas zijn ze heel iets hoger, maar is het effect niet significant (0). Op de andere criteria verwachten we geen grote effecten (0).

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

De mediane grondwaterstanden nemen toe langs de vrij afstromende Gemeenschappelijke Maas als gevolg van de hogere bodemligging (+). Op de andere trajecten is er geen verschil (0) omdat de stuwen de (grond)waterstanden op peil houden of er geen verschil in bodemligging is tussen de variant en de referentiebodemligging. De (verandering van) de bodemligging heeft nihil effect op de Maasafvoer (0).

Stabiliteit infrastructuur

De hogere rivierbodemligging (Gemeenschappelijke Maas t/m Bedijkte Maas) geeft een grotere dekking boven kabels en leidingen (+) en een kleiner risico op instabiliteit van kunstwerken (+).

4.4 Variant 2: een beter beheerbare bodem met een verhoging op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas

Het vasthouden van de rivierbodemligging van 2025 blijkt geen beheerbare bodem op te leveren. Dit komt door het aanhoudende risico op het ontstaan van nieuwe erosiekuilen. Dit geeft onvoorspelbaarheid in de beheerinspanning, wat zeer ongewenst is. Dit vormt een knelpunt ten aanzien van het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding.

Voor een beter beheerbare bodem is het dus nodig om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren. Voor de Zandmaas (Peelhorst) is onduidelijk of er een risico is en hoe groot dit risico is. Hiervoor is eerst gedetailleerde informatie over de ondergrond nodig. Om de bodem beter beheerbaar te maken, richten we ons dus in deze variant enkel op de Gemeenschappelijke Maas. We minimaliseren in variant 2 het risico op het ontstaan van erosiekuilen door een ophoging van de rivierbodemligging op het traject waar het risico bestaat (rkm 28-42). We beschouwen (hier) expliciet niet het aanbrengen van een niet-erodeerbare laag om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren. Het aanbrengen van een niet-erodeerbare laag geeft varianten die liggen tussen variant 1 (geen ophoging) en variant 2 (minimalisatie risico door het verhogen van de rivierbodemligging). Variant 1 en 2 geven samen daarmee de hoekpunten voor de oplossingsrichting voor het erosiekuilentraject. We beschouwen dit in Hoofdstuk 6.

We denken dat een minimaal benodigde bufferlaag (met mobiel maar grof materiaal) van 1,5 m dik op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas nodig is om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren[6]. Hieraan liggen de volgende argumenten ten grondslag:

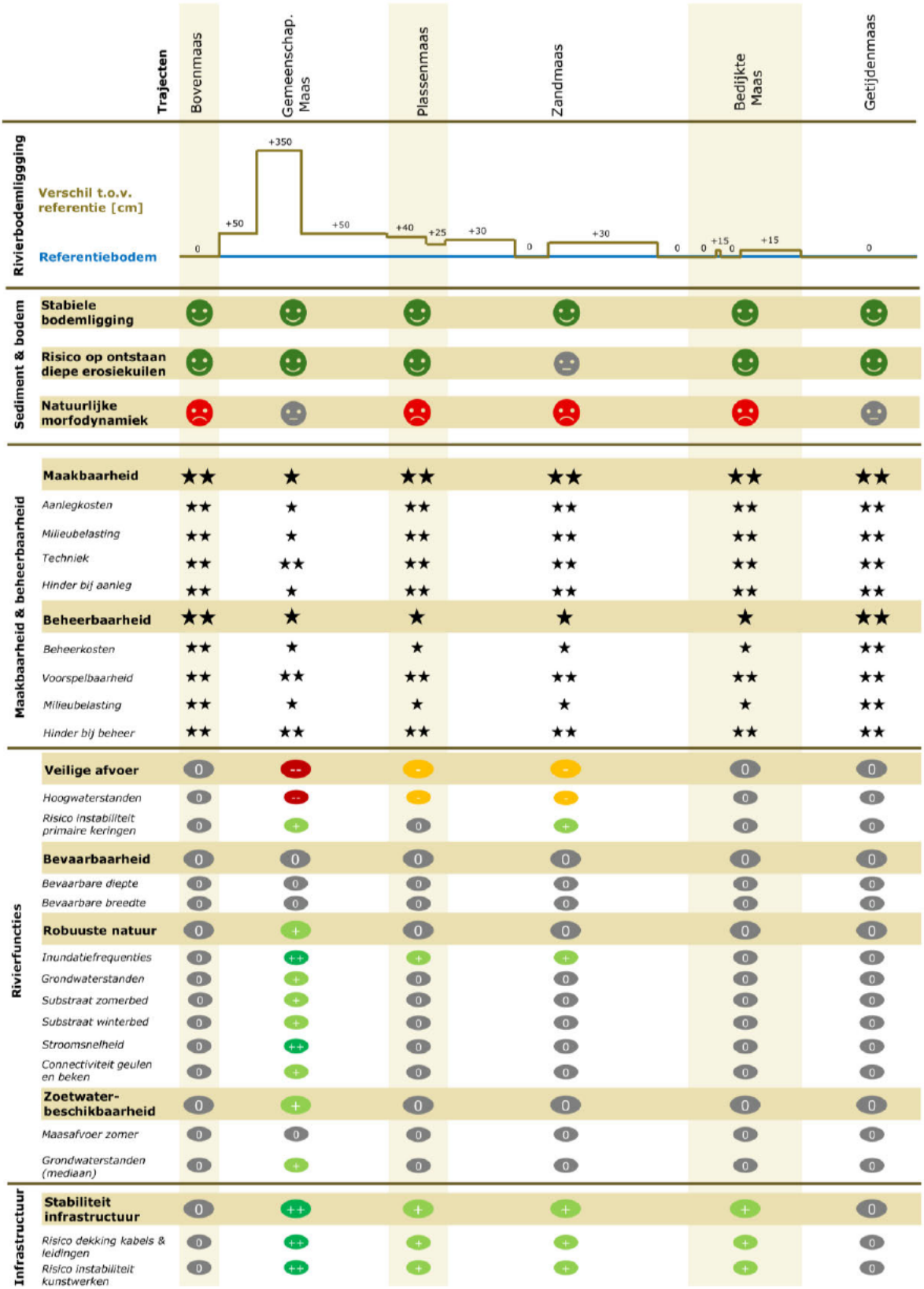
- 1,5 m is qua orde gelijk aan de hoogte van ontstane duinen tijdens het hoogwater van 2021 (Barneveld et al., 2025a). Door gebrek aan gegevens is niet zeker of dit de maximale duinhoogte betrof of dat er tijdens het hoogwater nog hogere duinen zijn opgetreden.
- In morfologische modellering is de actieve sedimenttransportlaag gelijk aan de 0,5 tot 1 keer de gemiddelde duinhoogte (Blom, 2008). Wij kiezen hier de bovengrens wat overeenkomt met een laagdikte van 1,5 m.
- Het traject met de fijne zanden in de ondergrond is waarschijnlijk onder normale afvoercondities flink afgepleisterd, waardoor de erosieve trend beperkt is. Uit vergelijking van peilingen van februari en juli 2021 bleek dat tijdens het hoogwater een erosiesprong optrad (Barneveld et al, 2025a, Figuur 3) De laagdikte boven de fijne zanden neemt dus tijdens een hoogwater extra af. Voldoende buffer is daarom gewenst.
- De laag van 1,5 m blijft niet overal even dik door morfologische processen door bochtstroming en lokale vernauwingen en verruimingen van het stroomprofiel, waardoor de dekking boven erosiegevoelige zanden op plekken dunner wordt. Een laag van 1,5 m geeft naar verwachting voldoende buffer.

Voor Variant 2 verhogen we daarom de gemiddelde rivierbodemligging met 1,5 m van de vakken waar er een risico is op het ontstaan van erosiekuilen (rkm 28-42).

Figuur 31 vat Variant 2 en de effecten daarvan samen. In paragrafen 4.4.1 t/m 4.4.4 volgt de toelichting hierop.

[6] In de Werkhypotheses van Ruimte voor de Rivier 2.0 is een laag van 1 m aangehouden, waarbij in de sessies zelf 1-2 m is genoemd. Op basis van expert judgement schatten we in dat 1 m aan de (te) lage kant is, waardoor we een ruimere buffer adviseren.

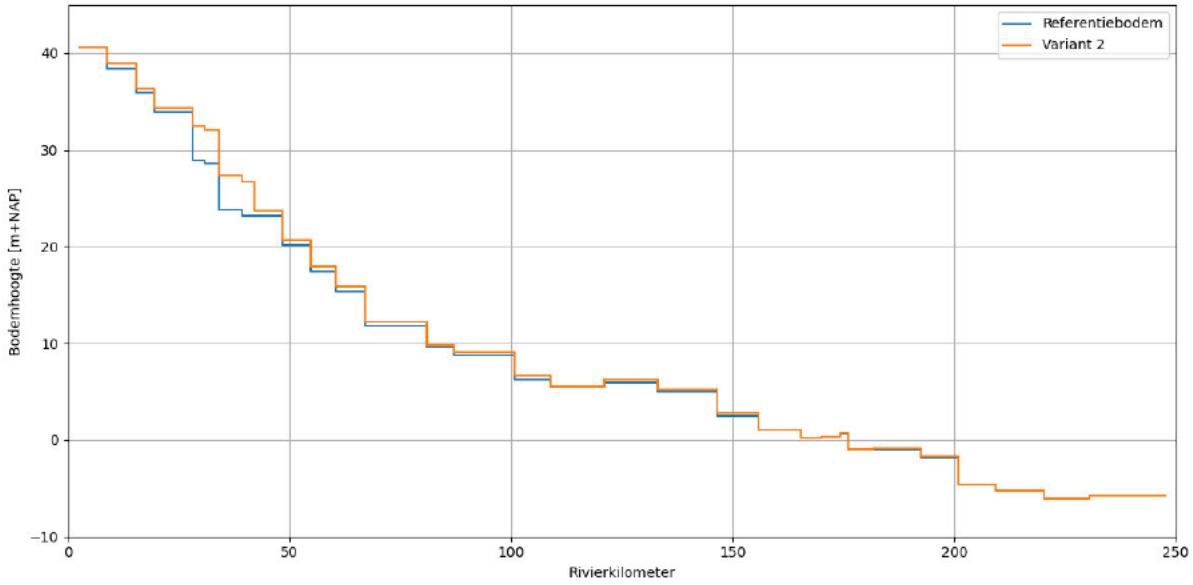
Variant 2: Beter beheerbare bodemligging



*Figuur 31: Samenvatting van Variant 2: een beter beheerbare bodemligging. De criteria voor het beleidsdoel (samengevat als Sediment & bodem) scoren we als volgt: ☺ = **positief/voldoet**, 😐 = **neutraal**, ☹ = **negatief/voldoet niet**. De criteria voor maakbaarheid en beheerbaarheid scoren we met: 'x' = niet maakbaar/beheerbaar, ★ = minder maakbaar/beheerbaar, ★★ = goed maakbaar/beheerbaar. De criteria voor de functies en infrastructuur scoren we relatief t.o.v. de referentiebodemligging op een schaal van '++' tot '--'.*

4.4.1 Rivierbodemligging en bandbreedte

De 1,5 m hogere bodem in het traject met risico op het ontstaan van erosiekuilen geeft de bodemhoogtes zoals gepresenteerd in Figuur 32.



Figuur 32: Bodemhoogte per evaluatievak voor variant 2 met een 1,5 m hogere bodem in de vakken met een risico op het ontstaan van erosiekuilen. In blauw de referentiebodemligging.

Voor deze tweede variant stellen we dezelfde toegestane bandbreedte van plus en min 5 cm voor als in variant 1. Het aanbrengen van een extra laag boven het erosiekuilentraject kan aanleiding geven om een ruimere bandbreedte toe te staan, maar hier hebben we niet voor gekozen. De belangrijkste redenen hiervoor zijn 1) dat er met een ruimere bandbreedte geen sprake meer is van een langjarig stabiele rivierbodemligging en 2) die laag er niet voor niets ligt, namelijk het minimaliseren van het risico op het ontstaan van erosiekuilen.

4.4.2 Maakbaarheid en beheerbaarheid

Er is 1,9 miljoen m^3 sediment (dikte laag x oppervlakte) nodig om de bodemverhoging te realiseren. Uitgaande van de indicatieve eenheidsprijs van €61 per kubieke meter sediment, geeft dat (eenmalige) kosten van ca. 160 M€ (score ★; 'minder maakbaar'). De aanleg gaat ook gepaard met veel milieubelasting (★) en hinder voor de omgeving (★). Scheepvaart wordt niet gehinderd omdat in dit deel van de Maas geen doorgaande beroepsvaart plaatsvindt. Maar de uitvoering gaat waarschijnlijk relatief lang duren omdat er vooral vanaf land moet worden gewerkt om te kunnen suppleren en het suppletievolume over land moet worden aangevoerd. Er is ervaring met grootschalige werkzaamheden in en rondom de Gemeenschappelijk Maas, waardoor de techniek naar verwachting niet heel belemmerend is (★★; 'goed maakbaar').

Het belangrijkste verschil in beheerbaarheid t.o.v. variant 1 is dat het beheer nu voor de hele Maas voorspelbaar is geworden (★★; 'goed beheerbaar') doordat het risico op het ontstaan van erosiekuilen is geminimaliseerd. De beheerbaarheid blijft verder gelijk aan variant 1 wanneer we ervan uitgaan dat we de bodemophoging niet uitvoeren met grover sediment (zie Hoofdstuk 5). Een analyse met de vuistregeltool (zie Bijlage D) heeft aangetoond dat een hogere bodem nauwelijks een effect heeft op de stroomsnelheden en daarmee de sedimenttransportcapaciteit en dus op de sedimenttekorten, ondanks dat de weerden frequenter mee gaan stromen. Het grove sediment in de Gemeenschappelijke Maas komt pas bij relatief hoge stroomsnelheden in beweging en dat gebeurt

ook met de huidige rivierbodemligging pas als de weerden volop meestromen. Het vaker meestromen van de weerden als gevolg van een hogere bodem heeft daardoor nauwelijks een effect op de sedimenttransportcapaciteit[7].

4.4.3 Impact op het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding

Door de bodemverhoging is variant 2 een stabiele bodem gegeven de beheerinspanning (**voldoet**) en heeft deze ook voldoende dekking boven erosiegevoelige fijne lagen waardoor voor de Gemeenschappelijke Maas het risico op het ontstaan van diepe erosiekuilen geminimaliseerd is (**voldoet**). Voor de Zandmaas (Peelhorst) blijft onzeker of de dekking onvoldoende is (score **neutraal**), maar dit vraagt eerst gedetailleerde informatie over de ondergrond. Het traject met de bodemophoging geeft kansen voor meer natuurlijke morfodynamiek, maar handhaven we de score **neutraal** omdat er alleen op het deel met de bodemophoging verbetering plaats kan vinden.

4.4.4 Impactanalyse functies en stabiliteit infrastructuur

Variant 2 heeft enkel in het deel van de Gemeenschappelijke Maas met de bodemverhoging een impact op de functies. In de scores wegen we mee dat de bodemophoging niet over de gehele Gemeenschappelijke Maas plaatsvindt. De effecten ter plekke van de bodemophoging zijn dus groter dan dat de scores aangeven.

Veilige afvoer

Hoogwaterstanden gaan omhoog langs het traject met de bodemophoging met ruim 0,5 m **(--)**. De waterstandsverhoging werkt slechts beperkt door in bovenstroomse richting omdat de verhanglijnen langs de Gemeenschappelijke Maas kort zijn. De dijktrajecten aan Nederlandse zijde waar significante stijgingen van waterstanden optreden zijn: Nattenhoven-Roosteren (traject 83-1), Urmond (traject 85-1), Maasband (traject 86-1), Meers (traject 87-1) en Geulle aan de Maas (traject 88-1). In dit deel van de Maas zijn de hoogwaterstanden fors verlaagd met rivierverruiming aan Vlaamse zijde en met het Grensmaasproject. Mede hierdoor kennen diverse keringen overhoogte (Huthoff et al., 2020). Het vraagt nader onderzoek of en hoeveel keringen versterkt dienen te worden als gevolg van de bodemophoging.

Omdat het risico op het ontstaan van erosiekuilen is geminimaliseerd, neemt het risico op instabiliteit van primaire keringen die dicht langs het zomerbed liggen af **(+)**.

Bevaarbaarheid

De bevaarbaarheid wordt niet beïnvloed omdat op dit deel van de Maas geen doorgaande beroepsvaart plaatsvindt **(0)**. Wel is er mogelijk invloed op recreatievaart en de veerpont Berg-Meeswijk.

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

De natuur verbetert in het traject met de bodemophoging (deel van de Gemeenschappelijke Maas) op alle criteria. De inundatiefrequenties van de weerden langs het traject met de bodemophoging nemen fors toe **(+)**. Dit verbetert ook de uitwisseling van sediment tussen zomer- en winterbed **(+)**. Slib kan ook beter uitspoelen uit de weerden. Het aantal dagen dat geulen droogvallen neemt ook af **(+)**.

[7] Dit is een belangrijk verschil met maatregelen in de Rijntakken. In de Rijntakken ligt over het algemeen fijner sediment dat bij veel lagere afvoeren al in beweging komt. Meer water door de uiterwaarden zorgt daarmee meteen voor een afname van de sedimenttransportcapaciteit.

In het traject met de bodemophoging liggen nu de grinddrempels die de grondwaterstanden voldoende hoog moeten houden. De bodemophoging kan de rol van de grinddrempels mogelijk overnemen. Hierdoor blijven de grondwaterstanden op peil met lokaal mogelijk nog verhogingen (+). Het verwijderen van de grinddrempels zorgt voor een significante toename van de stroomsnelheid bij lage afvoeren, wat zeer bevorderlijk is voor het stromend habitat (Vriese et al., 2021) (+). Deze toename van de stroomsnelheid zorgt vervolgens ook weer voor een verbetering van het substraat in het zomerbed doordat slib minder bezinken (+).

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

Daggenvoorde en Pezij (2024) hebben in een verkennende modelstudie aangetoond dat een verhoging van de bodem in de Gemeenschappelijke Maas wel een invloed heeft op de buffering van grondwater (en dus een verhoging van de grondwaterstanden), maar dat dit grondwater te beperkt of niet op het juiste moment vrijkomt om de laagste zomerafvoer significant te verhogen (0). Omdat de mediane grondwaterstanden toenemen, scoren we dit aspect (+).

Stabiliteit infrastructuur

De verhoging van de bodem zorgt voor een toename van de dekking boven kabels en leidingen (+) en een kleiner risico op instabiliteit van kunstwerken (+).

4.5 Een beter beheerbare bodem die indien mogelijk optimaal de functies ondersteunt

Voor de laatste variant zoeken we naar een rivierbodemligging die beter beheerbaar blijft (dus voornamelijk het risico op het ontstaan van erosiekuilen minimaliseert) en die tegelijk de functies optimaal ondersteunt. Hiervoor beschouwen we wat de functies van de rivierbodemligging vragen (paragraaf 4.5.1) om vervolgens indien mogelijk tot een optimale variant te komen (paragraaf 4.5.2). Uit deze twee paragrafen blijkt dat het niet mogelijk is een optimale variant te formuleren. In plaats daarvan onderzoeken we in 4.5 een variant die t.b.v. de functie natuur voor nattere weerden zorgt.

4.5.1 Wat vragen de functies?

Veilige afvoer

Een verlaging van de hoogwaterstanden kan worden gerealiseerd met het verdiepen van het zomerbed. In de Zandmaas en de Bedijkte Maas heeft dit in het kader van Maaswerken ook plaatsgevonden. De afvoercapaciteit is door de verdiepingen fors vergroot. Verdere zomerbedverdiepingen zouden de afvoercapaciteit van de Maas dus ook nog verder vergroten. In het Programma Integraal Riviermanagement (start voor Programma Ruimte voor de Rivier 2.0; Ministerie IenW et al., 2025) is echter vastgelegd dat onder de beleidskeuze rivierbodemligging en sedimenthuishouding er geen zomerbedverdiepingen meer worden aangelegd.

Het handhaven van de rivierbodemligging op (maximaal) het huidige niveau is dus vanuit de functie 'veilige afvoer' en met name vanuit de beleidskeuze gewenst. Dit is gelijk aan variant 1. In Variant 2 gaat de bodem omhoog op een deel van de Gemeenschappelijke Maas met 1,5 m omhoog, waardoor ook hoogwaterstanden toenemen. Dit is dus minder wenselijk t.o.v. variant 1 ten aanzien van de functie 'veilige afvoer'.

Bevaarbaarheid

De gehele Maasroute is/wordt opgewaardeerd naar een klasse Vb-vaarweg. Een verdere verruiming is niet aan de orde. Lokaal zijn er wel knelpunten (bijv. de leidingstraat bij Niftrik en stukken mergelbodem bij Maastricht). Deze knelpunten kunnen indien nodig lokaal worden opgelost (verdiepen leidingstraat Niftrik in combinatie met een beperkte verlaging van de Maasbodem) en vragen dus niet om een grootschalig andere bodemhoogte in de Maas.

Het handhaven van de rivierbodemligging van de bevaarbare (en gestuwde) Maastrajecten op het huidige niveau is dus vanuit de functie 'bevaarbaarheid' gewenst. Dit is gelijk aan variant 1 en variant 2.

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

De bodem van de Maas heeft een beperkt effect op de zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening van de Maas (Asselman et al., 2022). Het handhaven van de rivierbodemligging op het huidige niveau en mogelijk een verhoging in de Gemeenschappelijke Maas om grondwaterstanden op te stuwen is vanuit de functie 'Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening' waarschijnlijk gewenst. Deze richting is verkend in variant 2. Een detailstudie (incl. grondwatermodellering) is nodig om verdere verbetering van de rivierbodemligging t.a.v. zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening te ontwerpen. Vanuit deze functie is een verandering van de rivierbodemligging daarom ook niet gewenst.

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

De optimale variant t.a.v. natuur vraagt om grote aanpassingen aan de rivierbodemligging. In de huidige situatie zijn voorname knelpunten de te lage stroomsnelheden en de te lage inundatiefrequenties (paragraaf 4.1.2). Dit geldt in principe voor de gehele Maas. De bodemverhoging die in variant 2 is voorgesteld in de Gemeenschappelijke Maas zorgde daar voor een verbetering op alle criteria. Als we ons alleen richten op de bodemhoogte, is een verdere verhoging van de bodem, ook voortgezet in de rest van de Gemeenschappelijke Maas en in de rest van de Maas sec vanuit de functie 'robuuste natuur' gewenst. Hiermee kunnen in ieder geval veel hogere inundatiefrequenties gerealiseerd worden. In het ecotopenstelsel is een inundatiefrequentie van maximaal 50 dagen als terrestrisch gedefinieerd (bijv. drogere graslanden, ruigten en struweel). Als we meer natte natuur willen zou de inundatiefrequentie dus voor delen minimaal 50 dagen per jaar moeten zijn. Dit kan een streven zijn voor een deel van de Maastrajecten, met name in de (voormalige) overstromingsvlaktes van de Rijn en de Maas (Bedijkte Maas en verder benedenstrooms). De Maasvallei (Bovenmaas t/m Zandmaas) kent van oorsprong drogere en hoger gelegen weerden, maar ook hier zijn de inundatiefrequenties van de meeste weerden erg laag (Asselman et al., 2022).

Als we ons voor nu volledig richten op het verhogen van de inundatiefrequenties van weerden, omdat hier de meest directe relatie met de rivierbodemligging mee is, kunnen we een betere bodemligging ten aanzien van natuur definiëren. Aannemende een gewenste, ruimtelijk en jaargemiddelde, inundatiefrequentie van 2 dagen per jaar voor de weerden in de Maasvallei en 50 dagen per jaar voor de rest van de Maas is een grote verhoging van de rivierbodem nodig (zie Bijlage D.4). Het betreft 1,5 m in de Maasvallei en 3,0 m voor de rest van de Maas.

Deze verhogingen van de rivierbodemligging zijn ook gunstig voor het aspect 'stroomsnelheden', ervan uitgaande dat stuwpeilen niet of beperkt meestijgen. De Maas wordt dan naar verwachting weer grotendeels geschikt voor veel vissoorten die stromend habitat wensen (Witman et al., 2024). Natuurlijke morfodynamiek kan (mogelijk) worden verbeterd door het opvullen van de zomerbedverdiepingen, evenals de grondwaterstanden t.b.v. de natuur in de weerden en achterland in de omgeving van de zomerbedverdiepingen (Bakker et al., 2025).

4.5.2 De optimale variant?

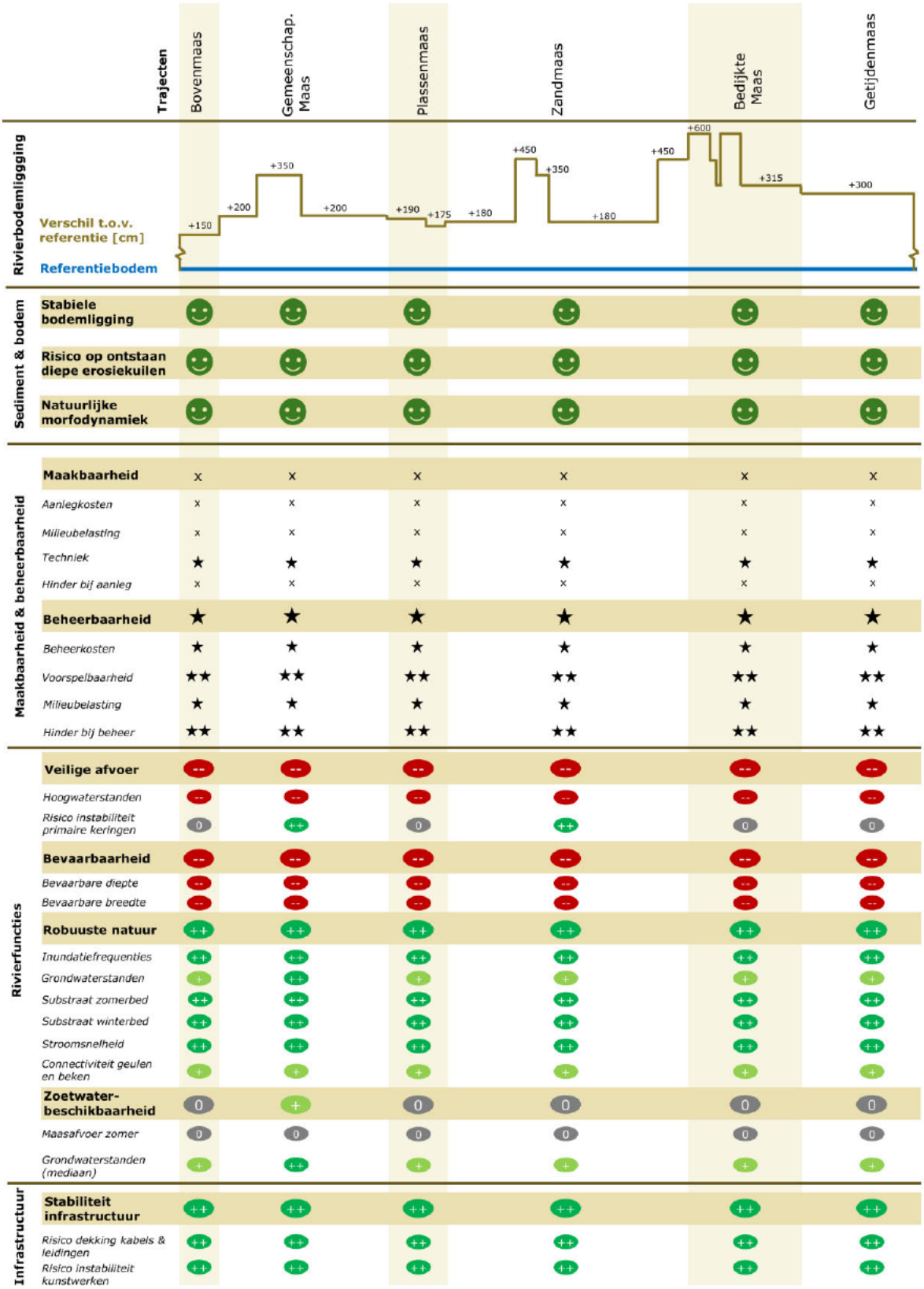
Op basis van de analyse in de voorgaande paragraaf stellen we dat er geen optimale variant van de rivierbodemligging bestaat die alle functies optimaal kan ondersteunen. De behoeftes voor een andere rivierbodemligging vanuit natuur gaan niet samen met de functies veilige afvoer en bevaarbaarheid. Variant 1 en 2 beslaan samen het speelveld voor de optimale variant t.a.v. de functies veilige afvoer en bevaarbaarheid. Het is daarom juist nog relevant te onderzoeken hoe een variant van de rivierbodemligging ten behoeve van natuur zou scoren.

4.6 Variant 3: een bodem voor nattere weerden

Het opstellen van een rivierbodemligging die alle functies tegelijkertijd goed bedient, blijkt niet mogelijk (paragraaf 4.5). Omdat de functies 'veilige afvoer' en 'bevaarbaarheid' al bediend worden met variant 1 (en ook in grote mate met variant 2), en de functie 'zoetwaterbeschikbaarheid' een beperkte relatie heeft met de bodemligging, onderzoeken we in deze derde variant een rivierbodemligging die de functie 'natuur' nog beter bedient. De functie natuur kent vele aspecten (beoordelingscriteria) die in meer of mindere mate worden beïnvloed door de rivierbodemligging. De sterkste koppeling is te leggen tussen de rivierbodemligging en de inundatiefrequentie van de weerden.
Aannemende een gewenste, ruimtelijk en jaargemiddelde, inundatiefrequentie van 2 dagen per jaar voor de weerden in de Maasvallei en 50 dagen per jaar voor de rest van de Maas is een grote verhoging van de rivierbodem nodig (zie Bijlage D.4). Het betreft 1,5 m in de Maasvallei en 3,0 m voor de rest van de Maas. Daarnaast vullen we in deze variant ook de zomerbedverdiepingen op om de grondwaterstanden in de omgeving van de zomerbedverdiepingen op te stuwen en om sedimentconnectiviteit te bevorderen.

Deze bodemverhogingen geven samen Variant 3: een bodem voor nattere weerden. Figuur 33 vat Variant 3 en de effecten daarvan samen. In paragrafen 4.6.1 t/m 4.6.4 volgt de toelichting hierop.

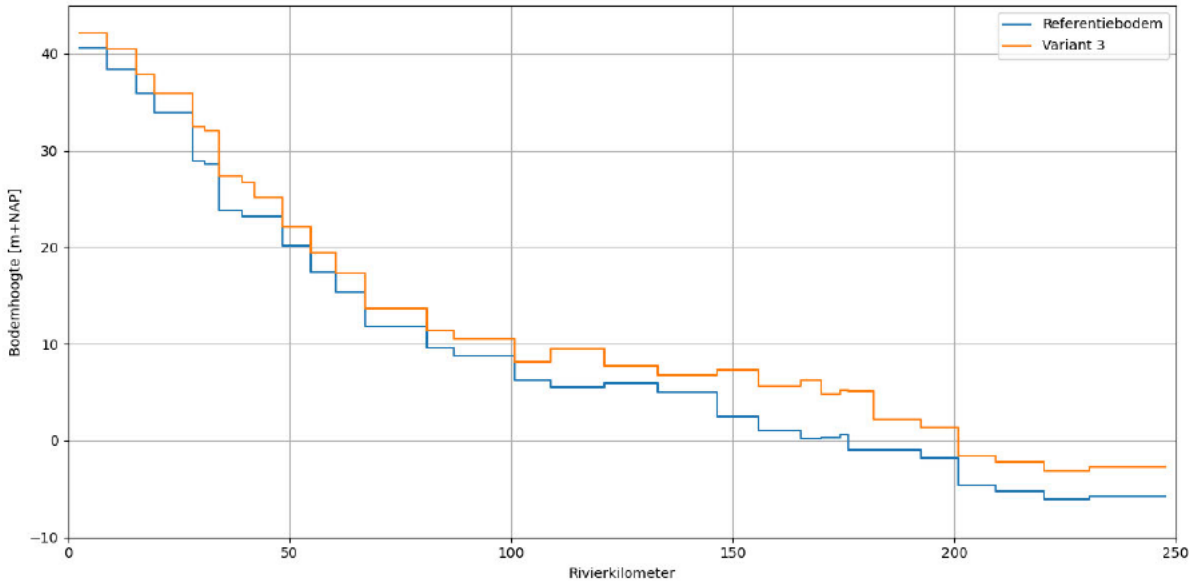
Variant 3: Bodemligging voor nattere weerden



*Figuur 33: Samenvatting van Variant 3: een bodem voor nattere weerden. De criteria voor het beleidsdoel (samengevat als Sediment & bodem) scoren we als volgt: ☺ = **positief/voldoet**, 😐 = **neutraal**, ☹ = **negatief/voldoet niet**. De criteria voor maakbaarheid en beheerbaarheid scoren we met: 'x' = niet maakbaar/beheerbaar, ★ = minder maakbaar/beheerbaar, ★★ = goed maakbaar/beheerbaar. De criteria voor de functies en infrastructuur scoren we relatief t.o.v. de referentiebodemligging op een schaal van '++' tot '--'.*

4.6.1 Rivierbodemligging en bandbreedte

De hogere bodem die nodig is om de weerden te vernatten is gepresenteerd in Figuur 34.



Figuur 34: Bodemhoogte per evaluatievak voor variant 3 en de referentiebodemligging.

Voor deze derde variant stellen we dezelfde toegestane bandbreedte van plus en min 5 cm voor als in variant 1 en variant 2. Het natuurlijker inrichten van de Maas, dat gepaard kan gaan met deze variant, kan aanleiding geven om een (veel) ruimere bandbreedte toe te staan. Desondanks houden we dezelfde bandbreedte aan met als belangrijkste reden dat voor een langjarig stabiele bodemligging te veel sedimentatie en erosie, vooral op deze grote lengteschalen, niet gewenst is.

4.6.2 Maakbaarheid en beheerbaarheid

Er is bijna 90 miljoen m^3 sediment (dikte laag x oppervlakte) nodig om de bodemverhoging te realiseren. Per traject gaat het afgerond om:

- Bovenmaas: 3 miljoen m^3
- Gemeenschappelijke Maas: 8 miljoen m^3
- Plassenmaas: 3 miljoen m^3
- Zandmaas: 27 miljoen m^3
- Bedijkte Maas: 22 miljoen m^3
- Getijdenmaas: 24 miljoen m^3

Met de indicatieve eenheidsprijs van €61 per kubieke meter sediment, geeft dat totale (eenmalige) kosten van ruim 5 miljard euro. We achten dit niet maakbaar (score 'x'). De aanleg gaat ook gepaard met een zeer grote milieubelasting ('x') en zeer veel hinder voor de omgeving ('x'). We verwachten minder belemmering met betrekking tot het aspect 'techniek' (★)

Variant 3 vraagt waarschijnlijk veel beheerinspanning om de bodem op het gewenste niveau te houden (gegeven dat dat het streven blijft). Op alle trajecten wordt veel (mobiel) sediment aangebracht dat zich zal verplaatsen binnen het Maassysteem. We gaan daarom uit van een 'minder beheerbare' bodem (★). Voor de Zandmaas, Bedijkte Maas en Getijdenmaas zorgt de bodemverhoging en het daardoor veel vaker meestromen van de weerden voor een sterke reductie van de sedimenttransportcapaciteit. Dit zorgt (in potentie) op lange termijn voor een gezonde sedimentconnectiviteit waarin minder gesuppleerd en gebaggerd hoeft te worden (zie Bijlage D).

4.6.3 Impact op het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding

Variant 3 is een stabiele bodem mits deze beheerd wordt (**voldoet**) en is er ook geen risico op het ontstaan van diepe erosiekuilen (**voldoet**). De bodemophoging geeft grote kansen voor meer natuurlijke morfodynamiek, waardoor we dit aspect **positief** scoren.

4.6.4 Impactanalyse functies en stabiliteit infrastructuur

Variant 3 heeft een grote impact op de functies langs de Maas voor elk van de Maastrajecten. De scores zijn beperkt onderscheidend per Maastraject. Als er een relevant verschil is tussen de trajecten, benoemen we deze.

Veilige afvoer

Hoogwaterstanden gaan langs de hele Maas sterk omhoog, tot wel enkele meters langs de Bedijkte Maas en Getijdenmaas **(--)**. De keringen zijn hier niet op ontworpen. Zeer omvangrijke rivierverruimende compensatiemaatregelen of dijkversterkingen zijn nodig om een veilige afvoer te waarborgen.

Het risico op instabiliteit van primaire keringen die dicht langs het zomerbed liggen en waar er risico's zijn op het ontstaan van diepe erosiekuilen neemt af **(+)**.

Bevaarbaarheid

Met de bodemverhogingen in deze variant kunnen de huidige scheepvaartklasses niet gehandhaafd blijven, zeker niet als stuwpeilen niet of beperkt meestijgen. De bevaarbare diepte neemt op de West-Oost route van de Maas (Maas-Waalkanaal tot en met Bergsche Maas) met meerdere meters af. Omdat de Maas hierdoor überhaupt nog nauwelijks bevaarbaar neemt ook de bevaarbare breedte sterk af. Kortom, zowel de bevaarbare diepte als de bevaarbare breedte nemen zeer sterk af **(--)**.

Robuuste natuur en ecologische waterkwaliteit

De grootste voordelen van variant 3 uiten zich in deze functie. Op alle aspecten is grote verbetering te verwachten ten opzichte van de huidige situatie en de referentie **(++)**. Dit geeft veel kansen voor het realiseren van robuuste natuur met een goede ecologische waterkwaliteit. Geulen en beekmondingen dienen waarschijnlijk wel heringericht te worden om goed aan te kunnen sluiten op de nieuwe bodemligging, waardoor we een score van **(+)** toekennen.

Zoetwaterbeschikbaarheid en drinkwatervoorziening

Mediane grondwaterstanden zullen langs de hele Maas stijgen **(+)** wat gunstig is voor de zoetwatervoorziening. Het is niet bekend of en in welke mate de bodemverhoging voor een andere Maasafvoer, door aanvulling van lage afvoeren vanuit grondwater, zorgt **(0)**.

Stabiliteit infrastructuur

De verhoging van de bodem zorgt voor een grote toename van de dekking boven kabels en leidingen **(++)** en een veel kleiner risico op instabiliteit van kunstwerken **(++)**.

5 Maatregelen

In dit hoofdstuk beschrijven we de (potentieel effectieve) maatregelen waarmee de varianten voor de rivierbodemligging uit Hoofdstuk 4 gerealiseerd en gehandhaafd kunnen worden. Eerst beschrijven we in paragraaf 5.1 de potentieel effectieve maatregelen, waarin we ingaan op waarom je een maatregel zou inzetten, hoe deze doorwerkt op de rivierbodemligging en de morfologie en welke orde grootte de maatregelen moeten hebben om het beoogde effect te sorteren. Hiervoor hebben we een morfologische effectbepaling gedaan die is toegelicht in Bijlage D. In paragraaf 5.2 voeren we een analyse uit naar de impact van de maatregelen op de rivierfuncties.

5.1 Beschrijving potentieel effectieve maatregelen

Maatregelen kunnen op diverse manieren de morfologische ontwikkeling van de rivierbodemligging beïnvloeden. Morfologische ontwikkeling (bodemhoogteveranderingen) zijn het resultaat van een onbalans tussen de sedimenttoevoer en -transport (Barneveld et al., 2025b). Als er minder sediment wordt aangevoerd dan dat de rivier transporteert, wordt er sediment uit de bodem opgenomen. Dit leidt dus tot bodemerosie. Andersom, als de sedimenttoevoer groter is dan dat de rivier kan transporteren (capaciteit), vindt er sedimentatie plaats. Maatregelen beïnvloeden deze balans tussen sedimenttoevoer en -transport door:

- Verkleinen van de sedimenttransportcapaciteit door rivierverruiming: verruiming van het dwarsprofiel leidt tot lagere stroomsnelheden en leidt daarmee tot geringere sedimenttransporten;
- Beperken erodeerbaarheid: het vastleggen van de rivierbodem door het aanbrengen van een niet-erodeerbare laag zorgt ervoor dat er lokaal geen erosie kan plaatsvinden. Dit kan ervoor zorgen dat benedenstrooms van de vastgelegde bodem een groter sedimenttekort ontstaat dan voorheen;
- Vergroten of verkleinen van de sedimenttoevoer (actief sedimentbeheer): door sediment te suppleren of te baggeren wordt de sedimenttoevoer verhoogd of verlaagd. Bij baggeren en terugstorten wordt de sedimenttoevoer intern herverdeeld.
- Herstel: herstelmaatregelen zijn gerelateerd aan het opvullen van de erosiekuilen. Deze maatregelen hebben beperkt effect op de grootschalige sedimenttoevoer en -transport.

Samen met de projectadviesgroep zijn tijdens een werksessie de maatregelen uit Tabel 2 geïdentificeerd. In de werksessie was expertise vanuit verschillende disciplines (zie colofon) vertegenwoordigd. Vervolgens heeft HKV een selectie gemaakt van de potentieel effectieve maatregelen die met blauw zijn aangegeven in Tabel 2:

- Verruiming:
  - Zomerbedverbreding: Doordat de stuwen de laagwaterstand bepalen heeft zomerbedverbreding nauwelijks effect op scheepvaart. Het is echter heel effectief in het reduceren van het sedimenttransport.
  - Weerdverlaging: Om de inundatiefrequentie te verhogen is weerdverlaging mogelijk effectief. De verlaging helpt beperkt bij het verlagen van het sedimenttransport (Zuijderwijk et al., 2020).
- Beperken erodeerbaarheid: Door het beperken van de erodeerbaarheid van de rivierbodem op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas kan de kans op het ontstaan van erosiekuilen worden geminimaliseerd. Omdat natuurlijke morfodynamiek gewenst is, is het volledig bestorten ofwel het vastleggen van de rivierbodem ongewenst. In plaats daarvan kan worden

gekozen voor een bestorting met daarop nog een laag met sediment (fijn grind en/of grof zand) dat voor de natuurlijke morfodynamiek kan zorgen. Ook kan worden gekozen voor een eenmalige bodemophoging, zodat de fijne zanden voldoende ver onder het oppervlakte komen te liggen. Door de bodem eerst af te graven, hoeft het aanbrengen van een nieuwe laag niet te resulteren in een (veel) hogere bodem dan de oorspronkelijke bodemligging.

- Sedimentsuppleties in het zomerbed hebben de meest directe invloed op de sedimentbalans en zijn daardoor (waarschijnlijk) het meest effectief. Als alternatief kan ervoor worden gekozen te suppleren op de oevers waardoor de toevoer van sediment naar de rivierbodem geleidelijker plaatsvindt en er ook sediment afgezet kan worden in de weerden. Het is dan wel de vraag of het sediment op de juiste plekken in het zomer- en winterbed terecht komt en of dat ook voldoende snel gebeurt. De uitvoering van een oeversuppleties is mogelijk wel eenvoudiger, omdat dit vanaf land kan gebeuren. Het ontwerpen van suppleties gaat gepaard met vele ontwerpvragen en uitvoeringsvragen (Van Heereveld et al., 2022), waar we hier niet in detail op in gaan.

In de volgende paragrafen zijn de geselecteerde maatregelen in meer detail beschreven.

Tabel 2: Overzicht maatregelen. Maatregelen die zijn geïdentificeerd om bij te dragen aan het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding zijn blauw gearceerd.

	Soort maatregel	Type maatregel
Beheermaat-regelen	Aanpassen sedimenttoe-voer	Sedimentsuppleties op de oevers met extern materiaal
		Sedimentsuppleties in het zomerbed met extern materiaal
		Baggeren, onttrekking uit het systeem
		Baggeren en terugstorten
	Herstel	Opvullen erosiekuilen
Aanlegmaatregelen	Verruiming	Verruiming oeverprofiel, aanleg natuurvriendelijke oever
		Zomerbedverbreding
		Permanent meestromende nevengeul
		Hoogwatergeul
		Weerdverlaging / uiterwaardverlaging
		Rivierverlenging (aantakken oude meanders)
	Beperken erodeerbaar-heid	Eenmalige (lokale) steenbestorting
		Eenmalige (lokale) grindbestorting
		Vervangen onderlaag rivierbodem
		Eenmalige bodemophoging met zand of grind

5.1.1 Sedimentsuppleties (extern materiaal) en baggeren

Doel

Onderhouden bodemhoogte zodat deze constant blijft.

Werking

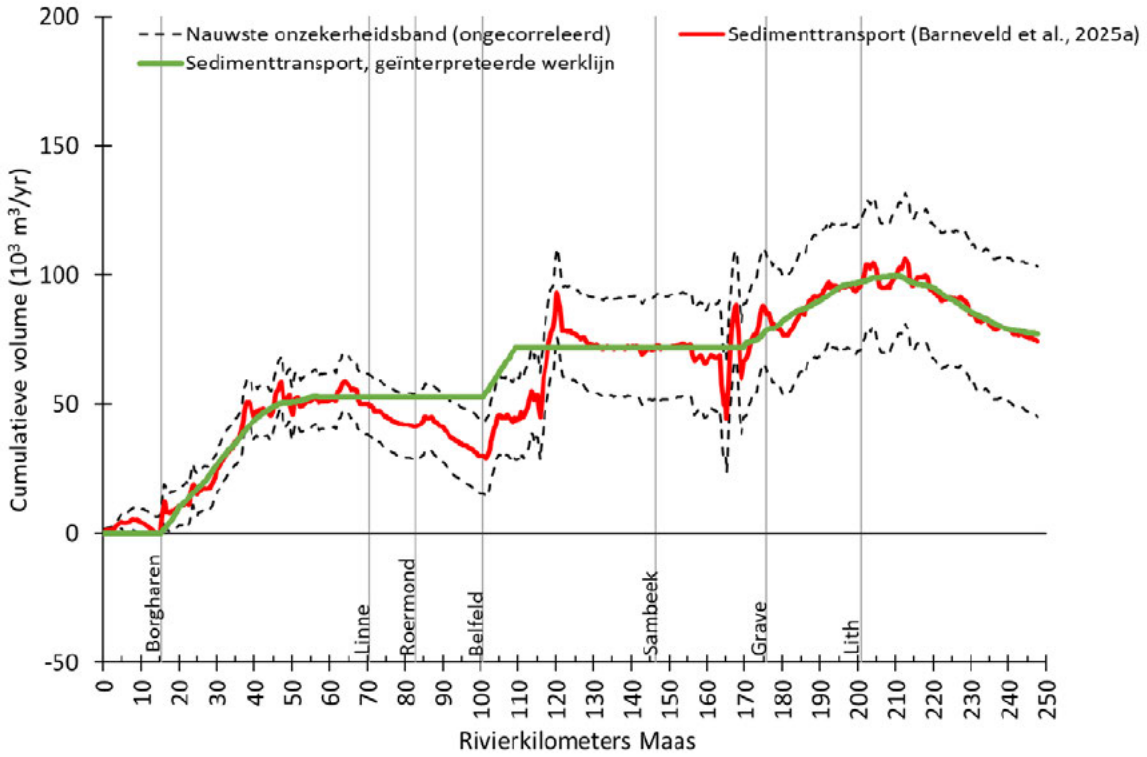
Sedimentsuppleties verhogen lokaal de sedimenttoevoer. Sedimentsuppleties zijn het meest effectief wanneer deze verspreid over het erosietraject worden toegepast (Czapiga et al., 2022). Hierbij moet gebiedseigen materiaal gebruikt worden. Grover sediment leidt namelijk tot een verplaatsing van de sedimenttransportgradiënt naar benedenstrooms en te fijn materiaal kan leiden tot een

grotere bodemerosie omdat dit, theoretisch, het transport van het aanwezige grove materiaal vergroot (Czapiga et al., 2022).

Benodigde grootte

Het suppleren met gebiedseigen materiaal (huidige korreldiameters) beïnvloedt voornamelijk de sedimenttoevoer, maar (theoretisch) niet het sedimenttransport van de rivier. Met suppleties kunnen sedimenttekorten worden aangevuld. Overal waar het sedimenttransport in langsrichting toeneemt, en er dus van bovenstrooms minder toegevoerd wordt dan de rivier kan transporten, moet er gesuppleerd worden om te voorkomen dat er bodemerosie plaatsvindt.

We bepalen de benodigde suppletievolumes (en baggervolumes) met de versimpelde sedimenttransportlijn gebaseerd op Barneveld et al. (2025b), zie Figuur 35 (herhaling van Figuur 24). Op basis van de werklijn schatten we in dat ongeveer 100.000 m^3/jaar aan suppleties nodig zijn (som van alle oplopende gradiënten in sedimenttransport) om de huidige rivierbodemligging te handhaven. Ongeveer de helft van dit volume is benodigd in de bovenstroomse deel van de Gemeenschappelijke Maas (rkm 16, Borgharen tot rkm 40, Nattenhoven). Het baggeren van ca. 20.000 m^3/jaar is nodig in de Getijdenmaas om de bodem daar niet te laten stijgen. Daarnaast verwachten we nog dat ca. 30.000 m^3/jaar regulier baggeronderhoud nodig is. Dit is gelijk aan het huidige jaargemiddelde baggervolume (Barneveld et al., 2025b; niet getoond in het figuur).



Figuur 35: Werklijn (groen) voor het sedimenttransport gebaseerd op Barneveld et al. (2025a; rode lijn) met daarnaast gepresenteerd de nauwste onzekerheidsbanden van Barneveld et al. (2025a).

5.1.2 Sedimentsuppleties en baggeren met hergebruik sediment

Doel

Onderhouden rivierbodemligging en reductie van benodigd extern materiaal.

Werking
In de huidige situatie wordt het gebaggerde sediment onttrokken uit het systeem. Door het gebaggerde materiaal te gebruiken voor sedimentsuppleties wordt de sedimentbalans (deels) hersteld. Het gebaggerde materiaal moet echter wel qua samenstelling geschikt zijn om te suppleren.

Benodigde grootte
Deze maatregel is gericht op het hergebruiken van het gebaggerde sediment. Dit materiaal wordt gebaggerd bij reguliere onderhoudswerkzaamheden (naar schatting 30.000 m^3/jaar) en in de Getijdenmaas (naar schatting 20.000 m^3/jaar). Dit sediment is veel fijner dan het bodemmateriaal in de Gemeenschappelijke Maas en is daarom niet/beperkt geschikt als suppletiemateriaal voor de Gemeenschappelijke Maas. Het gebaggerde materiaal is waarschijnlijk wel geschikt op de eroderende trajecten van de Zandmaas en verder benedenstrooms (vanaf stuw Belfeld, ~ rkm 100) omdat de bodem daar voor een groter deel uit (grof) zand bestaat (Figuur 8). Het sedimenttekort vanaf km 100 tot aan de Getijdenmaas is 47.000 m^3/jaar. Dit betekent dat door het hergebruik van gebaggerd sediment, het totaal benodigde externe materiaal (100.000 m^3/jaar, zie hierboven) ongeveer gehalveerd kan worden.

5.1.3 Herstel: opvullen erosiekuilen

Doel
Herstel van de rivierbodemligging na het ontstaan van erosiekuilen.

Werking
Deze maatregel heeft geen effect op de sedimentbalans. De maatregel herstelt de bodem na een hoogwater wanneer er erosiekuilen zijn ontstaan door deze simpelweg op te vullen. De onvoorspelbaarheid hiervan heeft een sterk negatief effect op de beheerbaarheid van de rivierbodemligging. Deze maatregel is standaard onderdeel van variant 1 (handhaven huidige rivierbodemligging), omdat in deze variant de erosiekuilen nog wel kunnen ontstaan.

Benodigde grootte
Erosiekuilen zorgen voor een verlaging van de gemiddelde rivierbodemligging. Bij het hoogwater van 2021 bedroeg dit gemiddeld 1,5 m (over een traject van ca. 5 km). Voor de referentiebodemligging gaan we ervan uit dat in het gehele potentiële erosiekuilentraject (rkm 28-42) erosiekuilen ontstaan met een gemiddelde bodemverlaging van 1,5 m. Het betreft in een periode van 50 jaar een totaal van 1.900.000 m^3 sediment om dit te herstellen.

5.1.4 Zomerbedverbreding

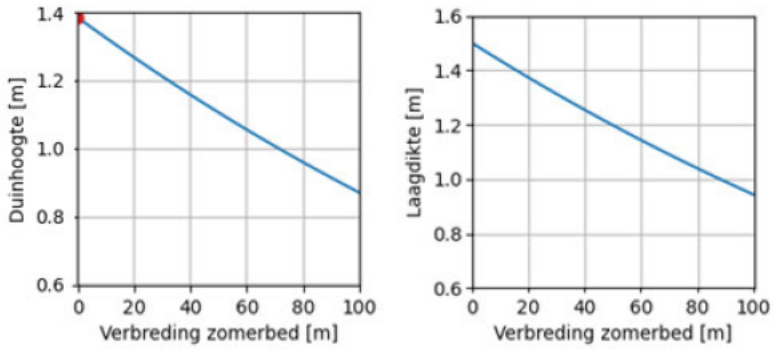
Doel
Verlagen stroomsnelheden en sedimenttransport.

Werking
Door de verbreding gaan de stroomsnelheden in het zomerbed omlaag wat het sedimenttransport beperkt. De bodemschuifspanningen worden gereduceerd wat de kans op plotselinge erosie beperkt.

Benodigde grootte

In variant 2 van de rivierbodemligging gaan we ervan uit dat een laag van 1,5 m (zonder verruiming van het profiel) voldoende is om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren. Met het verlagen van de stroomsnelheden door een zomerbedverbreding kan in theorie een minder dikke laag volstaan. Echter, op basis van empirische relaties (Figuur 36) zien we dat een zomerbedverbreding een vrij beperkt effect heeft op de duinhoogtes en daarmee indicatief ook voor de benodigde laagdikte om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren. Ook bij een grote mate van zomerbedverbredingen blijft de potentiële duinhoogte namelijk groot en kan de toplaag doorbreken. Dit terwijl een zomerbedverbreding mogelijk wel om een bredere laag vraag en dat het aanleggen van de eenmalige bodemophoging dus duurder wordt.

Stroomsnelheden en bodemschuifspanningen gaan wel omlaag door de verruiming. Een grote lokale verruiming kan dus wel degelijk worden ingezet om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te verkleinen. Barneveld et al. (2025a) geeft aan dat de rivierverruimingen in het Grensmaasproject en aan Vlaamse zijde benedenstrooms van het erosiekuilentraject van 2021 de waarschijnlijke oorzaak is geweest van het kunnen ontstaan van de erosiekuilen tijdens het hoogwater. Door de waterstandsverlaging zijn de stroomsnelheden sterk toegenomen in het traject waar de erosiekuilen konden ontstaan. Dit betekent dat zomerbedverbredingen (en alle andere verruimingsmaatregelen) ook averechts kunnen werken en juist het risico op erosiekuilen elders kunnen laten toenemen. Oftewel, met goed ontworpen verruimingsmaatregelen kan in belangrijke mate het risico op het ontstaan van erosiekuilen worden verminderd, maar dit dient vooral in de flessenhalzen te gebeuren en niet benedenstrooms daarvan.



Figuur 36: Schatting duinhoogtes t.b.v. een indicatieve schatting van de benodigde laagdikte boven de fijne zanden als functie van de mate van zomerbedverbreding in het erosiekuilentraject. De rode stip geeft de waarde uit Barneveld et al. (2025a). Op basis van relaties van Venditti et al. (2017 en 2022).

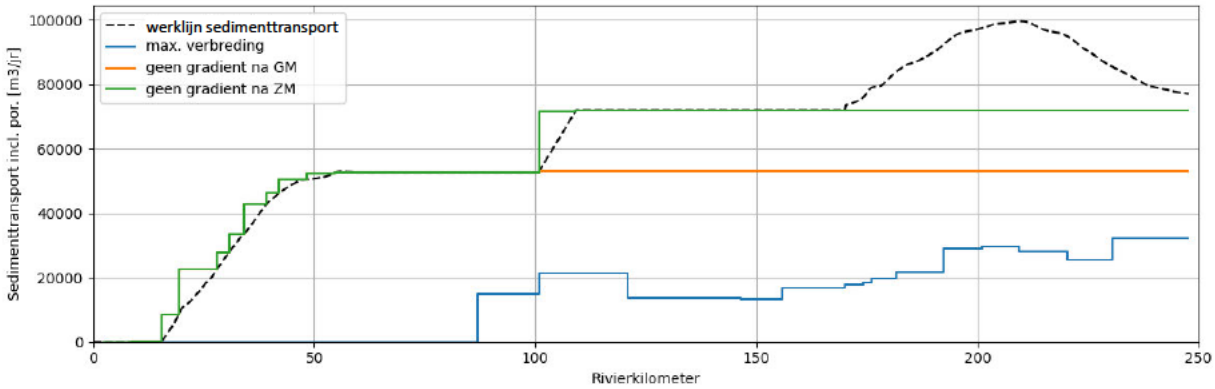
Daarnaast kan met zomerbedverbreding een constanter sedimenttransport worden bereikt wat het grootschalige sedimenttekort in de Maas kan beperken. Het verlagen van het sedimenttransport in de Maas zorgt ook voor een lagere sedimenttoevoer naar de Rijn-Maasmonding. In de Rijn-Maasmonding zijn delen waar gebaggerd wordt en delen waar er een sedimenttekort is. Er is onvoldoende reden om de sedimenttoevoer naar de Rijn-Maasmonding te willen verkleinen.

Figuur 37 geeft het sedimenttransport voor drie strategieën van zomerbedverbreding om de effectiviteit van de maatregel te verkennen. Figuur 38 is direct gelinkt aan Figuur 37 en toont de breedtes van de zomerbedverbredingen die horen bij de berekende sedimenttransportlijnen. De drie strategieën zijn:

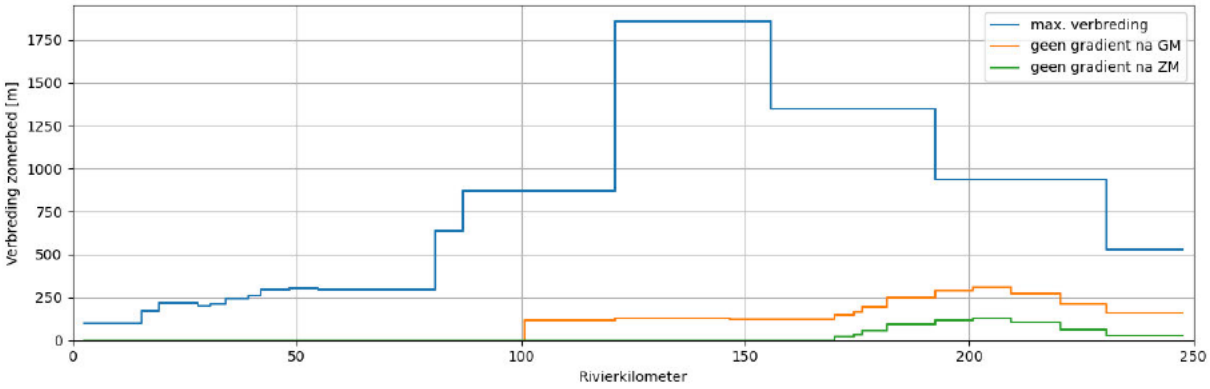
- Maximale afname sedimenttransport (theoretisch; blauwe lijn): hierbij is gestreefd naar het terugbrengen van het sedimenttransport naar nul, zodat de toevoer van bovenstrooms (België) gelijk is aan het transport in Nederland en er dus helemaal geen erosie meer optreedt. Zelfs als

het volledige winterbed wordt afgegraven (blauwe lijn Figuur 38), vindt er vanaf km 81 sedimenttransport plaats. Het sedimenttekort dat hierdoor ontstaat, moet alsnog worden aangevuld met bijvoorbeeld suppleties om bodemerosie te voorkomen. De grote verbredingen, als deze al uitvoerbaar zouden zijn, zijn bovendien zeer onwenselijk omdat alle (resterende) natuurlijke morfodynamiek uit het systeem verdwijnt.

- Geen gradiënt na de Gemeenschappelijke Maas (GM; oranje lijn): door de zomerbedverbreding is het sedimenttransport constant vanaf km 60. Om dit te bereiken is het zomerbed verbreed vanaf km 100 met maximaal 300 m. Hierdoor zijn er geen suppletie- of baggeractiviteiten benedenstrooms van km 100 nodig om de bodemhoogte constant te houden. Het totale suppletievolume halveert tot ca. 50.000 m^3/jaar en suppleties zijn alleen nog nodig op de Gemeenschappelijke Maas.
- Geen gradiënt na Zandmaas (ZM; groene lijn): door de verbreding is het sedimenttransport constant vanaf km 109. Om dit te bereiken is het zomerbed verbreed vanaf km 165 met maximaal 150 m. Met deze maatregel is de "bult" in het sedimenttransport (Figuur 37) weggehaald wat leidt tot een duurzamere sedimenthuishouding. Daarnaast heeft deze maatregel beperkt effect op de sedimenttoevoer naar de Rijn-Maasmonding. Het suppletievolume neemt af met ca. 30.000 m^3/jaar.



Figuur 37: Het sedimenttransport langs de Maas bij een maximale verbreding van het zomerbed, een constant transport na de Gemeenschappelijke Maas (GM) en een constant transport na de Zand Maas (ZM). Ten opzichte van de gekozen werklijn van het sedimenttransport van de Maas (zie paragraaf 3.9)



Figuur 38: Verbreding van het zomerbed bij de drie varianten van het sedimenttransport langs de Maas.

Het is belangrijk te realiseren dat het verruimen van (alleen) de Gemeenschappelijke Maas geen logische strategie is om de sedimenttekorten in de Maas te verkleinen. Het probleem verplaatst zich dan immers naar benedenstrooms. Het sedimenttekort in de Gemeenschappelijke Maas neemt wel af, maar deze neemt benedenstrooms juist toe omdat er minder toevoer vanuit de Gemeenschappelijke Maas komt.

5.1.5 Weerdverlaging

Doel

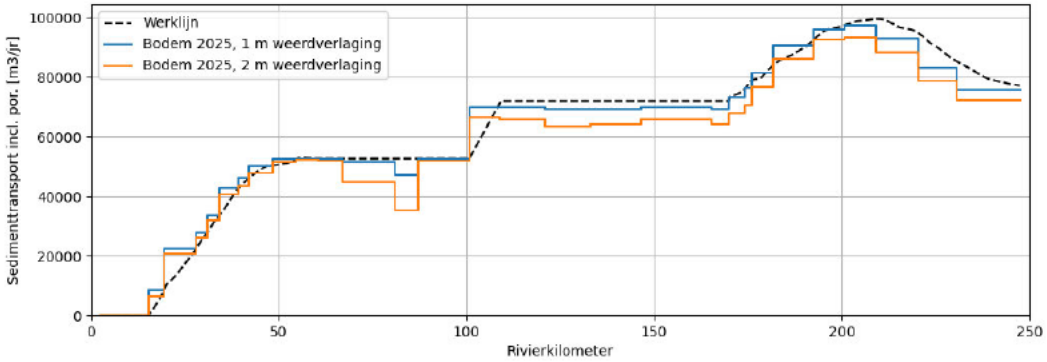
Verlagen sedimenttransport en verhogen inundatiefrequentie.

Werking

Bij weerdverlaging gaan de weerden bij lagere afvoeren en dus vaker meestromen. Voor de afvoeren waarbij de weerden voor verlaging niet en na verlaging wel meestromen, en de afvoeren waarbij de weerden altijd al meestroomden, zorgt de weerdverlaging voor een reductie van het sedimenttransport in de hoofdgeul. Ook bij grote weerdverlagingen is deze afvoerrange beperkt waardoor de uiterwaardverlaging (zonder geulen) een ineffectieve maatregel is om het sedimenttransport te verlagen (Zuijderwijk et al., 2020 en Ylla Arbos et al., 2024).

Benodigde grootte

Om een indicatie te geven van het effect van weerdverlaging passen we dit over de gehele Maas toe met 1 en 2 m. Figuur 39 geeft het effect van deze weerdverlagingen op het sedimenttransport. In de Gemeenschappelijke Maas is het effect heel beperkt omdat door het grove bodemmateriaal sedimenttransport voornamelijk optreedt bij hoge afvoeren waarbij de uiterwaarden al meestroomden voor de verlaging. Benedenstrooms van de Gemeenschappelijke Maas is het sediment veel fijner en is het effect groter. Echter, het effect is te beperkt bij 1 á 2 m verlaging om een significante reductie van het sedimenttransport te bereiken. Een grotere verlaging over de hele lengte van de Maas achten we niet maakbaar vanwege te hoge kosten.



Figuur 39: Sedimenttransport met 1 en 2 m weerdverlaging langs de gehele Maas.

5.1.6 Aanleggen bufferlaag erosiekuilentraject

Doel

Beperken kans op plotselinge erosie in erosiekuilen traject.

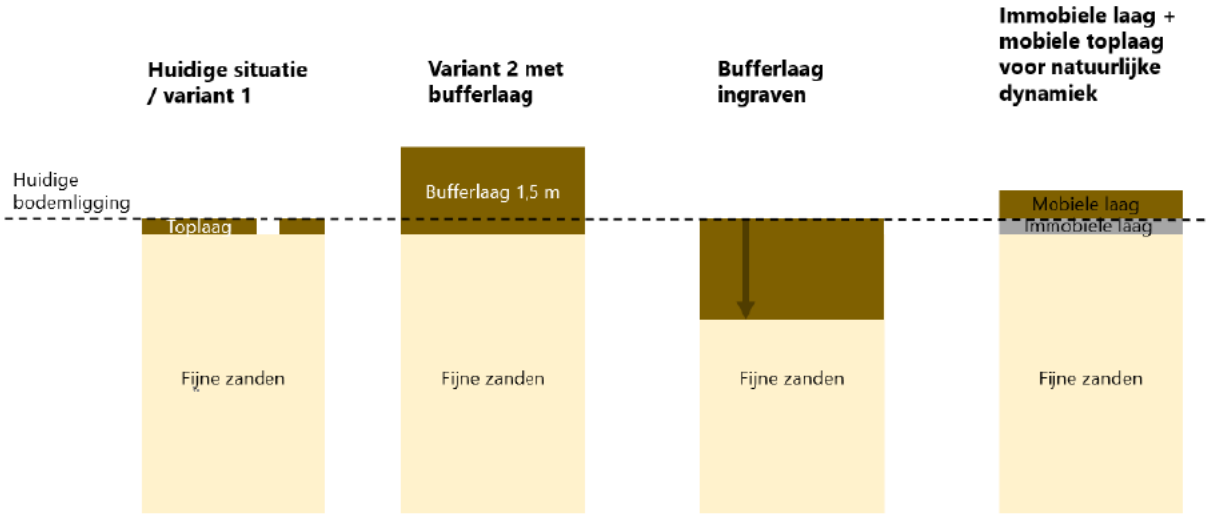
Werking

De toplaag in het erosiekuilentraject is te dun waardoor bij hoge afvoeren het fijne zand onder deze toplaag in beweging kan komen en er erosiekuilen ontstaan. Er zijn diverse mogelijkheden om het risico op het ontstaan van erosiekuilen te minimaliseren (Figuur 40). Door een bufferlaag van 1,5 m dik aan te leggen worden de fijn-zandige onderlagen beschermd tijdens hoge afvoeren. Deze bufferlaag kan worden aangelegd op de huidige bodem (variant 2) of kan (deels) in de bodem worden aangelegd en daarbij de fijne zanden vervangen. De bodem wordt dan eerst afgegraven om dan met grover, maar wel mobiel materiaal te worden opgevuld. Door gebruik te maken van sediment met dezelfde karakteristieken als de huidige toplaag (grof grind, zie Figuur 8), heeft dit

beperkt effect op het sedimenttransport (zie paragraaf 5.1.1). In variant 2 is uitgegaan van 1,5 m bufferlaag. Deze kan dunner worden uitgevoerd wanneer het onderste deel van de laag bestaat uit grof sediment (een soort immobiele, vaste laag) met daarbovenop een mobiele transportlaag. De grove laag beperkt duingroei en erosie en beschermt daarmee de fijne ondergrond.

Benodigde grootte

De bufferlaag kan dus op diverse manieren worden uitgevoerd. Uitgaande van een bufferlaag van 1,5 m dik moet 1,9 miljoen m^3 aan sediment worden ingebracht tussen rkm 28 en 42. Door een deel van deze laag te vervangen door een immobiele laag kan het benodigde volume sediment worden verkleind. Het enkel in steen uitvoeren van de bufferlaag zonder mobiele toplaag is niet gewenst omdat dit de (gewenste) natuurlijke morfodynamiek uit het systeem haalt.



Figuur 40: Oplossingsstrategieën voor het erosiekuilentraject.

5.2 Impactanalyse functies

Voor elk type maatregel beschouwen we de impact op de functies. Hierbij hanteren we dezelfde criteria als voor de varianten van de rivierbodemligging. We kijken enkel naar het effect van de maatregel zelf, niet de eventueel hogere bodemligging die de maatregel veroorzaakt (bijv. bij de maatregel bufferlaag). De resultaten van deze impactanalyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 41.

Maatregelen

Maatregeltype	Sediment-suppleties en baggeren zonder terugstorten	Sediment-suppleties en baggeren met terugstorten	Opvullen erosiekuilen	Zomerbed-verbreding	Weerd-verlaging	Bufferlaag, volledig mobiel	Bufferlaag, deels mobiel, deels immobiel
Veilige afvoer	0	0	0	++	+	0	0
Hoogwaterstanden	0	0	0	++	+	0	0
Stabiliteit primaire keringen	0	0	0	0	0	0	++
Bevaarbaarheid	0	0	0	0	0	0	0
Bevaarbare diepte	0	0	0	- GtM 0	0	0	0
Bevaarbare breedte	0	0	0	+ GtM +	0	0	0
Robuuste natuur	0	0	0	-	+	0	0
Inundatiefrequenties	0	0	0	- GM -	++	0	0
Grondwaterstanden	0	0	0	- GM 0	+	0	0
Substraat zomerbed	+	+	0	- GM 0	0	+	+
Substraat winterbed	0	0	0	- GM -	++	0	0
Stroomsnelheid	0	0	0	- GM -	0	0	0
Connectiviteit geulen en beken	0	0	0	- GM 0	0	0	0
Zoetwater-beschikbaarheid	0	0	0	-	0	0	0
Maasafvoer zomer	0	0	0	0 GM 0	0	0	0
Grondwaterstanden (mediaan)	0	0	0	- GM 0	0	0	0

Figuur 41: Impactanalyse van de potentieel effectieve maatregelen op de functies. Soms is de score onderscheidend op trajecten: GM = Gemeenschappelijke Maas en GtM = Getijdenmaas. Indien er geen traject is aangeduid, betekent dit dat dit geldt voor de hele (of de rest van) de Maas. Er wordt gescoord relatief t.o.v. het niet nemen van maatregelen op een schaal van '++' tot '--'.

Sedimentsuppleties en baggeren (extern materiaal of hergebruik sediment)

Sedimentsuppleties en baggeren, sec gericht op het handhaven van een bepaalde rivierbodemligging, hebben nagenoeg geen impact op de functies (0). Suppleties dragen in potentie wel bij aan een verbetering van het substraat van het zomerbed. Telkens wanneer er gesuppleerd wordt, is er weer vers sediment (grind of zand) en wordt de verslibde bodem ververst (+). Dit is met name voor de Gemeenschappelijke Maas van belang.

Opvullen erosiekuilen

Het opvullen van erosiekuilen heeft geen impact op de functies (0) anders dan het effect van het weer terug op niveau brengen van de bodem.

Zomerbedverbreding

Een zomerbedverbreding zorgt voor significante verlagingen van hoogwaterstanden (++). Dit laten de gerealiseerde waterstandsdalingen in het Grensmaasproject of de Vlaamse rivierverruimingen goed zien. Bij forse zomerbedverbredingen (orde 100 m en meer), zoals berekend in paragraaf 5.1.4, dalen de hoogwaterstanden met wel meer dan 1 m.

Een zomerbedverbreding zorgt voor een breder vaarprofiel (+). In de vrij afstromende Getijdenmaas zorgt de verbreding echter ook voor een afname van de waterstanden en waterdieptes bij lage en mediane afvoeren (-).

Op natuur hebben (forse) zomerbedverbredingen over het algemeen een negatief effect, voornamelijk op de vrij afstromende Gemeenschappelijke Maas: 1) Inundatiefrequenties van weerden

nemen af, 2) grondwaterstanden in vrij afstromende delen nemen af, 3) de stroomsnelheden nemen af (ook omdat de rivier langer gestuwd moet blijven om de waterstand op peil te houden) en 4) de verslibbing neemt toe waarmee de kwaliteit van het substraat in zomerbed en winterbed afneemt. Dit geeft veel scores (-).

Weerdverlagingen

In tegenstelling tot zomerbedverbredingen hebben weerdverlagingen doorgaans wel een positief effect op de natuur (+). Ze zorgen voor een significante toename van de inundatiefrequenties in de verlaagde delen (++), waarin ook betere uitwisseling van sediment tussen zomer- en winterbed kan plaatsvinden (++). Grondwaterstandgevoelige ecotopen in de verlaagde weerden profiteren ervan dat het maaiveld dichter bij het grondwater komt (+). De grondwaterstand zelf gaat niet op hoog. Op andere criteria is het effect beperkt (0).

Daarnaast zorgen weerdverlagingen voor verlagingen van hoogwaterstanden (+), al is het niet zo effectief als een zomerbedverbreding.

Bufferlaag: volledig mobiele, eenmalige bodemverhoging

Het verhogen van de bodem bij erosiegevoelige lagen is voor een verhoging op de Gemeenschappelijke Maas al beoordeeld bij variant 2 (paragraaf 4.4.4). De eenmalige suppletie kan mogelijk een positief effect hebben op het substraat van het zomerbed (+). Verder heeft de maatregel (los van het effect van de bodemverhoging) geen effect op de functies (0).

Bufferlaag met een immobiele onderlaag en een mobiele toplaag

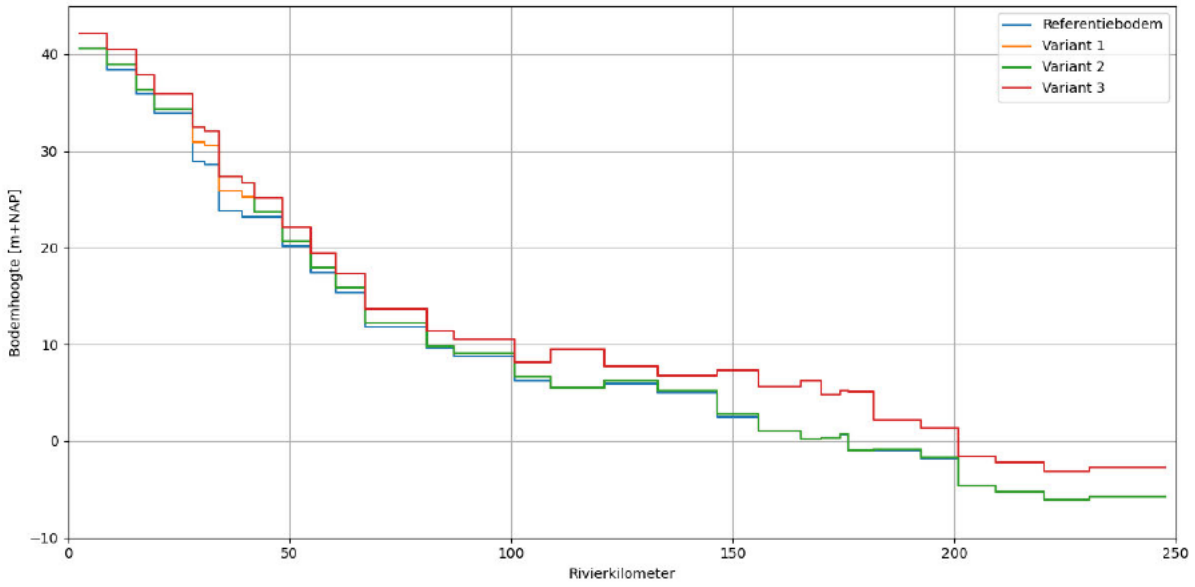
Het vervangen van de toplaag heeft nauwelijks effect op de functies (0). De immobiele onderlaag verkleint het risico op het ontstaan van erosiekuilen sterk, waardoor het risico op instabiliteit van primaire keringen sterk afneemt (++). Verder kan de mobiele toplaag een positief effect hebben op het substraat van het zomerbed (+).

6 Synthese & discussie

6.1 Varianten en maatregelen

In Hoofdstukken 4 en 5 hebben we los van elkaar mogelijke varianten van de rivierbodemligging en het effect van maatregelen geanalyseerd. Deze konden los worden beschouwd omdat de hoogteligging van de bodem maar een zeer beperkte invloed bleek te hebben op het sedimenttransport. Dit komt omdat het sediment in de Maas pas bij hoge afvoeren in beweging komt (jaargemiddeld ca. 40 á 45 dagen per jaar) en pas bij nog hogere afvoeren substantiële morfologische veranderingen bewerkstelligt. Bij deze afvoer stromen de weerden/uiterwaarden al mee. Een bodemverhoging heeft daardoor weinig effect op de stroomsnelheden en het sedimenttransport.

We hebben drie varianten voor de bodemligging onderzocht (Figuur 42). Een belangrijke conclusie is dat een oplossing voor het erosiekuilentraject in de Gemeenschappelijke Maas nodig is om een stabiele en beheerbare bodem te realiseren. We hebben hier twee uitersten in verkend: het handhaven van de huidige bodem waarbij erosiekuilen dus telkens moeten worden opgevuld (variant 1) en het verhogen van de bodem met 1,5 m om de kans van het ontstaan van erosiekuilen te minimaleren (variant 2). Variant 1 is alsnog als niet beheerbaar beoordeeld omdat telkens wanneer erosiekuilen ontstaan er herstel nodig is, waarbij niet voorspeld kan worden wanneer dit nodig is. Variant 2 zorgt voor een verhoging van de hoogwaterstanden in het traject met verhoogde bodem, wat negatief is voor de functie 'veilige afvoer'. Het is mogelijk om ergens tussen deze uitersten (variant 1 en variant 2) in bodemhoogte uit te komen door eerst te vergraven (onderlaag en het fijne zand) en vervolgens een toplaag van voldoende dikte aan te brengen. Daarbij kan er ook worden gekozen voor een opbouw met een meer immobiele onderlaag (soort vaste laag) waarboven een transportlaag van grof maar mobiel sediment. Daarmee blijft sedimenttransport door de sectie met deze bodemopbouw gewaarborgd en daarmee de connectiviteit van sedimenttransport op de Maas. Variant 3 ten behoeve van nattere weerden achten we niet maakbaar gegeven de benodigde volumes om de hogere bodemligging te realiseren.



Figuur 42: Onderzochte varianten voor de rivierbodemligging van de Maas

Een hogere of lagere bodemligging in de rest van de Maas kan niet worden bereikt zonder een negatieve impact op één of meerdere functies. Een hogere bodemligging heeft doorgaans een negatieve impact op de functies 'veilige afvoer' en 'bevaarbaarheid', terwijl een lagere bodemligging niet past binnen de beleidskeuze 'rivierbodemligging en sedimenthuishouding' en negatieve effecten heeft voor natuur. Een optimale variant welke alle functies goed kan bedienen, kan hierdoor niet geformuleerd worden.

Grootschalige verruiming in de vorm van zomerbedverbredingen (of weerdverlagingen, nevengeulen, etc.) om het sedimenttransport significant en daarmee in omvang betekenisvol te verminderen en de beheerinspanning te verkleinen, lijkt niet haalbaar gezien de benodigde grote omvang van de maatregelen.

6.2 Ruimtelijke schaal en detailniveau

In deze studie is een ruimtelijke schaal in de orde van kilometers gehanteerd. Dit geeft ook het detailniveau van deze studie aan. Het geeft richting aan de keuzes die gemaakt kunnen worden t.a.v. het beleidsdoel rivierbodemligging en sedimenthuishouding. Ook voor langjarig beheer om de bodem stabiel te houden, is dit een geschikte ruimtelijke schaal. Op het moment dat grootschalige erosie gesignaleerd wordt (de bodem zakt door de onderkant van de bandbreedte) kan worden teruggevallen op gedetailleerdere bodemhoogtekaarten (kilometerschaal of fijner) om het daadwerkelijke beheer vorm te geven.

Voor Rijkswaterstaat als rivierbeheerder is gedetailleerdere informatie en een fijnere ruimtelijke schaal nodig om al het beheer van de rivierbodem te kunnen uitvoeren. Hele lokale verhogingen in de rivierbodem kunnen namelijk al hinder voor de scheepvaart betekenen en erosie langs de oever kan voor instabiliteit van de oever zorgen.

De te kiezen basisrivierbodemligging kan mogelijk aangescherpt worden door enkel naar het deel van het zomerbed te kijken waar er jaarlijks gepeild kan worden. Binnen het in deze studie gedefinieerde zomerbed komen niet jaarlijks nieuwe peilingen beschikbaar, met name rondom grindbanken en in de oeverzone. Door variaties in de dekking van peilingen kunnen artificiële hogere en lagere bodemliggingen worden berekend. Het stapelen van peilingen, waarmee ontbrekende delen in een peiling worden ingevuld met historische gegevens, helpt om een deel van deze artificiële verschillen weg te nemen. Toch blijft het onwenselijk om keuzes te baseren op peilingen met een incomplete dekking van het zomerbed.

Het nauwkeuriger in kaart brengen van de ondergrond op de Gemeenschappelijke Maas, maar ook de Zandmaas (Peelhorst), is noodzakelijk om de oplossingsrichting goed te kunnen onderbouwen. Mogelijk is niet overal 1,5 m verhoging nodig. Ook kan afhankelijk van eventuele knelpunten op de ene locatie gekozen worden voor een hogere bodem (daar waar je ook grondwaterstanden wil opstuwen en beperkt last hebt van hogere hoogwaterstanden) en op de andere locatie juist voor het vervangen van de toplaag.

6.3 Volgordelijkheid maatregelen en monitoring

De problematiek rondom het erosiekuilentraject is het meest acuut en een oplossing daarvoor is dus ook het meest dringend. Bij elk hoogwater kunnen er momenteel in de Gemeenschappelijke Maas nieuwe erosiekuilen ontstaan die kabels en leidingen kunnen blootleggen en keringen, oevers

en andere kunstwerken kunnen destabiliseren. Het ligt daarmee voor de hand om hier eerst aan de slag te gaan. Daarbij is het belangrijk de meest kritische locaties, daar waar de risicolocaties voor kabels en leidingen, oevers, kunstwerken en keringen zijn, in kaart te brengen en daar te beginnen met de maatregelen.

Ook in de rest van de Gemeenschappelijke Maas verwachten we dat erosie blijft optreden zolang er onvoldoende toevoer van sediment vanuit België komt. Het is relevant om met Wallonië te verkennen of deze toevoer vergroot kan worden. Voor een stabiele rivierbodemligging dient het sedimenttekort anders volledig in Nederland te worden aangevuld met suppleties. Hiervoor is het verstandig aan bovenstroomse zijde te beginnen: op het traject Borgharen-Nattenhoven. Hier is momenteel ook het grootste sedimenttekort. Dit sediment gaat zich langzaam verspreiden. Met monitoring moet de ontwikkeling in de gaten worden gehouden en lessen worden getrokken voor toekomstige suppleties. Gezien de lange tijdschalen moet worden overwogen om meerdere suppleties op verschillende locaties langs de Gemeenschappelijke Maas uit te voeren om erosie effectief te mitigeren.

In de rest van de Maas is het stoppen van het netto onttrekken van sediment en terugstorten na baggerwerkzaamheden een voor de hand liggende maatregel. Dit verkleint het sedimenttekort. Daarnaast is monitoring van de rivierbodemligging vooralsnog voldoende. Grootschalige erosie is minder waarschijnlijk dan in de Gemeenschappelijke Maas. En als het optreedt, zijn de problemen naar verwachting minder groot dan in de Gemeenschappelijke Maas. Met meerdere jaren monitoring kan ook betrouwbaarder worden vastgesteld hoe groot de erosieve trend is, zeker als met netto onttrekken van gebaggerd materiaal wordt gestopt. De tijdreeks waarop de trend nu is vastgesteld (vanaf 1995, maar eigenlijk pas van 2011 betrouwbaar) is, gezien het tempo waarmee de Maas zich aanpast aan ingrepen in het verleden, nog heel kort.

6.4 Vervanging & Renovatie stuwen Maas

De stuwen in de Maas zijn bijna 100 jaar geleden aangelegd en momenteel loopt de studie naar de vervanging of renovatie daarvan. Het aantal stuwen zal daarbij niet veranderen en ook de locatie blijft hetzelfde. In dat kader is in Van der Deijl et al. (2025) het effect van de huidige stuwen op de morfologie onderzocht en wat dat eventueel voor nieuwe stuwen betekent. Het onderzoek gaf aan dat het directe effect van de stuwconstructie (bv de drempelhoogte en -vorm) op de sedimentconnectiviteit gering is, maar het stuwkromme-effect vooral bepaalt hoeveel sediment bij de stuwen aankomt en wordt doorgevoerd. Het meeste effect op de sedimenttransporten en de rivierbodemligging is dus te verwachten van de stuwsturing. Wij denken daarbij wel dat het wel degelijk een voordeel heeft als de nieuwe stuwconstructie onderafvoer heeft (schuiven) in plaats van bovenafvoer (kleppen). Het sediment zal dan makkelijker de stuw kunnen passeren bij wat lagere hoogwaterafvoeren. Voor het bodembeheer is wat ons betreft bij de keuze van vervanging of renovatie vooral het stuwbeheer (eerder strijken verhoogt de connectiviteit) en onder- of bovenafvoer (onderafvoer gunstiger) van belang.

6.5 Natuurdoelstellingen Gemeenschappelijke Maas

De belangrijkste (realistisch te behalen) winst op natuurdoelstellingen is op de Gemeenschappelijke Maas. De rivierbodemligging in de Gemeenschappelijke Maas is slechts één onderdeel van een grote set aan mogelijkheden om de natuurdoelstellingen in de Gemeenschappelijke Maas te bereiken. De rivierbodemligging kan daar wel een belangrijke rol in spelen. Het opheffen van de

grinddrempels, na een forse verhoging van de bodem, verbetert het stromend habitat (Vriese et al., 2021). Om alle natuurdoelstellingen te bereiken, is een aanpassing van alleen de rivierbodemligging echter onvoldoende. Bijvoorbeeld hydropeaking, waarbij in korte tijd de afvoer, stroomsnelheid en waterdiepte sterk toeneemt, verstoort de natuur in de Gemeenschappelijke Maas sterk (Van Denderen, 2024).

Het behalen van de natuurdoelstellingen voor de Gemeenschappelijke Maas vraagt daarom om een bredere oplossingsrichting. Hieraan wordt gewerkt binnen de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW), waarin de Gemeenschappelijke Maas één van de belangrijke hotspots is.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het stoppen van de bodemerosie van de Maas en Rijn is een urgente opgave voor het programma Ruimte voor de Rivier 2.0. Om dit te realiseren, moet eerst vastgelegd worden welke rivierbodemligging behouden moet worden. Met dit rapport is inzicht verkregen in varianten voor de rivierbodemligging om een beleidskeuze 'bodemligging en sedimenthuishouding' te maken voor de zomerbedligging van de rivier de Maas.

De Maas komt jaargemiddeld ca. 100.000 m^3 sediment tekort voor een stabiele bodemligging. We verwachten voor de komende 50 jaar dat met name de Gemeenschappelijke Maas verder insnijdt als er niet wordt ingegrepen. Ook de Maastrajecten verder benedenstrooms zullen (op den duur) gaan dalen, waardoor de bodem gemiddeld over 50 jaar 15 tot 50 cm lager ligt. Daarbovenop komt dat in de Gemeenschappelijke Maas nieuwe, diepe erosiekuilen kunnen ontstaan die een risico vormen voor de stabiliteit van waterkeringen en infrastructuur. Deze bodemligging over 50 jaar, de referentiebodemligging, beoordelen we negatief ten aanzien van het doelen binnen de beleidskeuze, 'bodemligging en sedimenthuishouding' en heeft ook negatieve effecten op de functies van de rivier.

In variant 1 wordt de huidige bodemligging gehandhaafd door sedimenttekorten aan te vullen. Dit geeft een verbetering ten opzichte van de referentiebodemligging voor de functies van de rivier en geeft (door het aanvullen van de sedimenttekorten) een stabiele bodemligging. We achten deze bodemligging echter niet beheerbaar, omdat er nog steeds diepe erosiekuilen kunnen ontstaan. Een aanvullende maatregel is hiervoor nodig, bijv. het afgraven van fijne zanden en vervangen door grover sediment of het aanbrengen van een immobiele laag met daarboven op een mobiele laag om natuurlijke morfodynamiek te waarborgen. Het alternatief is een bodemophoging op het erosiekuilentraject met 1,5 m grind, welke is onderzocht in variant 2. Dit minimaliseert het risico op het ontstaan van erosiekuilen. Deze bodemophoging resulteert in hogere hoogwaterstanden (negatief effect t.a.v. de functie 'veilige afvoer'), maar heeft positieve effecten op de natuur in de Gemeenschappelijke Maas. In beide varianten zijn sedimentsuppleties belangrijk zolang er zeer beperkt sediment uit België wordt aangevoerd. Het stoppen met onttrekken van gebaggerd sediment bij onderhoudswerkzaamheden, en deze dus terugstorten in de rivier, is hierbij ook een zeer kansrijke maatregel. Een optimale variant welke alle functies van de rivier goed bedient, is niet mogelijk gebleken te formuleren. Vanuit natuurdoelstellingen, bijvoorbeeld voor nattere weerden zoals onderzocht in variant 3, is het nodig de bodem te verhogen. Dit heeft echter direct negatieve effecten voor de functies 'veilige afvoer' en 'bevaarbaarheid'.

7.2 Aanbevelingen

In het synthese- en discussiehoofdstuk hebben we diverse onderwerpen besproken waarvan we aanbevelen deze verder uit te werken. Onze belangrijkste aanbevelingen zijn:

- Het gedetailleerd in kaart brengen van de ondergrond van de Maas. Voor de Gemeenschappelijke Maas is het belangrijk om preciezer vast te stellen waar fijne zanden dicht onder de rivierbodem aanwezig zijn. Dit is nodig om maatregelen (locaties en dimensionering) precies te kunnen ontwerpen, om het uiteindelijke risico op erosiekuilen zo ver mogelijk te minimaliseren tegen zo min mogelijke kosten. Voor de Zandmaas (Peelhorst) moet bepaald

worden hoe groot het risico op het ontstaan van erosiekuilen is, door inzicht te krijgen in waar de fijne zanden zich precies bevinden en hoe groot het risico is dat de toplaag volledig weg erodeert bij een hoogwater. Voor de rest van de Maas vermoeden we dat de fijnzand-problematiek beperkt is, maar zou een QuickScan nog meer zekerheid bieden.

- De functie natuur gaat er in veel varianten niet op vooruit ten opzichte van de huidige en referentiesituatie, waarbij deze al slecht scoort. De variant voor nattere weerden (variant 3) die in dit rapport is gepresenteerd is niet maakbaar en heeft grote negatieve effecten voor de functies veilige afvoer en bevaarbaarheid. Om de natuur beter te kunnen bedienen, is het eerst belangrijk de doelen voor natuur scherper te formuleren, zodat bij het definieren van een toekomstige bodemligging en bij toekomstige maatregelen (bijv. weerdverlaging), de natuurdoelstelling expliciet meegenomen kunnen worden.
- We bevelen aan om de huidige frequentie van monitoring met een jaarlijks volledig dekkende peiling voor de Maas ten minste voort te zetten. We beschikken nu over 10 á 15 jaar aan consistente peilingen, waardoor schattingen van sedimenttransport en morfologische ontwikkelingen onzeker zijn. Waar voor de Gemeenschappelijke Maas wel zeker is dat maatregelen (in de vorm van suppleties) nodig zijn om de bodem te handhaven, is het voor de rest van de Maas mogelijk voldoende om te stoppen met het onttrekken van sediment bij onderhoudsbaggerwerkzaamheden. Dit moet blijken uit monitoring. Het goed bijhouden van baggervolumes, samenstelling van het gebaggerde sediment en duiding geven aan deze werkzaamheden is hierbij ook belangrijk.

Referenties

Asselman N, Barneveld H, Klijn F, Van Winden A, 2019.
Het Verhaal van de Maas. De Maas uit balans? Platform Rivierkennis, Rijkswaterstaat.

Asselman NEM, Mens MJP, Maarse MJ, Maas BF, De Grave P, Van der Deijl E, 2022.
Effectbepaling nulalternatief IRM. Deltares: 11208036-004-ZWS-0002.

Bakker M, Pfeijffer C, De Jong W, 2025.
Noodzaak instandhouding zomerbedverdiepingen. CONCEPT. Haskoning: BK6191-RHD-XX-XX-RP-X-0001.

Barneveld H, Boersema M, Schuurman F, De Vriend H, 2020.
Het Verhaal van het Sediment. Platform Rivierkennis, Rijkswaterstaat.

Barneveld HJ, Frings RM, Mosselman E, et al., 2025a.
Extreme river flood exposes latent erosion risk. Nature 655, 391-397.

Barneveld HJ, Frings RM, Melsen L, Hoitink AJF, 2025b.
Hungry Rivers - Insights From a Sediment Budget. Earth Surface Processes and Landforms 50, 14. DOI: 10.1002/esp.70196.

Blom A, 2008
Different approaches to handling vertical and streamwise sorting in modeling river morphodynamics. Water Resources Research 44 (3).

Buijse T, Geerling G, Chrzanowski C, Dorenbosch M, Peters B, 2019
Natuurvriendelijke oevers langs de Maas: toestand en trend na 10 jaar ontwikkeling. Deltares: 11201679-000

Czapiga MJ, Blom A, Viparelli E, 2022.
Sediment Nourishments to Mitigate Channel Bed Incision in Engineered Rivers. Journal of Hydraulic Engineering 148, 6.

Daggenvoorde R, Pezij M, 2024.
Waterbeschikbaarheid Maas. HKV: PR5010.10.

De Jong J, Diermanse F, Agertsloot R, Geertsema T, 2022
Systeemwerking Maas en waterveiligheid; Onderzoek voor beleidstafel wateroverlast en hoogwater. Deltares: 11208036-012-ZWS-0003

Expertisenetwerk Waterveiligheid, 2021.
Hoogwater 2021: Feiten en Duiding. https://doi.org/10.4233/uuid:06b03772-ebe0-4949-9c4d-7c1593fb094e

Huthoff F, Ouwerkerk S, Daggenvoorde R, Wegman C, 2020
IRM QuickScan Afvoercapaciteit. HKV: PR4162.10

Kind J, 2022
Memo Eenheidskosten IRM. Met bijdragen van Gensen M, Barneveld H.

Ministerie Infrastructuur en Waterstaat (IenW), Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselkwaliteit en Natuur (LVVN), Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimte Ordening (VRO)
Programma Integraal Riviermanagement: Naar een toekomstbestendig rivierengebied.

Royal HaskoningDHV, 2023.
PlanMER Programma Integraal Riviermanagementorfologie. BH8949-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Sloff K, 2021.
Memo Prognose bodemligging Maas 2050 voor IRM. Deltares.

Sloff K, 2025.

Morfologie van grindsuppleties in de Gemeenschappelijke Maas. Deltares: 11211565-001-ZWS-0002.

Van Denderen P, 2024

Het afleiden van een methodiek om hydropieken op de Maas te bepalen en een effectbepaling van deze hydropieken in de Gemeenschappelijke Maas. HKV: PR4861.10.

Van den Berg K, 2021.

Hydrologische en hydraulische randvoorwaarden voor natuurontwikkeling en -behoud in uiterwaarden: methodiek ontwikkeling en toepassing op Gelderse Poort. Rijkswaterstaat WVL.

Van der Deijl E, Nunes de Alencar Osorio AL, Ottevanger W, Mosselman E, 2025.

Maasstuwen en morfologie. Deltares: 11211064-000-ZWS-0003.

Van Heereveld M, Van Denderen P, Gensen M, Boot L, De Mars H, Blokland M, Dijkstra M, Kanger W, 2022

Pilotsuppleties Gemeenschappelijke Maas: ontwerp, uitvoeringsplan & Monitoringsplan. Royal HaskoningDHV & HKV: BI2918WMRP2109201056

Venditti JG, Nelson PA, Bradley RW, Haught D, Gitta AB, 2017

Bedforms, structures, patches and sediment supply in gravel-bed rivers. Gravel-Bed Rivers: Process and Disasters (editors Tsutsumi D, Laronne JB). 439-466

Venditti JG, Bradley RW, 2022

Bedforms in sand bed riviers. Treatise on Geomorphology 6, 222-254.

Vriese FT, Hop J, De la Haye M, Van Kessel N, Claus M, Van Winden A, 2021.

Stromend habitat en connectiviteit in de Maas. ATKB: 20200920/rap01.

Witman K, Gensen M, Visser J, Romeijn S, 2024

Verkenning ecologische eisen stuwen Maas. TAUW, Bart Reeze water & ecologie, HKV lijn in water: R001-1292721XWT-V01-pws-NL.

Ylla Arbos C, Blom A, Schielen RMJ, Van Vuren S, Snoek Y, 2024.

How can floodplain lowering and sediment nourishments help mitigate channel bed incision? https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@269656/how-can-floodplain-lowering-and-sediment/

Zuijderwijk WM, Barneveld H, Schippers MMA, Wegman C, Paarlberg A, 2020.

QuickScan Rivierbodemligging ten behoeve van Integraal Riviermanagement. Witteveen+Bos en HKV: 116217/20-003.323. *Rapport niet vrijgegeven*.

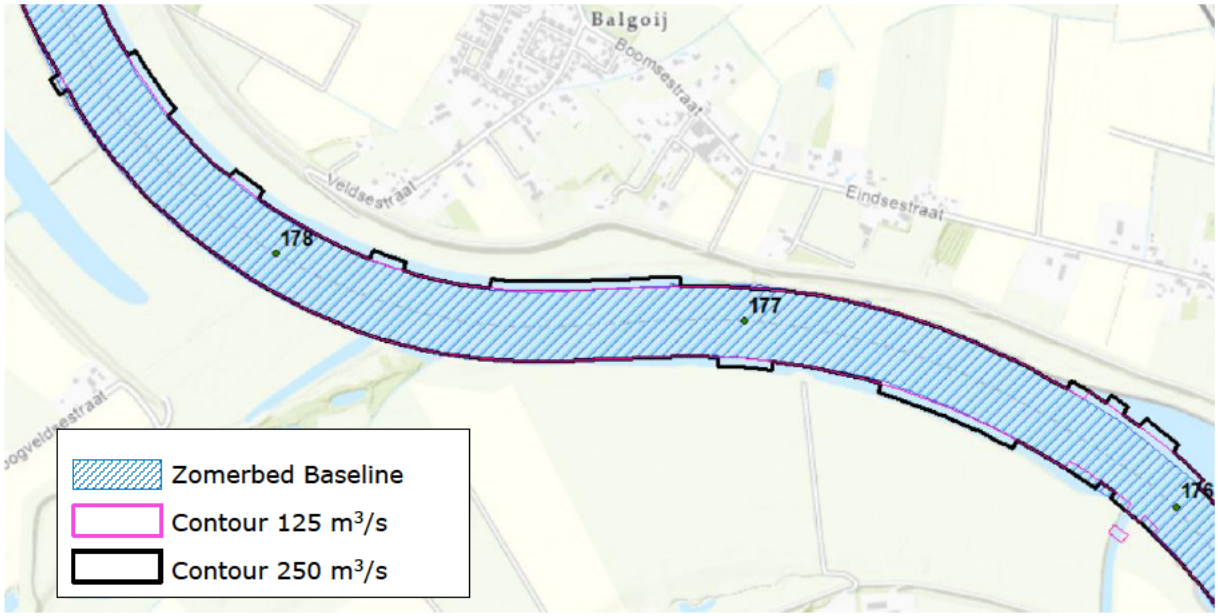
A Ruimtelijke begrenzingen

A.1 Zomerbedbegrenzing

Het rivierbodembeleid van het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 richt zich op de rivierbodemligging van het zomerbed: de rivierbedding tot de oevers. De weerden en nevengeulen horen er niet bij. De keuze die we maken moet in lijn zijn met hoe het straks beheerd wordt: we willen bodemerosie stoppen. Om daarop te focussen is het belangrijk een smalle begrenzing van het zomerbed te hanteren.

Voor de gehele Maas wordt de zomerbedbegrenzing afkomstig uit Baseline (NL j24) gehanteerd. Het zomerbed ('section 1' in Baseline) is gedefinieerd als het deel van de rivier dat onder normale condities altijd onder water staat. De huidige begrenzing in Baseline wordt al langjarig gehanteerd in Baseline en resulterende modellen met slechts enkele aanpassingen waar zomerbedverbredingen zijn geweest. Bewust wordt deze begrenzing zo min mogelijk aangepast[8]. De begrenzing in Baseline is vooral ten behoeve van modellen gedefinieerd en is niet (per definitie) consistent met het daadwerkelijke zomerbed. Om pragmatische redenen wordt wel vastgehouden aan de zomerbedbegrenzing van Baseline (zie argumentatie onder Figuur 43)

De begrenzing uit Baseline is gemaakt op basis van de oeverlijn uit het Digitaal Topografisch Bestand (DTB). De oeverlijn geeft de land-watergrens ten tijde van de gehanteerde luchtopname. In de gestuwde Maas geeft dit een vloeiende lijn met vrij constante breedte (Figuur 43). Bij kribben is de lijn aangepast naar de kribkoppen.

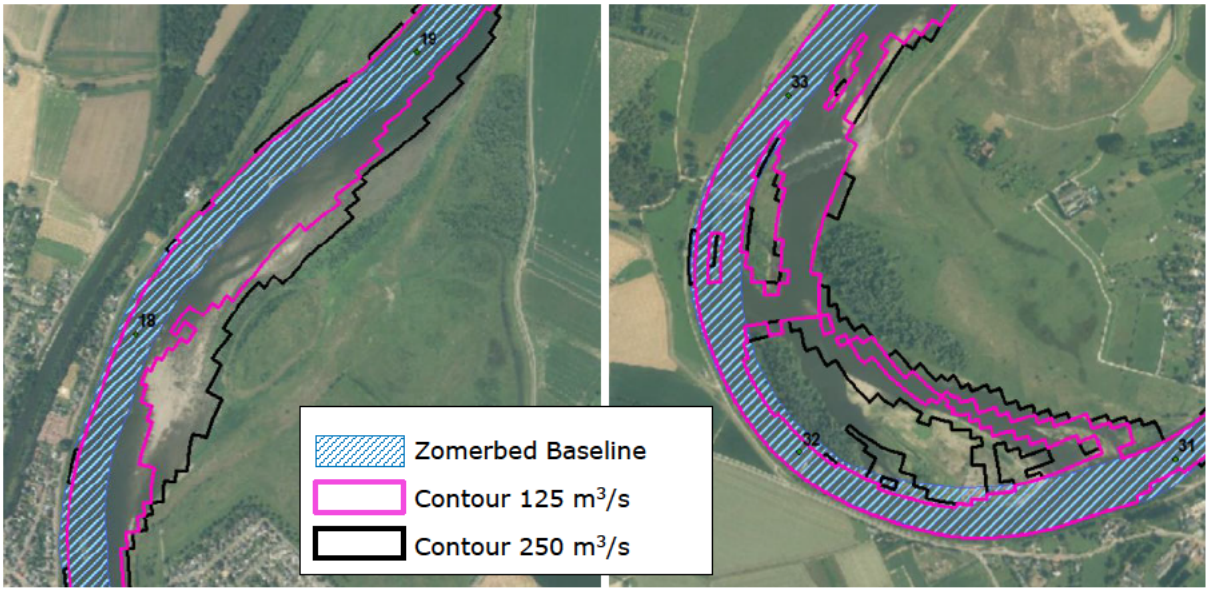


Figuur 43: Voorbeeld zomerbedbegrenzing in de gestuwde Maas.

Voor de Gemeenschappelijke Maas is de breedte van de hoofdgeul, en daarmee de oeverlijnen en de begrenzing van het zomerbed, gebaseerd op een SOBEK-berekening met een afvoer van 500

[8] Persoonlijke communicatie Martin Scholten, 7 augustus 2025.

m³/s. Dit is waarschijnlijk van een situatie van voor de Maaswerken. Huidige inundatiekaarten bij 125 en 250 m³/s laten een breder inundatiepatroon zien. We realiseren ons dat sedimentuitwisseling op de Gemeenschappelijke Maas tussen het zomerbed en de bedding in de oeverzone en weerden van wezenlijk belang is voor de morfologie van de Gemeenschappelijke Maas. Toch kiezen we er bewust niet voor de zomerbedbegrenzing aan te passen naar de inundatiekaarten van 125 of 250 m³/s. Dit omdat er dan 1) migrerende grindbanken buiten het zomerbed gaan vallen en er dus ook weer in kunnen migreren, zie Figuur 44 (links; roze lijn buigt om de grindbank heen, maar kan op een later moment van vorm veranderen en dus deels in het 'zomerbed' komen te liggen), 2) overstromingsvlaktes in binnenbochten die vrijelijk eroderen en sedimenteren juist binnen het zomerbed gaan vallen, zie Figuur 44 (rechts; deze vragen mogelijk een ander beheer dan het zomerbedbeheer), 3) er bijna nooit volledige dekking is in de bodempeilingen voor de volledige overstromingscountouren van 125 en 250 m³/s, 4) de breedte van het zomerbed dan zeer sterk varieert.



Figuur 44: Voorbeelden zomerbedbegrenzing in de Gemeenschappelijke Maas. Links: rond migrerende grindbank (nabij Borgharen). Rechts: overstromingsvlakte in de binnenbocht (nabij Meers).

A.2 Grenzen evaluatievakken

Naam evaluatievak	Rkm begin	Rkm eind	Traject-lengte [km]	Eindgrens gebaseerd op
Bovenmaas_1	2,48	8,68	6,20	Instroom Pieterplas
Bovenmaas_2	8,68	15,38	6,70	Stuw Borgharen
Gemeenschappelijke_Maas_1	15,38	19,38	4,00	Benedenstrooms van migrerende grind-banken
Gemeenschappelijke_Maas_2	19,38	28,02	8,64	Begin bocht van Kotem
Gemeenschappelijke_Maas_3	28,02	30,78	2,76	Einde bocht van Kotem
Gemeenschappelijke_Maas_4	30,78	34,10	3,32	Einde bocht van Meers
Gemeenschappelijke_Maas_5	34,10	39,20	5,10	Einde erosiekuilentraject 2021
Gemeenschappelijke_Maas_6	39,20	42,00	2,80	Einde fijne zanden in ondergrond
Gemeenschappelijke_Maas_7	42,00	48,40	6,40	Einde verruiming Koeweide
Gemeenschappelijke_Maas_8	48,40	54,66	6,26	O.b.v. erosie-sedimentatiekaart 2025-2011
Gemeenschappelijke_Maas_9	54,66	60,40	5,74	O.b.v. erosie-sedimentatiekaart 2025-2011
Gemeenschappelijke_Maas_10	60,40	68,22N	7,82	Stuw Linne
Plassenmaas_1	68,22N	80,92	12,70	Stuw Roermond
Plassenmaas_2	80,92	87,00	6,08	Einde traject Plassenmaas
Zandmaas_1	87,00	100,80	13,80	Stuw Belfeld
Zandmaas_2	100,80	109,00	8,20	Start zomerbedverdieping
Zandmaas_3	109,00	121,00	12,00	Eind zomerbedverdieping
Zandmaas_4	121,00	133,12	12,12	Eind Ooijen-Wanssum
Zandmaas_5	133,12	146,56	13,44	Stuw Sambeek
Zandmaas_6	146,56	155,70	9,14	Begin zomerbedverdieping
Zandmaas_7	155,70	165,38	9,68	Eind zomerbedverdieping, einde traject Zandmaas
Bedijkte_Maas_1	165,38	170,00	4,62	Einde diepe deel zomerbedverdieping 2012
Bedijkte_Maas_2	170,00	174,20	4,20	Einde zomerbedverdieping 1996
Bedijkte_Maas_3	174,20	176,10	1,90	Begin zomerbedverdieping 2007
Bedijkte_Maas_4	176,10	181,70	5,60	Einde zomerbedverdieping 2007
Bedijkte_Maas_5	181,70	192,38	10,68	Uitstroom Gouden Ham; overgang naar traject met minder erosie
Bedijkte_Maas_6	192,38	200,86	8,48	Stuw Lith
Getijdenmaas_1	200,86	209,26	8,40	Instroom Alem
Getijdenmaas_2	209,26	220,32	11,06	Crèvecoeur
Getijdenmaas_3	220,32	230,54	10,22	Afgedamde Maas takt aan
Bergsche_Maas_1	230,54	247,50	16,96	Einde Bergsche Maas

B Referentiebodemligging

B.1 Definitie

De referentiebodemligging is de verwachte rivierbodemligging over 50 jaar (=evaluatietijdschaal) met het voortzetten van huidig beleid. Onder het huidig beleid scharen we:

- Onderhoudsbaggerwerkzaamheden, waarbij er niet teruggestort wordt
- Het onderhouden en dus op diepte houden van de zomerbedverdiepingen
- Het niet/ten dele opvullen van ontstane diepe erosiekuilen

B.2 Werkwijze

We maken een prognose van de referentiebodemligging in 2075 (50 jaar na 2025) gebaseerd op beschikbare literatuur en een aanvullende data-analyse. De meest recente prognose van toekomstige trends in de rivierbodemligging zijn gemaakt door Sloff (2021). Hierin is gebruik gemaakt van data tussen 1995 en 2017. Barneveld et al. (2025b) hebben gebruik gemaakt van de data tussen 2011 en 2019 voor het opstellen van een sedimentbalans. Om te kijken of morfologische ontwikkelingen in recente jaren (dus 2020 t/m 2025) een effect hebben gehad op historische trends en daarmee op de te kiezen referentiebodemligging voeren we een aanvullende data-analyse uit waarin we de peilingen van recente jaren meenemen. Uit deze aanvullende data-analyse en de informatie uit Barneveld et al. (2025b) kan blijken dat er reden is om af te wijken van de prognose van Sloff (2021). Op basis van expert judgement bepalen we een prognose voor de komende 50 jaar.

De resultaten zijn besproken in de projectbegeleidingsgroep waarna enkele aanpassingen zijn doorgevoerd in de referentiebodemligging. Dit document geeft de referentiebodemligging ná deze aanpassingen.

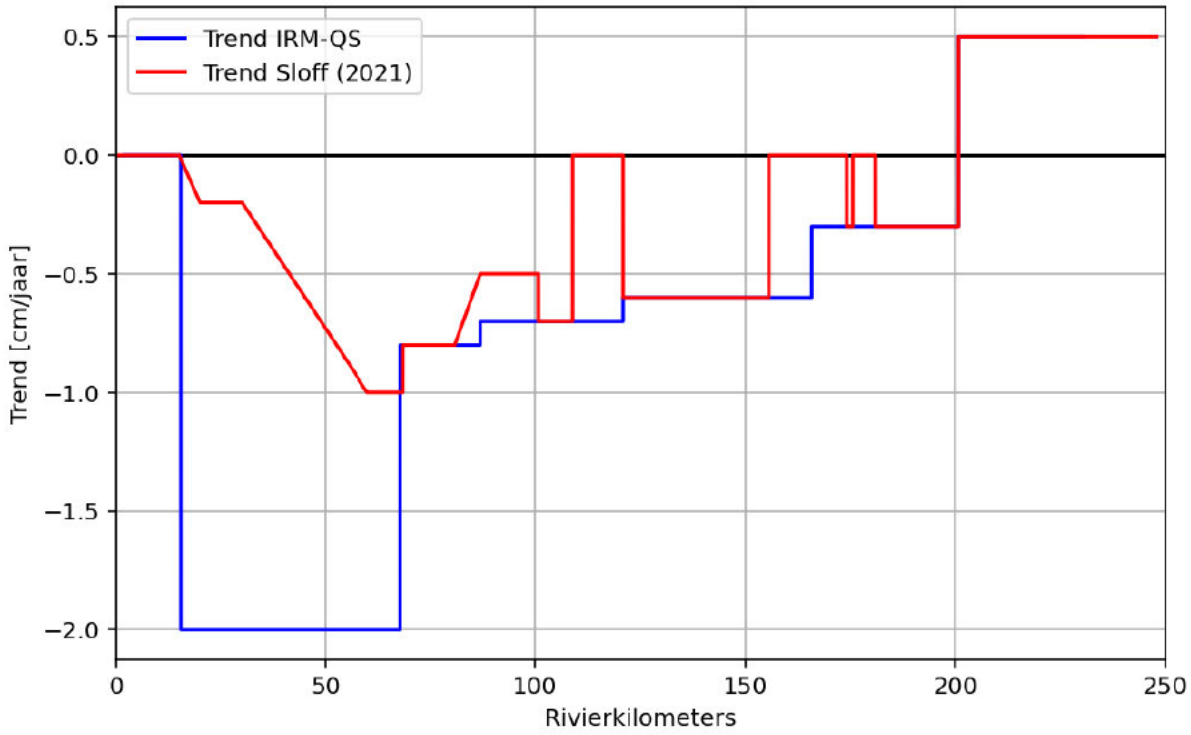
B.3 Eerdere prognoses toekomstige rivierbodem

In het kader van de QuickScan IRM heeft Ten Brinke (2019)[9] een trendanalyse uitgevoerd naar de bodem van de Maas. De Maas is hierbij opgedeeld in 7 trajecten[10]. Er is gekeken naar een lange tijdspanne (terug tot wel 1916) en een meer recente ontwikkeling (1995-2007). In de QS zijn de trends geëvalueerd door experts en omgezet naar een prognose van de gemiddelde trend tot 2050. De prognose is weergegeven in Figuur 45.

Sloff (2021) heeft vervolgens voor IRM een nieuwe prognose gemaakt van de Maasbodem voor het jaar 2050. Deze prognose werd gebaseerd op (kennis over) ontwikkelingen bij uitgevoerde werken/maatregelen, historische trends en kennis van riviermorfologie en de sedimentbalans. De trendanalyse is uitgevoerd voor de periodes 1995 – 2017 en 2011 – 2017. De door Sloff (2021)

[9] Ten Brinke W. (2019). Effecten morfologische ontwikkelingen op functies Rijn en Maas, Blueland Consultancy BV, Rapport B19.01, November 2019.
[10] Bovenmaas (5-15), Gemeenschappelijke Maas (15-69), Plassenmaas (69-87), Peelhorstmaas (87-121), Venlos-lenkmaas (121-155), Bedijkte Maas (164-200), Getijdenmaas (200-226).

vastgestelde trends zijn voornamelijk voor de Gemeenschappelijke Maas kleiner dan vastgesteld in de QS IRM, zie Figuur 45.



Figuur 45: Trend QuickScan IRM (Zuijderwijk et al., 2020) en trend Sloff (2021) tot 2050.

Door Sloff (2021) zijn de trends als volgt onderbouwd:

Traject	Trend (m/jaar)	Beschrijving
Km 0-15	0	Niet erodeerbare bodem
Km 15-20	0 tot -0,002	Overgang van vaste bodem naar geringe erosie, lineair
Km 20-30	-0,002	Aansluiting op bestorting bij brug A76, geringe erosie
Km 30-60	-0,002 tot -0,01	Toename erosie vanaf Meers naar Stevensweert, lineair. Minder sterk dan Quick Scan. Past beter bij trend 1995-2017.
Km 60-68,55	-0,01	Tot aan stuw Linne constant, gebaseerd op trend 1995-2017
Km 68.55-80.91	-0,008	Tussen stuw Linne en Roermond, constant en gelijk aan Quick Scan
Km 80.91-87	-0,008 tot -0,005	Vanaf stuw Roermond naar eind Plassenmaas afname erosietrend, naar aansluiting met trend in begin van Peelhorst-Zandmaas
Km 87-100,79	-0,005	Constant en gering tot aan stuw Belfeld, volgens recente trends, iets minder erosie dan Quick Scan
Km 100,79 - 109	-0,007	Constante erosie tot aan begin van zomerbedverdieping, gelijk aan Quick Scan
Km 109 - 121	0	In zomerbedverdieping, uitgaande van onderhoudsbaggeren
Km 121 – 155,7	-0,006	Constante erosie gelijk aan Quick Scan tussen de 2 zomerbedverdiepingen (en over stuw Sambeek heen)
Km 155,7 – 174,2	0	In zomerbedverdieping, uitgaande van onderhoudsbaggeren
Km 174,2 – 175,65	-0,003	Erosie over niet verdiept stukje net boven stuw Grave, conform Quick Scan
Km 175,65 - 181	0	In zomerbedverdieping, uitgaande van onderhoudsbaggeren
Km 181 – 200,87	-0,003	Erosie conform Quick Scan vanaf zomerbedverdieping tot aan stuw Lith
200,87 - 227	+0,005	Aanzanding benedenstrooms van stuw Lith

B.4 Data-analyse 2011 - 2025

Gebruikte data

We voeren een data-analyse naar de bodempeilingen uit waarbij we t.o.v. Sloff (2021) de jaren 2018 t/m 2025 meenemen. In deze jaren heeft het zomerhoogwater van 2021 plaatsgevonden en zijn er uitvoerige baggerwerkzaamheden geweest (Groot Onderhoud Vaarwegen 6b). Het toevoegen van deze recente jaren is dus relevant voor het vaststellen van historische trends en een referentiebodemligging. We gebruiken expliciet niet de peilingen uit de periode 1995-2010 omdat deze niet even betrouwbaar worden geacht als de peilingen vanaf 2011 (bron: Barneveld et al., 2025b). Tot 2004 werden de peilingen uitgevoerd met single-beam, waarin t.o.v. de multi-beampeilingen een onbekende bias aanwezig is. Ook bij de peilingen tussen 2004 en 2010 wordt getwijfeld over de nauwkeurigheid. Kortom, we beschouwen de peilingen tussen 2011 en 2025.

Methodiek

Het doel is te komen tot representatieve historische trends in de rivierbodemligging om een prognose te kunnen maken van de veranderingen in de rivierbodemligging van het zomerbed in de komende 50 jaar. We kunnen hierbij niet kijken naar het volledige zomerbed, zoals gedefinieerd in het Plan van Aanpak (Baseline-begrenzing), aangezien er geen constante dekking in de peilingen over de jaren is. Soms wordt een iets breder deel van het zomerbed bemeten, en soms iets smaller. Dit heeft vanzelfsprekend een effect op de berekende gemiddelde rivierbodemligging.

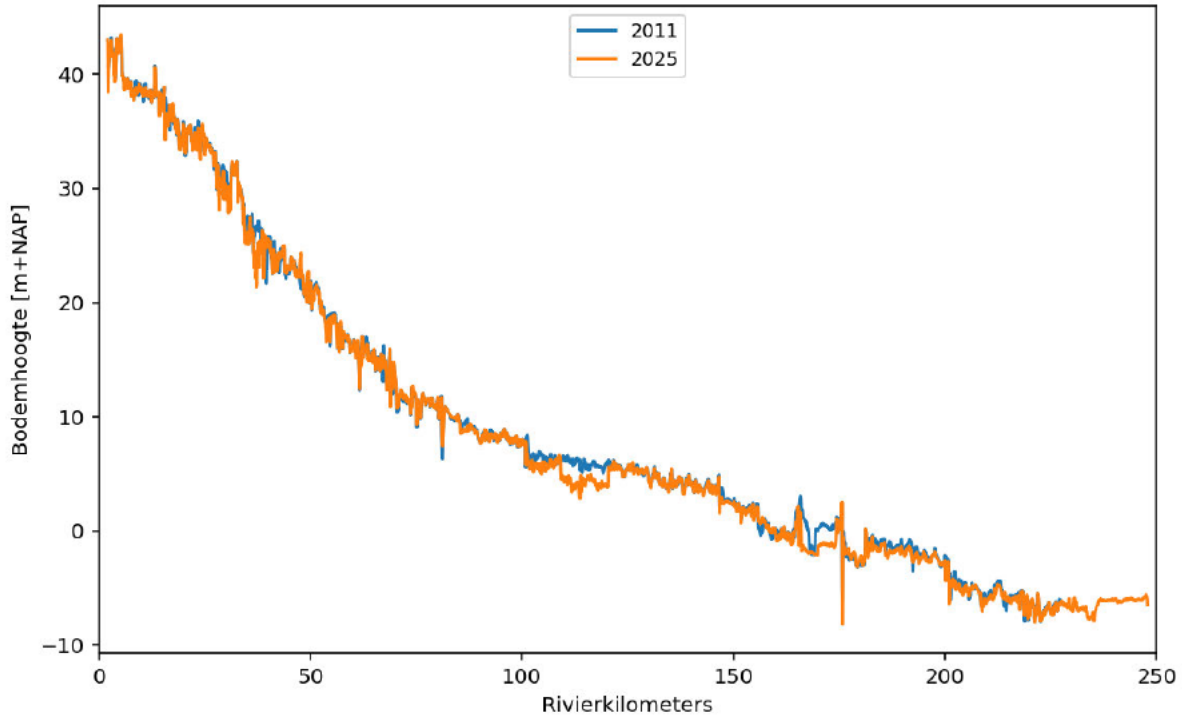
We kijken daarom naar de rivierbodemligging dichter bij de rivieras. Om de 50 m prikken we een punt op de rivieras en berekenen de gemiddelde rivierbodemligging in een cirkel rondom dit punt. Voor de Maasvallei (t/m rkm 165) hanteren we een radius van 25 m en voor de Bedijkte Maas een radius van 50 m[11]. Met deze twee radiussen houden we rekening met het duidelijke verschil in breedte van het zomerbed. We fitten vervolgens een lineaire trend op de data (per 50 m langs de rivieras). Deze methodiek is iets anders dan eerdere analyses van Kragten, Meijer, Sloff en Zuiderwijk/Ten Brinke, maar geeft een vergelijkbaar beeld voor de jaren 2011-2017 (niet getoond).

We houden expliciet nog geen rekening met evt. menselijke ingrepen als zomerbedverdiepingen en incidentele events als het ontstaan van de erosiekuilen in de bepaling van de trends. Dit geeft een zo zuiver mogelijk vertrekpunt om de referentiebodemligging te kiezen in paragraaf 0.

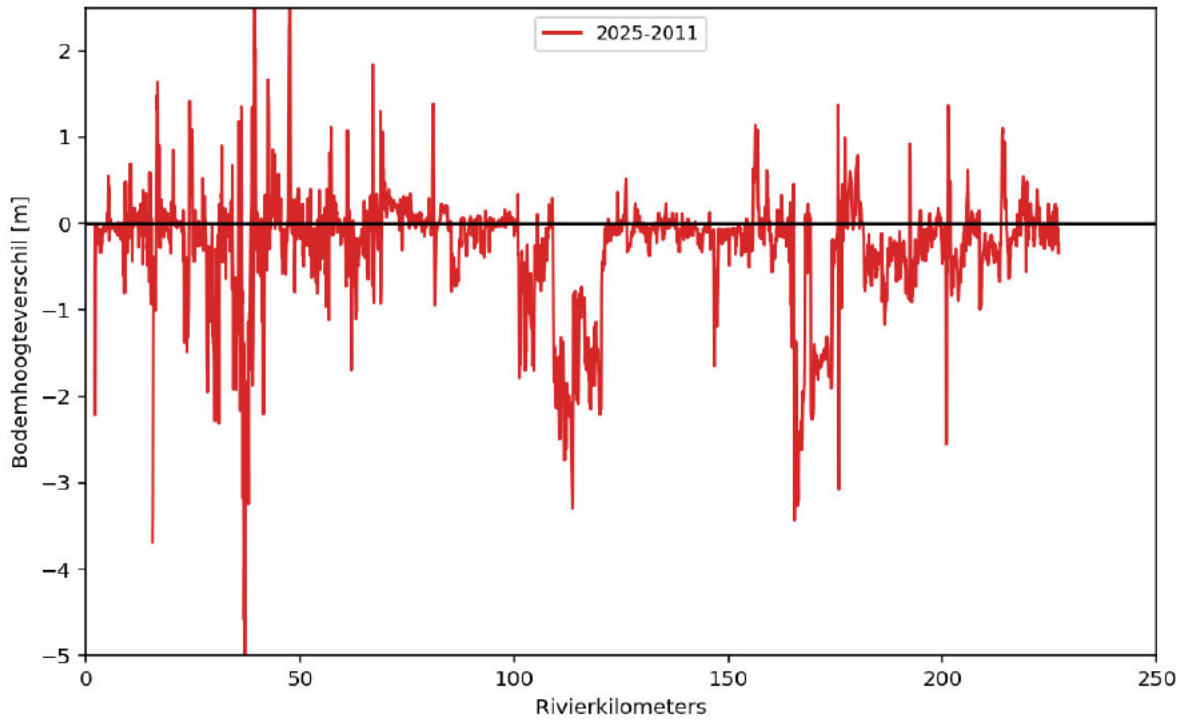
Resultaten

Interpretatie volgt in par 0.
Figuur 46 toont de berekende gemiddelde rivierbodemliggingen in 2011 en 2025 en Figuur 47 het verschil daartussen. De bodemhoogteverschillen per 50 m bevatten veel ruis, onder andere door jaar-tot-jaar dynamiek als passerende bodemvormen en lokale baggerwerkzaamheden. De ruis komt ook terug in de berekende lineaire trends (te zien in Figuur 49). Deze trends zijn niet karakteristiek voor de langjarig verwachte morfologische veranderingen. Kijken we in Figuur 48 naar een lopend gemiddelde per 1 km wordt het beeld al duidelijker, de extreme ruis is minder in de jaar-tot-jaar bodemhoogteverschillen

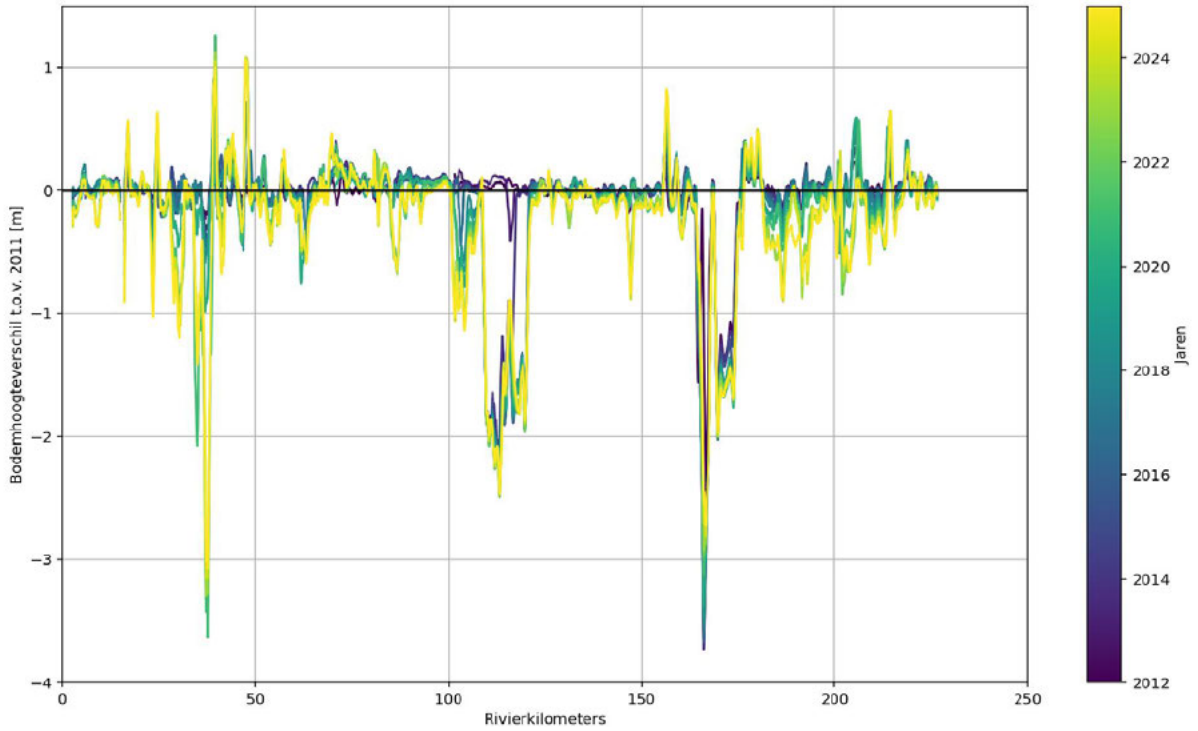
[11] De berekende trends zijn slechts beperkt gevoelig voor de gekozen radiussen (niet getoond).



Figuur 46: Gemiddelde bodemhoogtes per 50 m langs de rivieras voor de peilingen van 2011 en 2025

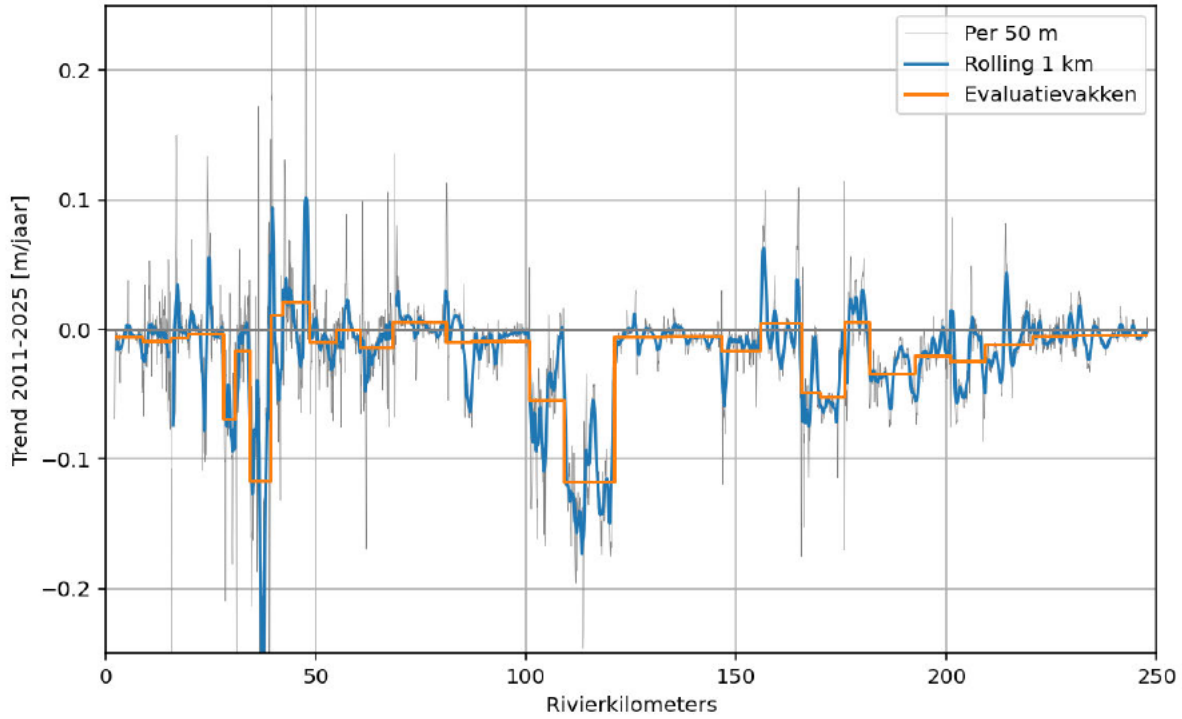


Figuur 47: Verschil in gemiddelde bodemhoogtes per 50 m langs de rivieras tussen 2011 en 2025. Negatief betekent erosie, positief betekent sedimentatie.

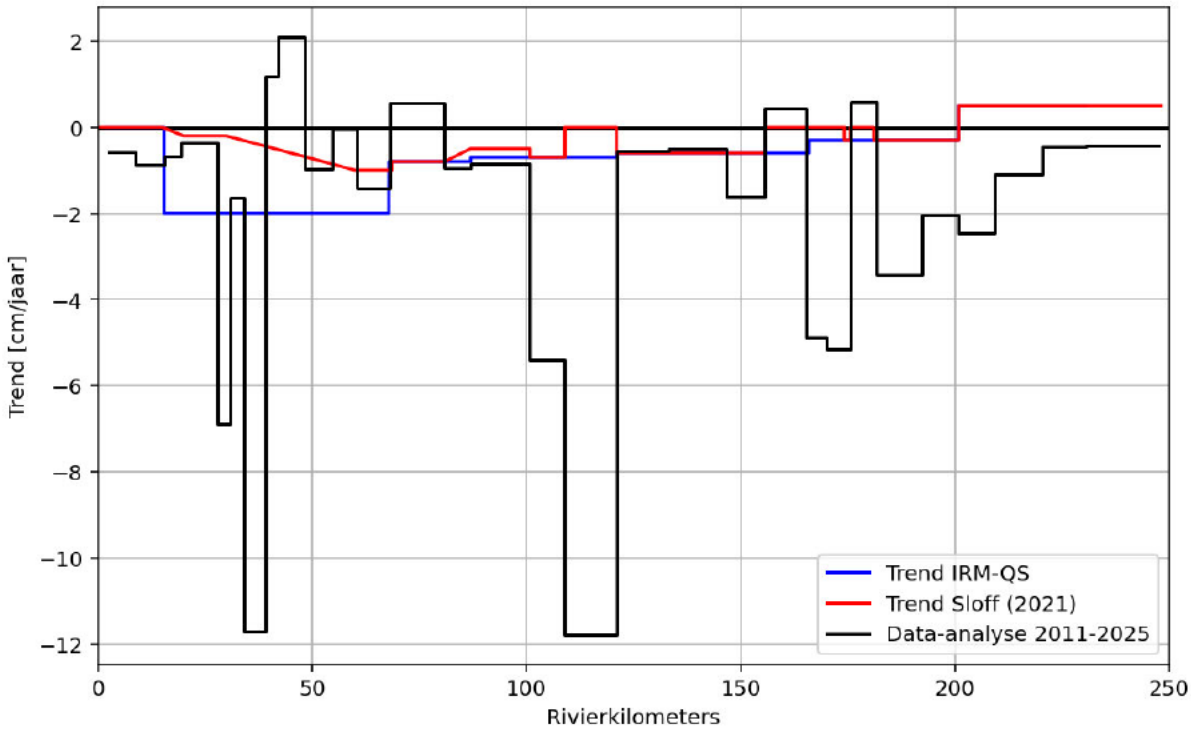


Figuur 48: Bodemhoogteverschillen t.o.v. 2011 voor de jaren 2012-2025 als 'rolling-average' per 1 km.

Zetten we de stap naar de lineaire trends, zien we dat de trends per 1 km nog steeds behoorlijk veel ruis bevatten, consistent met de bodemhoogteverschillen van alle jaren. Als we middelen naar het ruimtelijke schaalniveau van de gekozen evaluatievakken (trajecten met relatief vergelijkbare morfologische kenmerken en/of ontwikkelingen) komt er een duidelijker beeld naar voren, zie Figuur 49. In Figuur 50 zijn de berekende trends samen weergegeven met de trends uit de Quickscan IRM (Zuijderwijk et al., 2020) en Sloff (2021).



Figuur 49: Lineaire trends in gemiddelde rivierbodemligging per 50 m, per 1 km en in de evaluatievakken.



Figuur 50: Vergelijking trends QuickScan IRM (blauw), Sloff (2021; rood) en de berekende trends in de evaluatievakken voor de periode 2011-2025 (zwart=oranje lijn uit Figuur 5).

B.5 Interpretatie trends t.b.v. referentiebodemligging

In deze paragraaf bepalen we voor alle trajecten (Bovenmaas, Gemeenschappelijke Maas, Plassenmaas, Zandmaas, Bedijkte Maas, Getijdenmaas) een trend, danwel direct een referentiebodemligging. We baseren ons hierbij op de berekende trends (Figuur 50; per vak weergegeven in Bijlage A.1), observaties in de bodempeilingen (Bijlage A.2), kennis over de ingrepen als zomerbedverdiepingen en (onderhouds)baggerwerkzaamheden, kennis over incidentele events als het zomerhoogwater van 2021, de sedimentbalans van Barneveld et al. (2025b; figuur in Bijlage A.3) en eerdere overwegingen uit de QuickScan IRM (Zuijderwijk et al., 2020) en van Sloff (2021).

De onderhoudsbaggerwerkzaamheden in het kader van Groot onderhoud vaarwegen 6b (fase 1 t/m 3) blijken in de trendanalyse regelmatig een sterke invloed te hebben op de berekende trends. Ondanks dat de naam 'onderhoudsbaggerwerk' suggereert dat er terug wordt gegaan naar een recente situatie waarin de vaargeul nog voldeed, blijkt dat in de Maas er t.o.v. 2011 regelmatig sprake is van een netto verdieping met enkele decimeters. Met de verdieping wordt dan weer voldaan aan de gewenste vaargeuldimensies. We verwachten dat met het reeds op diepte zijn van de vaargeul in 2025 toekomstige baggerwerkzaamheden niet meer leiden tot een significante daling van de rivierbodem t.o.v. 2025.

In par 2.5 staat het voorstel voor de referentiebodemligging.

Bovenmaas (rkm 2 – 15); vak 0 & 1

In de QS IRM en Sloff (2021) is aangenomen dat de bodem van de Bovenmaas langjarig niet daalt vanwege de mergelbodem (kalk). De mergelbodem is niet erodeerbaar. Desondanks zien we in de data-analyse (Bijlage A.1) een dalende trend van ca. 1 cm per jaar in de bodemhoogtes tussen 2011 en 2025. Voor vak 0 laat zich deze verklaren door enige bodemdaling tussen de Nederlandse grens en Eijsden tussen 2018 en 2019 (geen oorzaak aan te wijzen). Voor vak 1 is de dalende trend toe te wijzen aan de vrij plotse bodemdaling tussen 2021 en 2022 benedenstrooms van de instroom van de St. Pietersplas. Dit moment en deze locatie komt overeen met uitgevoerde baggerwerkzaamheden in het kader van fase 1 van GOVa (Groot onderhoud vaarwegen) 6b. De dalende trend kan hierdoor verklaard worden. Door deze verdieping is de vaargeul op de benodigde diepte gebracht. We verwachten dat (indien nodig) met toekomstige werkzaamheden de bodem op dit niveau wordt gehouden.

We gaan ervan uit dat langjarig de bodem niet (verder) zakt vanwege de niet-erodeerbare bodem. Eventuele sedimentatie wordt weggebaggerd. We nemen daarom de trend van 0 cm/jaar over uit Sloff (2021).

Gemeenschappelijke Maas (rkm 15 – 68); vak 2 - 11

De Gemeenschappelijke Maas kent de meeste morfologische veranderingen van alle trajecten van de Maas, vanwege het vrij afstromende karakter. De berekende trends wisselen sterk van vak tot vak onder andere vanwege sterke lokale erosie (bocht van Kotem; vak 4), het ontstaan van de erosiekuilen in 2021 (vak 4 & 6) en morfologische effecten van Maaswerken (bijv. zomerbedverbreding bij Stevensweert in 2019 in vak 11) en het Grensmaasproject (bijv. Koeweide, vak 8). We zien dus dat de bodem van de Gemeenschappelijke Maas zich nog heel sterk aan het aanpassen is aan recent uitgevoerde ingrepen.

Langjarig verwachten we:
1) een erosieve trend voor de gehele Gemeenschappelijke Maas (conform de QS en Sloff, 2021) vanwege een tekort aan sedimenttoevoer en
2) het ontstaan van nieuwe erosiekuilen en/of het vergroten van bestaande erosiekuilen bij toekomstige hoogwaters.

We beschouwen deze processen apart.

Jaargemiddeld is er sprake van een positieve gradiënt in het sedimenttransport (Barneveld et al., 2025b), betekenend dat er netto sediment verdwijnt uit de Gemeenschappelijke Maas. Op basis van de sedimentbalans van Barneveld et al. (2025b; figuur in Bijlage A.3) is het sedimenttekort voor de Gemeenschappelijke Maas ca. 50.000 m^3/jaar (o.b.v. data-analyse 2011-2019). In de periode 2011-2019 concentreert deze gradiënt zich met name rond rkm 30-40. De periode 2011-2019 hoeft echter niet representatief te zijn voor de komende 50 jaar. Wanneer dit bovenstroomse deel gaat afpleisteren, verschuift de erosiegolf zich naar verder benedenstrooms. Het sedimenttekort blijft echter wel dezelfde 50.000 m^3/jaar.

De QS komt uit op 2 cm/jaar voor de gehele Gemeenschappelijke Maas; een duidelijke argumentatie ontbreekt hiervoor in de QS. Sloff (2021) heeft veel kleinere trends vastgesteld voor de Gemeenschappelijke Maas o.b.v. de data uit de periode 1995-2017: -0,2 cm/jaar in het bovenstroomse deel tot -1 cm/jaar in het benedenstroomse deel. Uit de aanvullende data-analyse vinden we (door de oogharen heen kijkend, dus niet elk vak apart beschouwend) ongeveer een trend van -1 cm/jaar. We verwachten niet dat de trends in de aparte vakken (bijv. de sedimenterende trend bij Koehool) zich nog 50 jaar voortzetten. Fysisch verwachten we misschien een kleinere eroderende trend in het benedenstroomse deel van de Gemeenschappelijke Maas dat onder invloed van stuw Linne is (vanaf Maaseik). Dit wordt echter niet ondersteund vanuit Sloff (2021) en ook in de aanvullende data-analyse (2011-2025) zien we dit onderscheid niet.

We zien op basis van de sedimentbalans van Barneveld et al. (2025b) en de aanvullende data-analyse reden om een sterkere eroderende trend vast te stellen t.o.v. Sloff (2021). Als we het sedimenttekort van ca. 50.000 m^3/jaar verdelen over de gehele Gemeenschappelijke Maas (ruim 50 km; met een breedte van een kleine 100 m op basis van de Baselinebegrenzing) geeft een gemiddelde trend van ca. -1 cm/jaar **We kiezen voor een ruimtelijk uniforme dalende trend van 1 cm/jaar voor de gehele Gemeenschappelijke Maas. -1 cm/jaar is de maximale erosiesnelheid langs de Gemeenschappelijke Maas in Sloff (2021)**

Voor de vakken met fijne zanden in de ondergrond (rkm 28-42; vak 4-7) willen we bij het maken van een prognose voor de komende 50 jaar ook rekening houden met het mogelijke ontstaan van nieuwe erosiekuilen. Het hoogwater van 2021 en het ontstaan van de erosiekuilen heeft een sterke invloed op de gemiddelde rivierbodemligging in de gekozen evaluatievakken. In vak 6 (rkm 34,1-39,2) zijn in 2021 de meeste en diepste erosiekuilen ontstaan. De gemiddelde bodemhoogte is hier met 1,5 m gedaald (zie Bijlage A.1). Van het hoogwater van 2021 wordt gesteld dat het ongeveer een 1/100 jaar event is geweest. Er is daarom een reële kans dat een dergelijk hoogwater waarbij erosiekuilen ontstaan, zich in de komende 50 jaar weer voordoet. Ook bij hoogwaters met een andere lagere terugkeertijd is er een kans dat erosiekuilen ontstaan. Bij afvoeren van ruim 2.000 m^3/s (terugkeertijd eens per 5 á 7 jaar) komt de bodem flink in beweging en is er dus risico op het doorbreken van de toplaag. Deze zijn dan waarschijnlijk minder groot en diep dan die zijn ontstaan in 2021. Voorspellingen van het ontstaan en de omvang van toekomstige erosiekuilen zijn zeer

onzeker. **Om rekening te houden met het risico op het ontstaan van nieuwe kuilen bij toekomstige hoogwaters nemen daarom voor het gehele traject met fijne zanden (rkm 28-42; vak 4-7) een extra daling van de gemiddelde rivierbodemligging mee. We verwachten dat met verschillende hoogwaters een nieuwe (cumulatieve) daling met 1,5 m (= daling tijdens hoogwater 2021) realistisch is. Dit komt boven op de algemene jaargemiddelde trend van 1 cm/jaar.**

Plassenmaas (rkm 68 – 87); vak 12 & 13

De gemiddelde bodemhoogte van de Plassenmaas is volgens de data-analyse relatief stabiel. Tussen 2012 en 2013 lijkt er enige sedimentatie (orde 1 dm) plaats te vinden in stuwpand Roermond. Dit heeft zich daarna niet doorgezet, dus kan van een duidelijke trend niet worden gesproken. Benedenstrooms van stuw Roermond (en nabij de aansluiting met het Lateraalkanaal) hebben in 2021 en 2022 baggerwerkzaamheden in het kader van GOVa6b-fase1 plaatsgevonden. Dit resulteerde in een netto lagere bodem t.o.v. de jaren daarvoor, en verklaart ook de gevonden dalende trend. We verwachten niet dat deze dalende trend zich in dezelfde mate voortzet nu de vaargeul op diepte is.

Op basis van Barneveld et al. (2025b) kan een licht stijgende trend worden verwacht in de rivierbodemligging, aangezien er een negatieve sedimenttransportgradiënt is (Bijlage A.3). In de QS IRM en in Sloff (2021) wordt wel een eroderende trend aangenomen met als argument dat de erosiegolf vanuit de Gemeenschappelijke Maas zich voortzet in de Plassenmaas. Als in de toekomst de Gemeenschappelijke Maas (ten minste deels) afpleistert, blijft het sedimenttekort bestaan, maar schuift deze op in benedenstroomse richting.
Er is geen eenduidige conclusie te trekken over een te verwachten trend in de Plassenmaas. **Met als argument dat de erosiegolf zich vanuit de Gemeenschappelijke Maas gaat voortzetten, nemen we de trends van Sloff (2021) over: -0,8 cm/jaar in stuwpand Roermond en -0,5 cm/jaar benedenstrooms van stuw Roermond.**

Zandmaas (rkm 87 –165); vak 14 - 20

De Zandmaas is een lang traject in de Maasvallei met een zandige bodem. In dit traject liggen stuw Belfeld en Sambeek en ook stuw Grave heeft een grote invloed op de Zandmaas. De belangrijkste verandering in de rivierbodem in de periode 2011-2025 is geweest de zomerbedverdieping tussen Venlo en Arcen in 2013-2015 waarbij het zomerbed met 2 á 3 m is verlaagd. (Bagger)werkzaamheden hebben ook op andere delen van de Zandmaas tot een lagere bodem geleid, zoals de vaarwegverruiming tussen stuw Belfeld en Venlo (2017-2018) en GOVa 6b rondom stuw Sambeek (2023-2024). Buiten deze menselijke ingrepen is de bodem relatief stabiel.

Binnen de zomerbedverdieping vinden wel morfologische ontwikkelingen plaats. In binnenbochten is er enige sedimentatie en in buitenbochten significante erosie. Daarnaast is er een erosiekuil ontstaan op rkm 113,5 door de aanwezigheid van fijn zand in de ondergrond. We verwachten dat op lange termijn de zomerbedverdieping zich vult met sediment en dat eventuele erosie slechts tijdelijk is. **We veronderstellen dat er sedimentatie plaatsvindt in de zomerbedverdieping, maar dat deze met onderhoud op niveau wordt gehouden en dat de rivierbodemligging dus constant blijft de komende 50 jaar.**

De QS en Sloff (2021) verwachten een licht erosieve trend voor de Zandmaas gegeven dat de erosiegolf vanwege het gebrek aan sedimenttoevoer zich vanuit de Gemeenschappelijke Maas verder voortzet in benedenstroomse richting. **We houden vast aan de getallen uit de QS en Sloff (2021) door te kiezen voor een trend van -0,7 cm/jaar bovenstrooms van de zomerbedverdieping Venlo-Arcen en -0,6 cm/jaar voor de rest van de Zandmaas.**

Bedijkte Maas (rkm 165 – 201); vak 21 - 25

Ook het zomerbed van de Bedijkte Maas is verdiept, namelijk op de trajecten Gennep-Grave (1996 en 2011-2012; rkm 176,1-181,7) en Grave-Ravenstein (2007; rkm 155,7-174,2). **Ook voor deze zomerbedverdiepingen nemen we aan dat er sedimentatie op zal treden, maar dat ze onderhouden worden en dat de bodem constant blijft de komende 50 jaar.**

De opvallend sterke erosieve trend tussen de zomerbedverdiepingen (meerdere cm/jaar) kunnen we ten minste deels toeschrijven aan baggerwerkzaamheden, o.a. in het kader van GOVa 6b fases 2 (2021-2022) en 3. De peilingen laten in de Maasmeanders de sterkste erosie in de binnenbochten zien (Bijlage A.2; voornamelijk na het hoogwater van 2021). Het is niet duidelijk waar deze erosie aan te relateren is.

Tussen de zomerbedverdiepingen nemen we de licht erosieve trend van -0,3 cm/jaar van de QS en Sloff (2021) over.

Getijdenmaas (rkm 201 – 248); vak 26 - 29

Alle vakken in de Getijdenmaas kennen in de periode 2011-2025 een licht erosieve trend, terwijl op basis van de sedimentbalans (Barneveld et al., 2025b) een sedimenterende trend verwacht wordt (Bijlage A.3). De lagere bodem kan ten minste deels verklaard worden door de werkzaamheden in het kader van GOVa 6b fase 2 waarin er tussen 2021 en 2022 ca. 500.000 m^3 gebaggerd is, voornamelijk tussen stuw Lith en Heerewaarden. Als gevolg van vertragende stroming in benedenstroomse richting verwachten we langjarig sedimentatie langs de Getijdenmaas. Daarom is in de QS en Sloff (2021) gekozen voor een trend van +0,5 cm/jaar. Dit kan worden gezien als het natuurlijke gedrag van de rivier. **Als we echter veronderstellen dat de vaargeul op diepte gehouden wordt (staand beleid), verwachten we dat over 50 jaar de gemiddelde rivierbodemligging ongeveer gelijk is aan nu door de baggerwerkzaamheden. De referentiebodemligging is dus gelijk aan de huidige rivierbodemligging.**

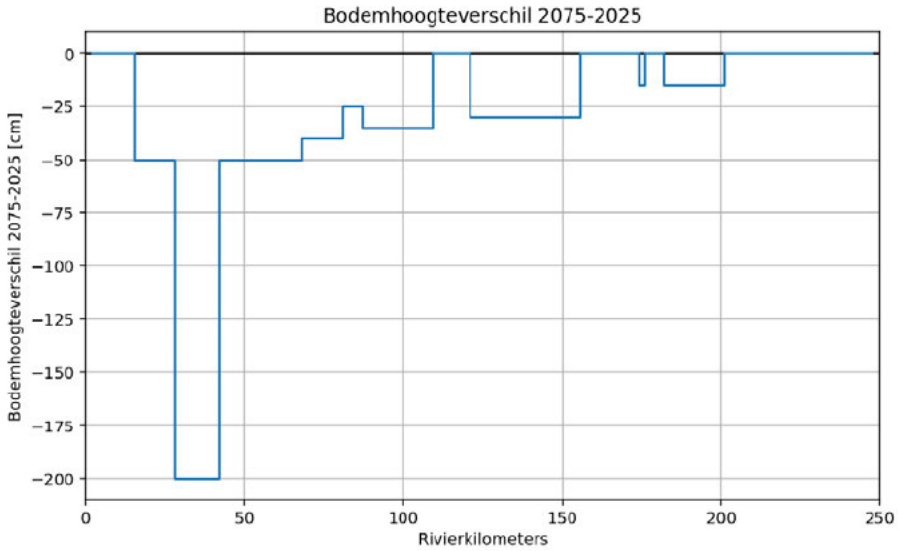
B.6 Referentiebodemligging

Tabel 3 en Figuur 51 tonen de referentiebodemligging. We hebben hiervoor de trends uit paragraaf 2.5 vermenigvuldigd met 50 jaar en de extra verdieping bij het erosiekuilentraject erbij opgeteld.

Tabel 3: Prognose referentiebodemligging: ontwikkeling tussen 2025 en 2075

Traject	Rkm begin	Rkm eind	Referentiebodemligging 2075: Verschil t.o.v. 2025 in cm
Bovenmaas	2	15,4	0
Gemeenschappelijke Maas	15,4	28,0	-50
Gemeenschappelijke Maas (erosiekuilen)	28,0	42,0	-200

Gemeenschappelijke Maas	42,0	68,2	-50
Plassenmaas	68,2	80,9	-40
Plassenmaas	80,9	87,0	-25
Zandmaas	87,0	109,0	-35
Zandmaas (zomerbedverdieping Venlo-Arcen)	109,0	121,0	0
Zandmaas	121,0	155,7	-30
Zandmaas (zomerbedverdieping Gennep-Grave)	155,7	165,4	0
Bedijkte Maas (zomerbedverdieping Gennep-Grave)	165,4	174,2	0
Bedijkte Maas	174,2	176,1	-15
Bedijkte Maas	176,1	181,7	0
Bedijkte Maas	181,7	200,9	-15
Getijdenmaas	200,9	247,5	0



Figuur 51: Referentiebodemligging: bodemhoogteverschil tussen 2075 en 2025.

C Bodempeilingen en analyse

C.1 Verwerking van de bodempeilingen

Rijkswaterstaat heeft bodempeilingen vanaf 2004 toegeleverd. We maken gebruik van de peilingen vanaf 2011 omdat we deze betrouwbaar achten (Barneveld et al., 2025b). Deze peilingen beslaan niet het volledige zomerbed, vooral langs oevers en grindeilanden is de dekking beperkt. Bovendien wisselt de dekking per peiling. In sommige jaren is er tot dichter bij de oever gevaren dan in andere jaren (Figuur 52). Ook ontbreken in enkele jaren hele trajecten (omdat er bijv. niet gevaren kon worden). Dit speelt vooral in de Bovenmaas en de Gemeenschappelijke Maas.

Een consistente bodemhoogtekaart is nodig om betrouwbare bodemhoogtes over tijd te kunnen vaststellen. Immers, als een peiling in jaar 'x' veel minder dekking rondom de hoger gelegen oeverzone heeft dan de peiling in jaar 'x-1', dan berekenen we ruimtelijk gemiddeld lagere rivierbodemliggingen. Om deze reden vullen we peilingen aan vanuit historische peilingen. Dus, de peiling van 2012 vullen we aan met de bodemhoogtegegevens uit 2011 waar de peiling van 2012 geen dekking. De peiling van 2013 vullen we aan met de samengestelde bodemhoogtekaart uit 2012 (waar dus ook gegevens uit 2011 in kunnen zitten), enzovoort.



Figuur 52: Voorbeeld van de dekking in de peiling va 2023 en 2025.

Dit heeft wel als consequentie dat de peilingen tussen 2011 en 2014 niet gebruikt kunnen worden. We zien dat er in deze jaren steeds meer dekking richting de oevers komt en dat daardoor gemiddelde bodemhoogtes hoger worden.

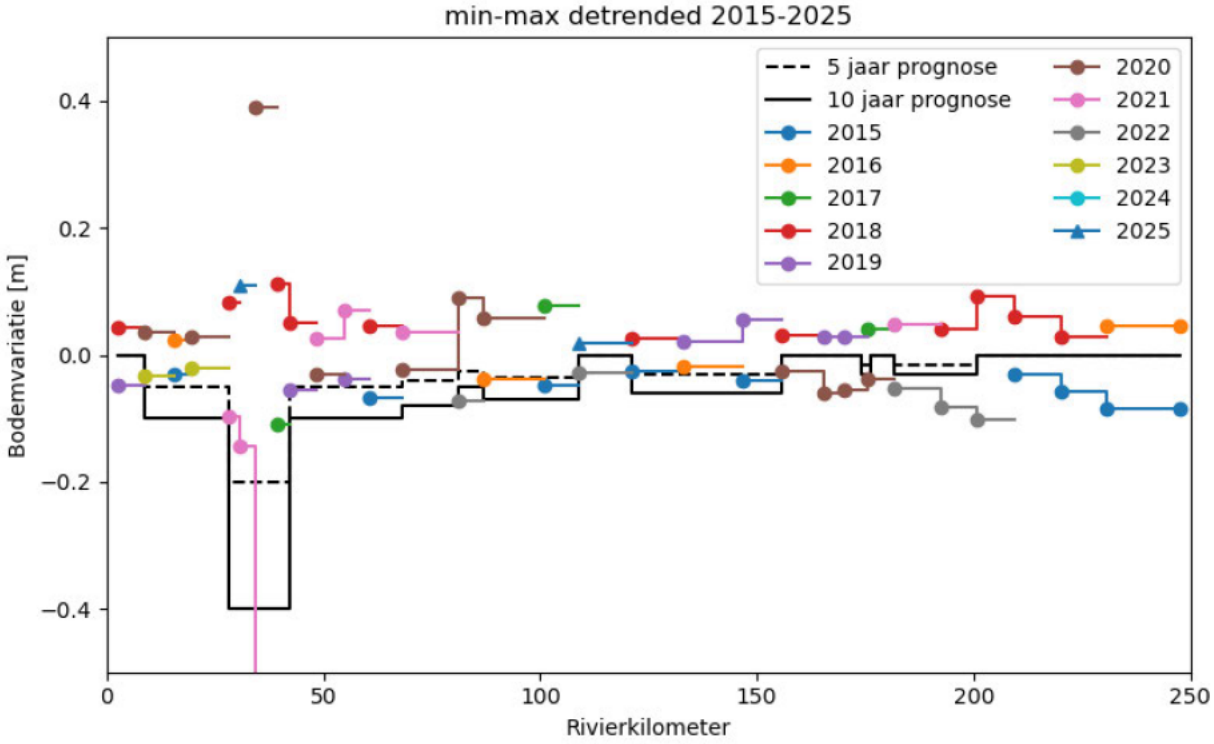
We berekenen vervolgens per evaluatievak (en per kilometervak) de gemiddelde bodemhoogteligging.

C.2 Analyse t.b.v. vaststelling bandbreedte

Voor de vaststelling van de bandbreedte waarin de gemiddelde rivierbodemligging zich moet bevinden, willen we bepalen wat in de periode 2015-2025 de gemiddelde afwijking van de bodem is geweest. Dit doen we t.o.v. de aanwezige trend in de data ('detrended'). De maximale en minimale afwijking t.o.v. de trend zegt iets over de jaar-tot-jaar dynamiek van de vakgemiddelde bodemhoogteligging.

Figuur 53 toont deze maximale en minimale afwijking van de trend, waarin de verschillende jaren kleur gecodeerd zijn. Minimale en maximale waarden treden in veel verschillende jaren op, wat erop duidt dat we hier (ten minste deels) kijken naar jaar-tot-jaar dynamiek. De variatie ligt veelal tussen 0 en 5 cm aan boven- en onderzijde. Opvallende afwijkingen zijn:

- Het erosiekuilentraject (rkm 34-39): de max-min waarden zien we in respectievelijk 2020 en 2021 optreden. De trend wordt dermate sterk bepaald door het zakken van de bodem bij het hoogwater van 2021 dat deze twee jaren automatisch ook de max-min waarden zijn
- Bedijkte Maas (tot rkm 200): de min-waarde treedt op in 2022. In dit jaar is veel gebaggerd in het kader van GOVa. De lage waarde (~-10 cm) kan daar waarschijnlijk door verklaard worden.



Figuur 53: Maximale en minimale afwijking van de bodemhoogteligging tussen 2015 en 2025 per evaluatievak. De zwarte lijnen geven de bodemveranderingen uit de referentiebodemligging voor een periode van 5 of 10 jaar.

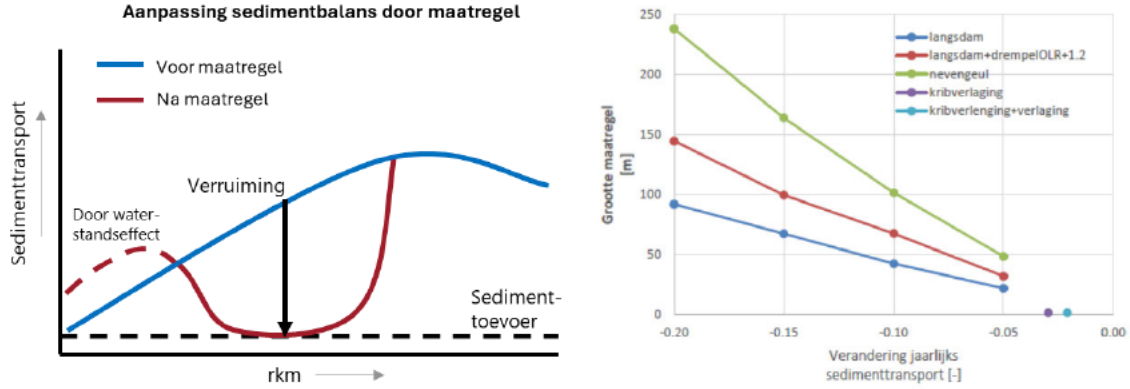
D Morfologische effectbepaling

D.1 Methodiek

Het doel van de morfologische effectbepaling met de vuistregeltool is om inzicht te krijgen in:

- Waterstandsveranderingen voor relevante afvoeren (afvoeren volgen uit de hoofdfuncties)
- Veranderingen in bodemschuifspanning
- Veranderingen in het jaartransport van sediment

De vuistregeltool is in de QuickScan Rivierbodemligging (Zuijderwijk et al., 2020) ontwikkeld om de effecten van geometrische aanpassingen (zomerbed/uiterwaard) op het sedimenttransport te schatten. Het sedimenttransport verandert door een aanpassing van de rivierbodemligging. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen nodig om de rivierbodemligging te stabiliseren. De opgave (bijv. suppletievolume of nevengeulgrootte) bepalen we aan de hand van de sedimentbalans (Figuur 54, links). Uit de vuistregeltool volgt daarna de benodigde grootte van maatregelen om de rivierbodemligging te stabiliseren (Figuur 54, rechts).



Figuur 54 Links: Voorbeeld van de sedimentbalans langs de rivier voor de huidige rivierbodemligging en na aanleg van een verruimende maatregel. Rechts: Schatting van de benodigde grootte van een maatregel om een afname in het jaarlijks sedimenttransport te bereiken (hier toegepast op de Waal, maar binnen de QuickScan bodemligging Maas ook voor de Maastrajecten).

Zo brengen wij het effect op de sedimentbalans in beeld van de variant van basisrivierbodemligging en de typen maatregelen (beschreven in de vraagspecificatie). Daarnaast geeft de vuistregeltool inzicht in de verandering in waterstand en bodemschuifspanning bij verschillende afvoeren. Deze verandering passen we toe op de beschikbare betrekkingslijnen van de Maas en de kaarten van bodemschuifspanning. De resultaten kunnen we gebruiken om bijvoorbeeld de verandering van het risico op plotselinge erosie in te schatten. Daarnaast geven de bodemveranderingen en de beheermaatregelen daarna een goede referentiecasus om de effecten en beheerbaarheid van plotselinge erosie in beeld te brengen.

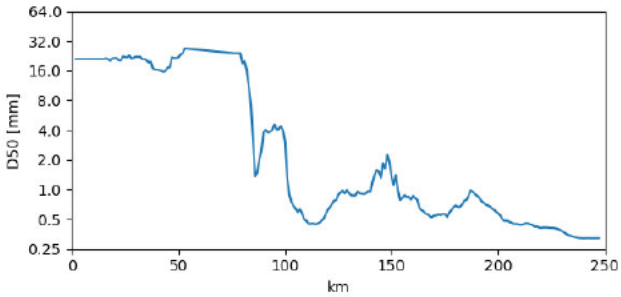
D.2 Opzet vuistregeltool

In deze opzet van de vuistregeltool worden de volgende stappen doorlopen:

- Het jaartransport van sediment leiden we af van Barneveld et al. (2025b). Deze discretiseren we op vakniveau (Figuur 56).
- Voor de Maas is een langjarige afvoerduurlijn bepaald (afvoer met daarbij frequentie van voorkomen onder huidig klimaat);
- Per traject is een representatief dwarsprofiel afgeleid (hoogte, breedte en ruwheid, zie Tabel 4) en zijn morfologische parameters (korrelgrootte Figuur 55) bepaald;
- De afvoer wordt verdeeld over het dwarsprofiel op basis van uniforme stroming rekening houdend met de variaties in ruwheid. Het resultaat is de afvoer in het zomerbed en de bijbehorende waterstand;
- Op basis van deze hydrodynamische condities, de afvoerduurlijn en morfologische parameters bepalen we het jaartransport;
- Bij een ruimtelijke maatregel (bodemverhoging of zomerbedverbreding) passen we de doorsnede aan en berekenen we de aanpassing van het jaartransport. Hierbij worden zowel veranderingen in waterstand als in afvoerverdeling over de doorsnede meegenomen.

Tabel 4: Dimensionering dwarsprofielen Maastrajecten (o.b.v. QS rivierbodemligging)

Trajecten Maas	Breedte zomerbed [m]	Breedte uiterwaard [m]	Hoogte uiterwaard t.o.v zomerbed [m]	Ruwheid zomerbed [m]	Ruwheid uiterwaard [m]
Bovenmaas (km 5-15)	120	290	7.0	0.35	0.68
Gemeenschappelijke Maas (km 15-53)	140	555	6.0	0.15	0.91
Plassenmaas (km 69-87)	120	1440	7.0	0.77	1.05
Peelhorst (km 87-121)	130	435	9.0	0.28	0.49
Venloslenk (km 121-155)	140	930	8.0	0.33	0.71
Bedijkte Maas (km 164-200)	150	675	8.0	0.24	0.46
Getijdenmaas (km 200-226)	160	470	8.0	0.25	0.93
Bergsche Maas (km 226-247)	170	265	8.0	0.21	0.46



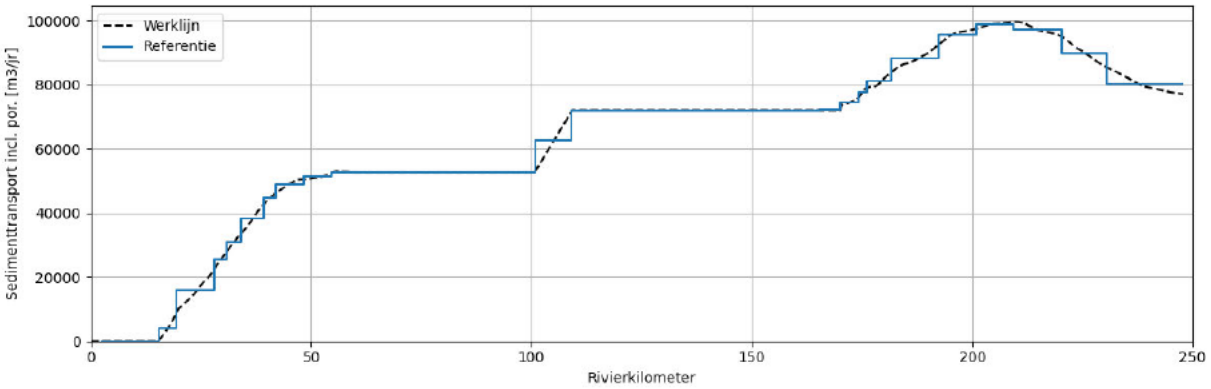
Figuur 55: Korrelgrootte onder pleisterlaag langs de Maas (Barneveld et al. 2025b)

Sedimenttransport

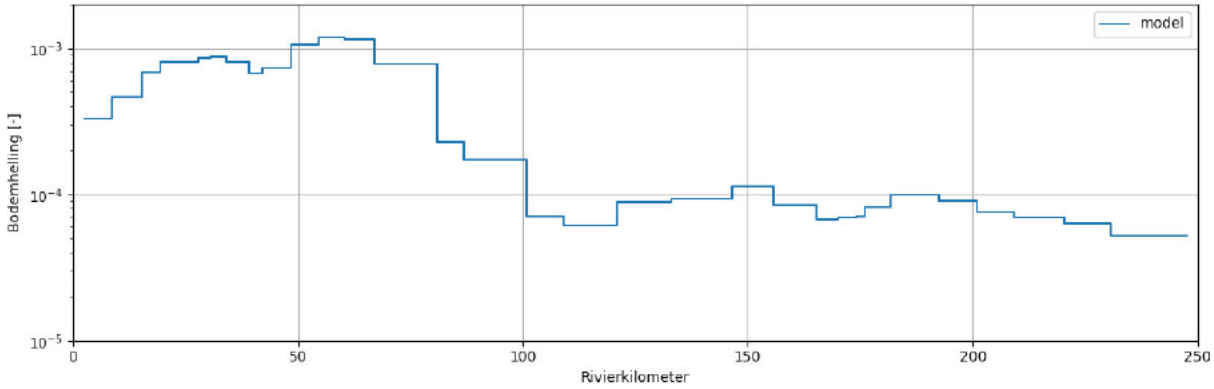
Het sedimenttransport wordt, zoals in de QuickScan rivierbodemligging, berekend met Meyer-Peter-Muller met daarbij een ripplefactor van 0,7 en een kritische Shields-waarde van 0,047. Voor de zandige trajecten gaan we uit van Engelund-Hansen. We nemen aan dat bij een Maasafvoer <500 m^3/s er geen transport is omdat de stuwen dan grotendeels gesloten zijn.

Figuur 56 geeft het resulterende jaartransport over de rivier per evaluatievak. Hierbij is de helling (uniforme stroming dus zowel bodem- als waterstandshelling) als kalibratieparameter voor het sedimenttransport gebruikt. Bij hoge afvoeren zal door verhanglijnen de opgetreden waterstand

namelijk afwijken van de evenwichtsbodemhelling. Bij lage afvoeren wijken deze af door de opstuwing door stuwen.



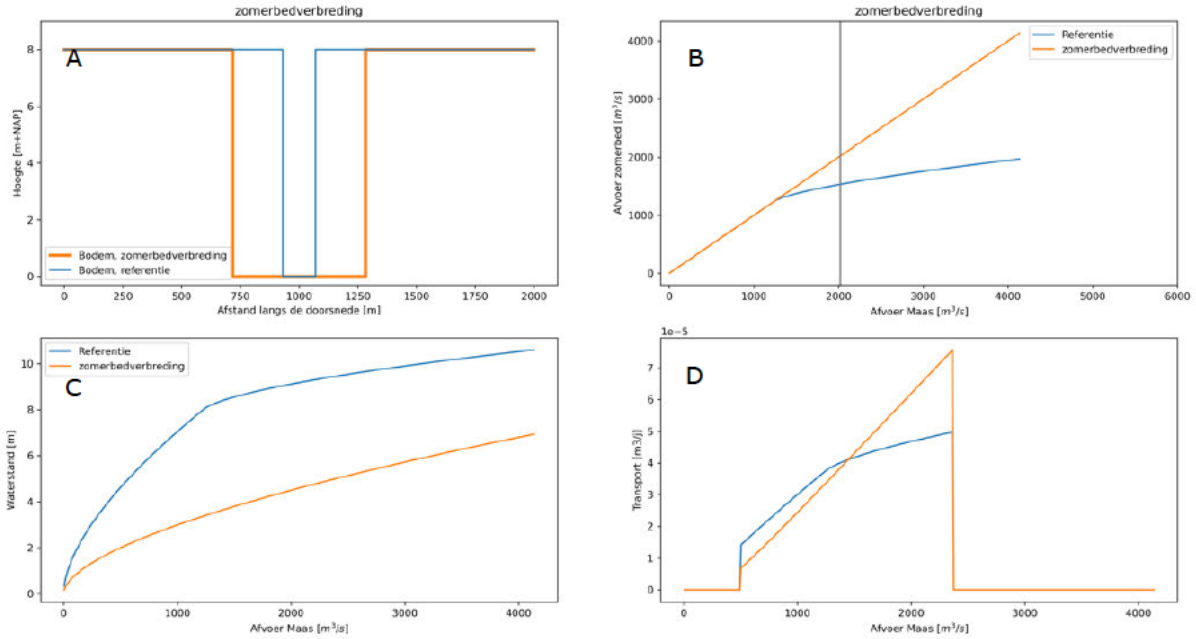
Figuur 56: Sedimenttransport langs de Maas: de vastgestelde werklijn en het gefitte model.



Figuur 57: Bodemhelling langs de Maas op basis waarvan het sedimenttransport is gefit.

Effect maatregel

Figuur 58 laat als voorbeeld zien dat door een aanpassing van het dwarsprofiel (blauw -> oranje) (A) (zomerbedverbreding) de afvoer door het zomerbed toeneemt bij hogere Maasafvoeren (B). Dit komt doordat de waterstand is afgenomen (C) waardoor de uiterwaarden minder vaak meestromen. Dit leidt tot een lager transport bij veel voorkomende lage afvoeren (D) en een hoger transport bij minder frequente hoge afvoeren. Gecombineerd met de hydrograaf, krijgen we het effect op het jaartransport.



Figuur 58: Veranderingen in dwarsprofiel, afvoer zomerbed, waterstand en sedimenttransport bij zomerbedverbreding.

D.3 Aanlegvolume en beheervolume

Voor de maakbaarheid en beheerbaarheid van een basisrivierbodemligging bepalen we de aanleg- en beheervolumes.

Het aanlegvolume is het bodemverschil tussen de huidige rivierbodemligging en de variant vermenigvuldigd met de oppervlakte van het evaluatievak.

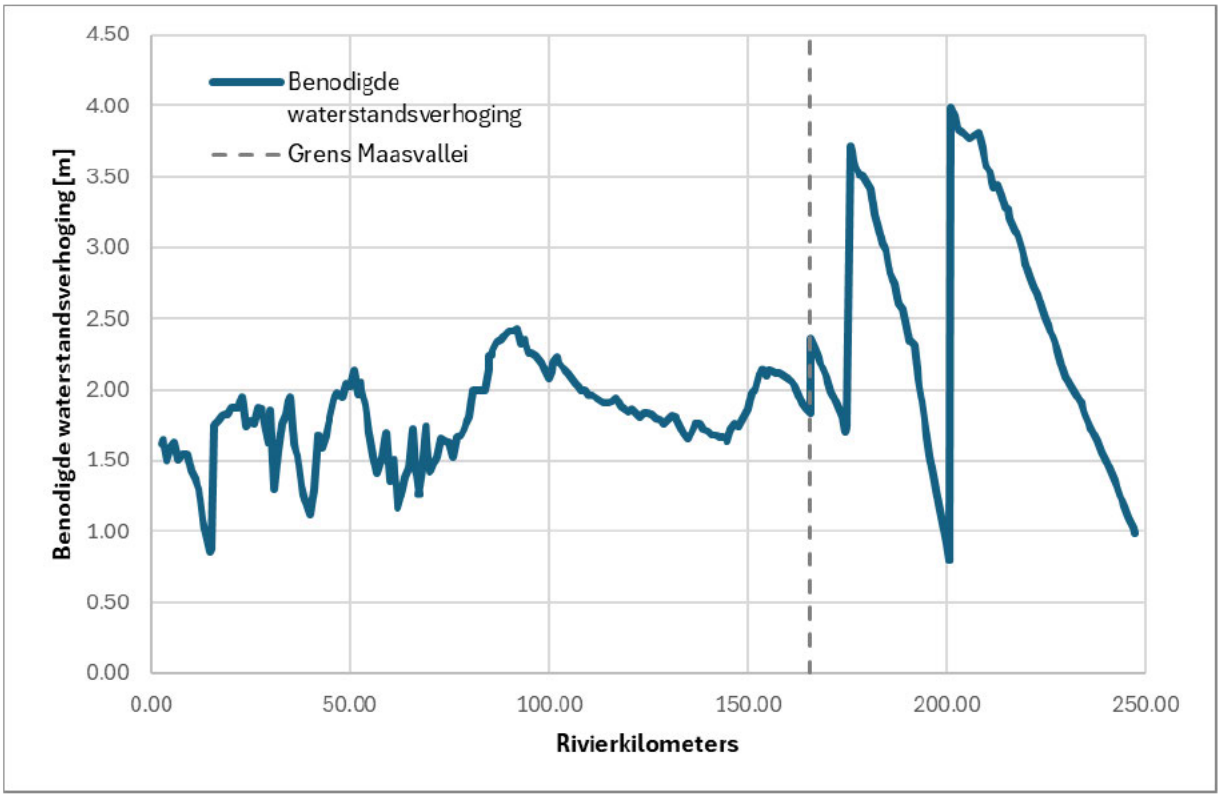
Het beheervolume berekenen we op basis van de bodemtrend die per variant wordt bepaald op basis van de sedimentbalans (Figuur 56). De bodemtrend per jaar vermenigvuldigd met de oppervlakte van het evaluatievak geeft het benodigde suppletievolume. Voor de referentiebodemligging wordt alleen de zomerbedverdieping onderhouden.

D.4 Benodigde bodemophoging in variant 3

We bepalen de benodigde bodemophoging om de inundatiefrequenties te laten toenemen tot een niveau waarbij nattere ecotopen kunnen ontstaan. Ten aanzien van natuur hebben de inundatiefrequenties de meest direct link met de rivierbodemhoogte. Voor de 'gewenste' inundatiefrequenties gaan we in deze studie uit van 2 dagen per jaar voor de Maasvallei en 50 dagen per jaar voor de rest van de Maas. Deze getallen doen geen recht aan de gewenste variatie in inundatiefrequenties langs de Maas, maar geven wel een orde inschatting van de benodigde bodemverhoging om de weerden te vernatten.

Om de benodigde bodemophoging te bepalen, veronderstellen we eerst dat een bodemophoging 1 op 1 de waterstanden opstuwen zolang de weerden nog niet inunderen. Vervolgens bepalen we per Maastraject de huidige, ruimtelijk gemiddelde afvoer waarbij de weerden inunderen, met de

inundatiekaarten van RWS-ZN. Dit komt uit op een afvoer van ~2300 m^3/s welke eens per 10 jaar voorkomt (Betrekkingslijnen RWS-ZN). De daarbij horende waterstanden halen we uit de betrekkingslijnen voor de Maas van RWS-ZN ('21-22). Als we deze waterstanden aftrekken van de waterstanden horende bij de afvoeren die 2 dagen per jaar voorkomen in de Maasvallei en 50 dagen per jaar in de rest van de Maas, krijgen we een indicatie voor de benodigde waterstandsverhogingen (Figuur 59).



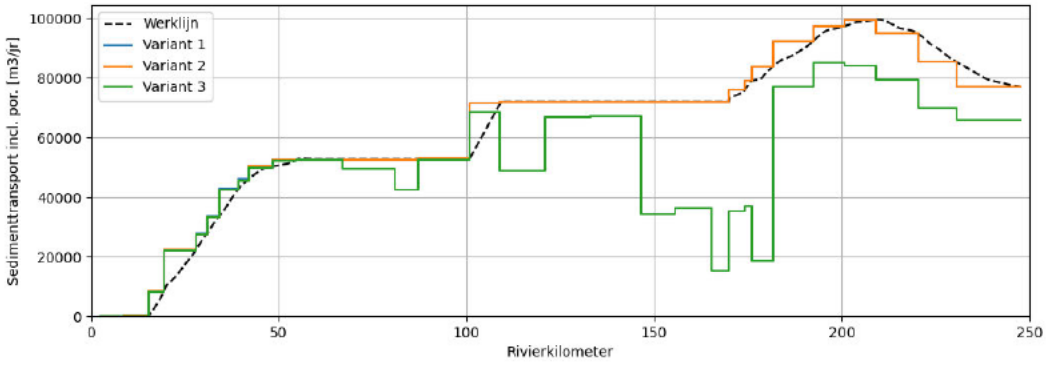
Figuur 59: Benodigde waterstandsverhoging om de inundatiefrequenties te verhogen naar de gekozen niveaus.

Voor de Maasvallei kiezen we hieropvolgend een benodigde bodemverhoging van 1,5 m om een inundatiefrequentie van 2 dagen per jaar te bereiken. We kiezen bewust voor 1 getal om schijnnauwkeurigheid te voorkomen. Voor de Bedijkte Maas zien we sterk het effect van de stuwen. Bij de afvoer die 50 dagen per jaar wordt overschreden (ruim 500 m^3/s) is de Maas nog gestuwd. Hierdoor zien we een klein waterstandsverschil bij de stuw zelf (stuw Grave-rkm 175,6 en stuw Lith-rkm 200,8) en een veel groter waterstandsverschil aan de bovenstroomse zijde van het stuwpand. Omdat vooral de waterstand direct bovenstrooms van de stuw ver wordt opgestuwd, is dit niet representatief voor de relatie tussen bodemligging en waterstand. In feite is een veel grotere bodemverhoging nodig om de waterstand verder op te stuwen. Het bovenstroomse deel van het stuwpand is hiervoor representatief. We kiezen daardoor voor een uniforme bodemverhoging van 3,0 m (niet het absolute maximum, maar wel hoog genoeg om de inundatiefrequenties ver genoeg te verhogen).

D.5 Uitwerking varianten 2 en 3

Het verhogen van de bodem met 1,5 m in het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas (variant 2) en het grootschalig verhogen van de rivierbodem (variant 3) leiden tot een grotere inundatiefrequentie van de uiterwaarde wat kan leiden tot een afname van het sedimenttransport.

In variant 2 (1,5 m bufferlaag op het erosiekuilentraject van de Gemeenschappelijke Maas) zien we nauwelijks verschillen t.o.v. variant 1 (handhaven huidige bodem). Het sediment is zo grof dat deze alleen bij extreme hoge afvoeren in beweging komt wanneer de weerden nu ook al geïnundeerd zijn. Het verschil in sedimenttransport is daarom minimaal (Figuur 60). Dit betekent dat de beheervolumes ook nagenoeg gelijk blijven voor variant 1 en variant 2 (m.u.v. het opvullen van erosiekuilen).
Variant 3 brengt wel grote verschillen met zich mee, voornamelijk in de Zandmaas, Bedijkte Maas en Getijdenmaas. Het sediment is hier fijner dan in de Gemeenschappelijke Maas en Plassenmaas, waardoor het (veel) vaker inunderen van de weerden nu wel een grote invloed heeft op het sedimenttransport. In stuwpand Grave (bovenstrooms van rkm 175) en net benedenstrooms daarvan daalt de sedimenttransportcapaciteit dermate veel dat deze lager is dan bovenstrooms gelegen delen. Dit betekent dat hier forse sedimentatie zou optreden. In stuwpand Lith neemt de transportcapaciteit weer toe, wat erosie geeft. Deze ongewenste sedimenttransportgradiënten kunnen verminder worden door de bodem tussen rkm 145 en 180 minder ver te verhogen.



Figuur 60: Sedimenttransport langs de rivier voor variant 1 t/m 3.

HKV lijn in water BV

Locatie Lelystad
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Locatie Delft
Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

Locatie Amersfoort
Berkenweg 7
3818 LA Amersfoort

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