Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken

Eindrapportage

"De Rivierbodem is de basis van alle belangen"



Inhoud

Colofon—3

Inhoud—5

Samenvatting—7

1 Structuur van dit eindrapport—9
1.1 Eindrapport beschrijft de resultaten van een MIRT onderzoek—9
1.2 Eindrapport is geschreven op basis van de methode van piramideschrijven—9
1.3 Eindrapport bestaat uit in totaal 9 hoofdstukken—10
1.4 Eindrapport put uit 20 achtergrondrapporten—11

2 Opzet en aanpak van het MIRT Onderzoek—12
2.1 MIRT Onderzoek maakt de opgaven, scope en stakeholders helder—12
2.2 MIRT Onderzoek borduurt voort op eerder onderzoek—12
2.3 MIRT Onderzoek is uitgevoerd met een 'snelkookpan – methode'—12
2.4 MIRT Onderzoek heeft eerder onderzoek geëvalueerd, aangevuld, verrijkt—13
2.5 MIRT Onderzoek is begeleid door klankbordgroep met deskundigen—13
2.6 MIRT Onderzoek adviseert apart over de korte en de lange termijn—13

3 Knelpunten als gevolg van bodemerosie en aanzanding—14
3.1 Bodemdaling van de rivier is een natuurlijk en traag verlopende proces—14
3.2 Bodemdaling van de rivier heeft ander effect op de verschillende Rijntakken—16
3.3 Bodemdaling van de rivier zorgt voor meerdere knelpunten—16
3.4 Bodemdaling veroorzaakt drempels waar de scheepvaart hinder van heeft—17
3.5 Bodemdaling vergroot de hoogwaterveiligheid—18
3.6 Bodemdaling vergroot de risico's op schade aan kabels en leidingen—18
3.7 Bodemdaling tast de stabiliteit van bruggen en kademuren aan—19
3.8 Bodemdaling maakt het innemen van zoetwater onder vrij verval lastiger—19
3.9 Bodemdaling doet waterstanden dalen waardoor uiterwaarden uitdrogen—19
3.10 Bodemdaling: Richtlijnen geven te weinig houvast beoordelen knelpunten—20

4 Bodemdaling leidt tot economische en ecologische schade—22
4.1 Bodemdaling wordt niet stop gezet of opgelost met het huidige beheer—22
4.2 Bodemdaling leidt tot efficiencyverliezen en wachtkosten scheepvaart—22
4.3 Bodemdaling leidt ook tot aanzienlijke andere maatschappelijke kosten—24

5 Verschillende oplossingen voor korte termijn problemen—25
5.1 Harde laag bij Nijmegen vraagt om een oplossing op de korte termijn—25
5.2 Harde laag bij Nijmegen kan op verschillende manieren worden aangepakt—25
5.3 Harde laag bij Nijmegen: 'Opvullen erosiekuil, benedenstrooms suppleren'—25
5.4 Harde laag bij Nijmegen: 'Verwijderen van de vaste laag—26
5.5 Harde laag bij Nijmegen: 'Verlagen van de vaste laag—26
5.6 Harde laag bij Nijmegen: 'Periodiek suppleren, rivierbodem komt omhoog'—26
5.7 Harde laag bij Nijmegen: 'Kennisontwikkeling, pilots, basisbodemligging'—27
5.8 Harde laag bij Nijmegen: 'Drie pakketten voor de korte termijn'—27

6 Lange termijn oplossingen zijn 'hard en/of zacht'—28
6.1 Lange termijn: Oplossingen afgeleid van beheerstrategieën en bouwstenen—28
6.2 Lange termijn: Huidig beheer betreft uitvlakken van de rivierbodem (LT-0)—29
6.3 Lange termijn: Zachte maatregelen omkeerbaar, makkelijk bijsturen (LT-I)—29

6.4 Lange termijn: Harde maatregelen optimaliseren riviersysteem (LT–II, III)—29
6.5 Lange termijn: Innovatieve maatregelen bieden perspectief (LT-IV)—31
6.6 Lange termijn: Oplossingen beoordeeld op basis van twee clusters criteria—32
6.7 Lange termijn: Oplossingen verschillen in periodieke en eenmalige kosten—33
6.8 Lange termijn: Oplossingen kunnen zacht en/of hard zijn—33

7 De rivierbodem verbindt de belangen van de stakeholders—35
7.1 Stakeholders via ateliers en gesprekken betrokken bij MIRT Onderzoek—35
7.2 Stakeholders delen het belang om bodemdaling tegen te gaan—35
7.3 Stakeholders van onwetend, neutraal naar betrokken en positief—35
7.4 Stakeholders hebben een voorkeur voor 'zachte' maatregelen—36
7.5 Stakeholders vinden het te vroeg voor samenwerking in concrete projecten—36
7.6 Stakeholders zien wel verschillende kansen voor samenwerking—36

8 Verschillende vervolgstappen zijn mogelijk—38
8.1 Vervolg: Ontwikkelpad op hoofdlijnen toont vijf majeure keuzes—38
8.2 Vervolg: 'Korte termijn maatregelen bij Nijmegen snel realiseren (1)'—39
8.3 Vervolg: 'Afspraken beheer en onderhoud bij elke vervolgaanpak nodig' (2)—39
8.4 Vervolg: 'MIRT Verkenning niet opportuun want geen zicht financiering (3)'—39
8.5 Vervolg: 'Programma-aanpak is flexibel en adaptief (4)'—39
8.6 Vervolg: 'Duurzame bodemligging kan onderdeel zijn ander programma' (5)—40
8.7 Vervolg: De Rivier is in beweging het onderzoek dus ook—40

9 Conclusies—42
9.1 Conclusie 1: 'Bodemdaling leidt tot economische en ecologisch schade'—42
9.2 Conclusie 2: 'Aanpak harde laag bij Nijmegen op korte termijn noodzakelijk'—42
9.3 Conclusie 3: 'Lange termijn oplossingen kunnen zacht en/of hard zijn'—42
9.4 Conclusie 4: 'De rivierbodem verbindt belangen stakeholders'—43
9.5 Conclusie 5: 'Programma aanpak is een logisch vervolg op MIRT Onderzoek'—43

10 Bijlage: Afweging van de alternatieven—44
10.1 Beoordelingskader: Scores—44
10.2 Beoordelingskader: Toelichting bij de scores—45

Samenvatting

Dit eindrapport beschrijft de resultaten van een MIRT Onderzoek. Dit eindrapport is geschreven met de methode van piramideschrijven. Hierbij geeft de inhoudsopgave een korte samenvatting van het rapport.

Dit MIRT Onderzoek richt zich op de scope, opgaven en stakeholders. Het MIRT onderzoek borduurt voort op eerder onderzoek en is gebaseerd op een 'snelkookpan methode'. Eerdere onderzoeken zijn aangevuld en verrijkt. Een reflectiegroep van deskundigen heeft over de schouders meegekeken. Het MIRT Onderzoek onderscheid opgaven op de korte en de lange termijn.

Dit MIRT Onderzoek richt zich op de knelpunten ten gevolge van voortschrijdende bodemdaling van de rivierbodem. Voortschrijdende bodemdaling wordt veroorzaakt door voortschrijdende bodemerosie en aanzanding. Voortschrijdende bodemdaling beïnvloedt het stromingspatroon in de verschillende riviertakken van de Rijn en zorgt voor knelpunten voor meerdere functies. Voortschrijdende bodemdaling

- veroorzaakt drempels in de bodem waar de scheepvaart hinder van ondervindt;
- kan hoogwaterveiligheid vergroten, mits de afvoer over riviertakken niet wijzigt;
- vergroot de risico's op schade aan kabels en leidingen;
- tast de stabiliteit van bruggen en kademuren aan;
- maakt het innemen van zoetwater lastiger;
- doet waterstanden dalen en uiterwaarden en binnendijkse gebieden uitdrogen.

Gebleken is dat de beschikbare wetgeving, richtlijnen en normen onvoldoende houvast bieden bij het beoordelen van de ernst van knelpunten ten gevolge van voortschrijdende bodemdaling.

Voortschrijdende bodemdaling leidt tot aanzienlijke economische en ecologische schade. Het huidige bodembeheer lost de bodemerosie en voortschrijdende bodemdaling niet op. Op de korte en lange termijn is actie nodig.

De korte termijn oplossingen richten zich op de problemen bij Nijmegen. Bij Nijmegen is in 1988 een 0.70m dikke laag steenbestorting (40 – 200 kg) aangebracht. De functie van deze harde laag is om de buitenbocht van de rivier vast te leggen en de rivier op diepte te houden. Voortschrijdende bodemerosie heeft ertoe geleid dat de vaste laag nu een drempel in de rivierbodem vormt. De drempel geeft bij lage rivierafvoeren en waterstanden hinder en een knelpunt voor de scheepvaart. Dit knelpunt vraagt binnen tien jaar om een oplossing. De korte termijn oplossing kan bestaan uit het

- opvullen van de erosiekuil benedenstrooms, zodat de waterspiegel boven de vaste laag wordt opgezet;
- verwijderen van de vaste laag;
- verlagen (uitvlakken) van de vaste laag;
- periodiek suppleren benedenstroom van de vaste laag om bodemerosie te stoppen en bodem omhoog te brengen;
- doen van aanvullend onderzoek in de vorm van pilots en het ontwikkelen van richtlijnen en normen voor een basisbodemligging (BBL).

Op basis van deze oplossingen zijn drie pakketten uitgewerkt (KT-I, II en III) en geraamd. Hieruit blijkt dat met een korte termijn oplossing circa € 50 miljoen (prijspeil 2017, exclusief BTW) is gemoeid. Hierbij bestaat de oplossing uit het deels verlagen van de harde laag in combinatie met suppleren op de verschillende

riviertakken. Suppleren is nodig omdat door het verlagen van de bodem van de rivier verandert. Dit heeft invloed op het verloop van de waterstanden en de verdeling van de rivierafvoeren over de riviertakken bij hoge waterstanden bij Lobith. Om dit te niet te doen is het nodig om in de riviertakken te suppleren.

Het huidige beheer van de rivierbodem richt zich voornamelijk op baggeren en het uitvlakken van de bodem. Hierdoor zullen de knelpunten ten gevolge van voortschrijdende bodemerosie steeds groter worden.

Aanvullende maatregelen voor de lange termijn zijn nodig.
Hierbij kan de strategie van het beheer van de rivierbodem voornamelijk bestaan uit
- zachte maatregelen, dit betreft voornamelijk het periodiek suppleren;
- harde maatregelen, dit betreft het aanleggen, beheren en onderhouden van harde constructies in de rivier (kribben, langsdammen, harde bodemlagen);
- een combinatie van zachte en harde maatregelen.

Op basis van deze oplossingen zijn drie pakketten uitgewerkt (LT-I, II en III) en geraamd. Hierbij bestaat de oplossingen uit combinaties van zachte en/of harde maatregelen. De lange termijn oplossingen verschillen in kosten (prijspeil 2017, exclusief BTW) en effecten. Innovatieve oplossingen, evenals het lange termijn onderzoek naar het gedrag van de rivier, effect van ingrepen en afspraken over een basisbodemligging (BBL, zie ook de korte termijn) verdienen hierbij apart aandacht.

Bij dit MIRT Onderzoek zijn verschillende stakeholders betrokken. Met de stakeholders zijn gesprekken gevoerd. De stakeholders hebben ook meegedacht in de Value Engineering ateliers en tijdens de Hackathon met jonge professionals. De meeste stakeholders delen het belang van het tegengaan van voortschrijdende bodemerosie en bodemdaling. De stakeholders zien het belang van een adequaat beheer van de rivierbodem en goede afspraken hierover. De stakeholders erkennen dat maatregelen op de korte en lange termijn nodig zijn. De stakeholders zien vinden het nog te vroeg om afspraken te maken over samenwerking maar zien deze mogelijkheden wel. Het is nodig om concrete projecten te starten zodat de mogelijkheden voor samenwerking duidelijk worden.

Het MIRT Onderzoek kan op verschillende manieren een vervolg krijgen.
Hierbij is het van belang om snel
1. een besluit te nemen over een korte termijn oplossing voor knelpunten bij Nijmegen (de drempel, die de harde laag vormt);
2. afspraken te maken over het beheer en onderhoud van de rivierbodem. Zo wordt voorkomen dat de bodemerosie te grote knelpunten gaat veroorzaken;

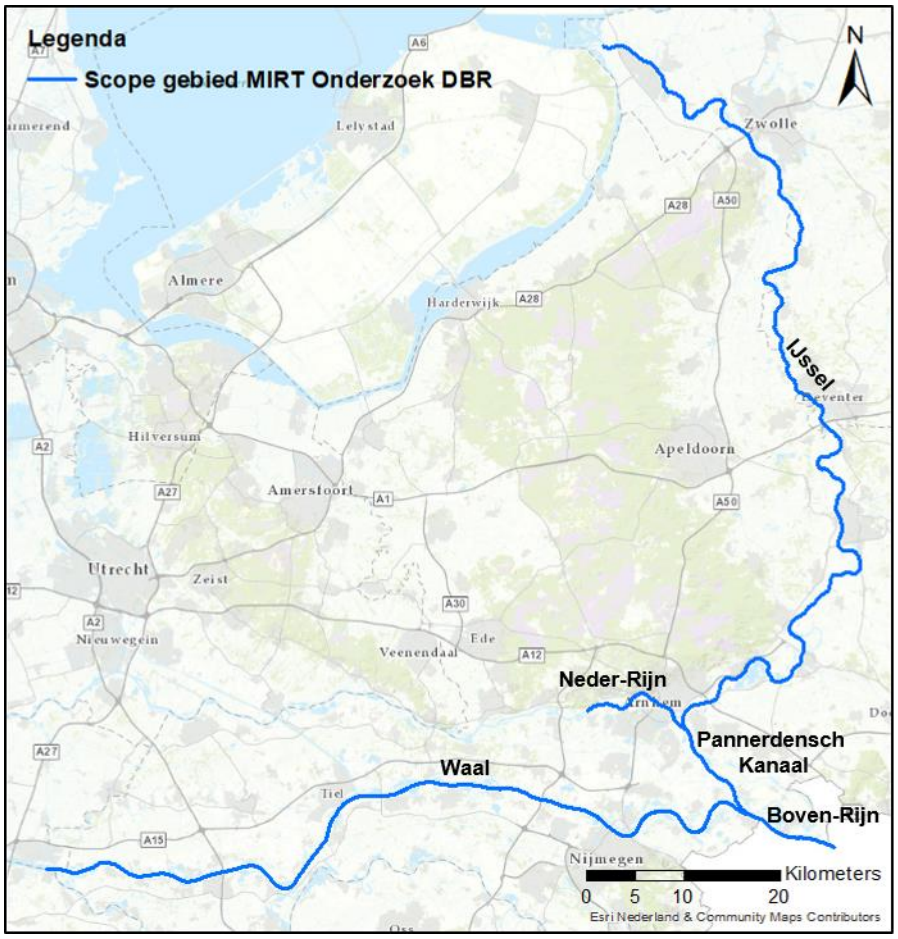
Voor het maken van afspraken over de lange termijn
3. is een verkenning niet opportuun omdat het zicht financiering ontbreekt;
4. geeft het starten van een apart programma voor het beheer en onderhoud van de rivierbodem mogelijkheden om dingen (korte termijn oplossing, lange termijn oplossing, onderzoek, monitoren en basisbodemligging) te combineren;
5. kunnen de lange termijn oplossingen worden ondergebracht in een ander programma, zoals bijvoorbeeld de LTAR (Lange Termijn Ambitie Rivieren).

Concluderend blijkt uit dit MIRT Onderzoek dat
1. voortschrijdende bodemdaling leidt tot economische en ecologische schade;
2. de knelpunten bij Nijmegen snel moeten worden aangepakt;
3. lange termijn oplossingen kunnen bestaan uit harde en zachte maatregelen;
4. stakeholders het belang van adequaat beheer van de rivierbodem delen;
5. een programma aanpak (duurzaam bodembeheer) een logisch vervolg op dit MIRT Onderzoek is.

1 Structuur van dit eindrapport

1.1 Eindrapport beschrijft de resultaten van een MIRT onderzoek

Het voorliggende beschrijft de resultaten van het MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken (DBR). In dit Onderzoek zijn de opgaven en mogelijke oplossingen in kaart gebracht voor de problematiek van trendmatige bodemdaling van de riviertakken Boven-Rijn, Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn (tot Driel) en IJssel in Oost Nederland (zie figuur 1). Ook worden de mogelijke vervolgstappen na dit MIRT Onderzoek toegelicht.



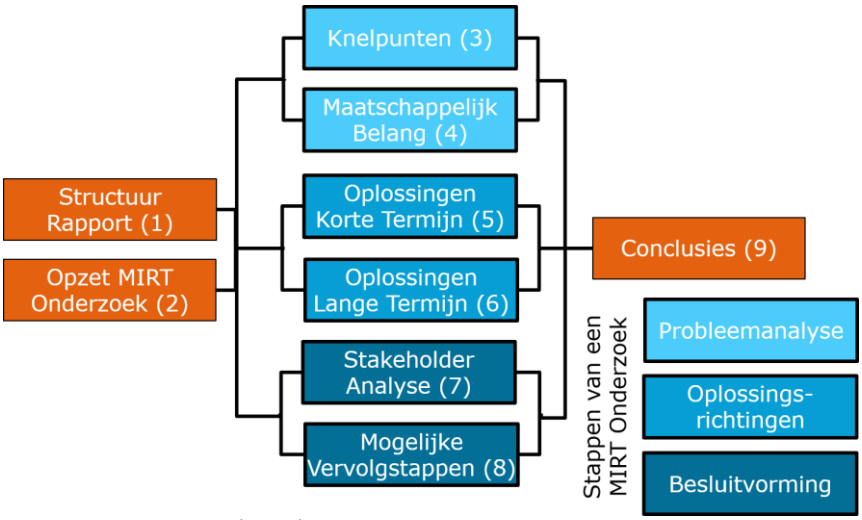
Figuur 1. Het MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken scope gebied.

1.2 Eindrapport is geschreven op basis van de methode van piramideschrijven

Dit rapport is opgesteld volgens het zogenaamde 'piramideprincipe'. Bij deze manier van schrijven staan kernboodschappen centraal. Elke titel van een hoofdstuk en een paragraaf is geformuleerd in de vorm van een kernboodschap aan de lezer. In de teksten per onderdeel wordt de kernboodschap nader uitgewerkt. Dit maakt het voor de lezer mogelijk om de tekst snel te scannen en te bepalen waarover de lezer meer wil weten.

1.3 Eindrapport bestaat uit in totaal 9 hoofdstukken

De structuur van dit rapport wordt ook weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Structuur van dit eindrapport.

De eerste twee hoofdstukken vormen de **inleiding** van dit rapport. Zo wordt in **hoofdstuk 1** de structuur van dit rapport toegelicht. In **hoofdstuk 2** wordt toegelicht wat een MIRT Onderzoek omvat, hoe dit past binnen de MIRT systematiek en volgens welke aanpak het Onderzoek is uitgevoerd.

In de hoofdstukken 3 en 4 wordt ingegaan op de **probleemanalyse**. Zo wordt in **hoofdstuk 3** ingegaan op de knelpunten als gevolg van erosie en aanzanding van de rivierbodem. Ook worden de economische en ecologische argumenten beschreven waarom de geschetste knelpunten moeten worden opgelost. In **hoofdstuk 4** wordt ingegaan op het economische en maatschappelijke belang.

In de **hoofdstukken 5 en 6** worden **mogelijke oplossingen** voor de korte respectievelijk lange termijn toegelicht. Ook worden mogelijke innovatieve oplossingen belicht die tijdens het Onderzoek zijn bedacht. Tenslotte worden de criteria beschreven waarmee oplossingen zijn afgewogen inclusief het resultaat van deze afweging.

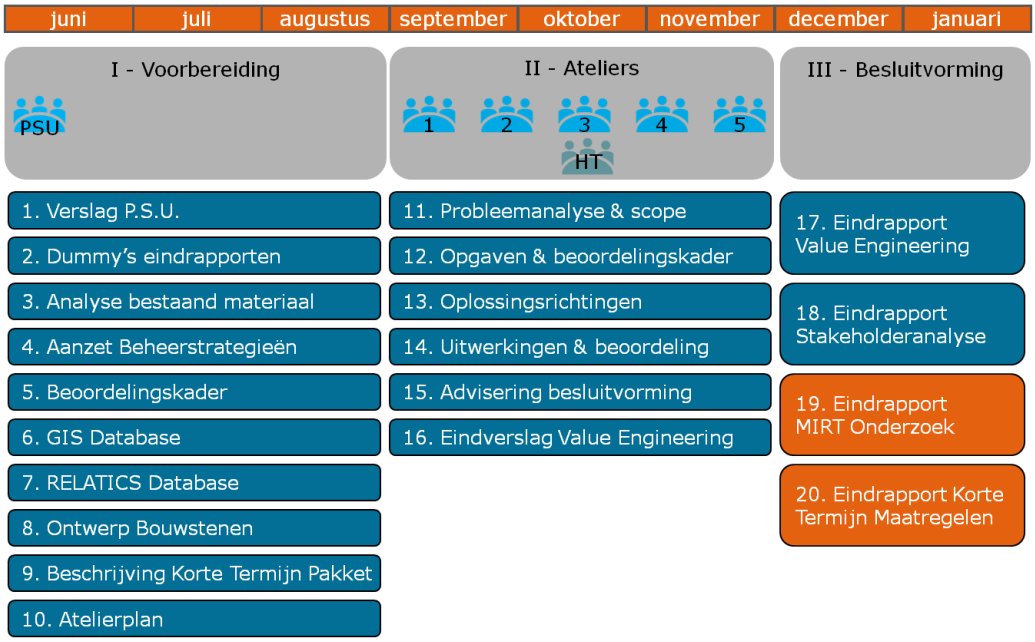
In de hoofdstukken 7 en 8 wordt gekeken naar aspecten, die bij de **besluitvorming** een rol spelen. Zo omvat **hoofdstuk 7** een inventarisatie van de stakeholders die belangen hebben bij de bodemligging van de riviertakken en belicht hun visie op het vraagstuk. **Hoofdstuk 8** gaat in op de mogelijke vervolgstappen na het MIRT Onderzoek en het nader onderzoek dat nodig is.

Tot slot wordt in **hoofdstuk 9** ingegaan op de **conclusies en aanbevelingen** op basis van het uitgevoerde MIRT Onderzoek.

1.4 Eindrapport put uit 20 achtergrondrapporten

Dit eindrapport is gebaseerd op in totaal 20 achtergrondrapporten.

Deze achtergrondrapporten zijn opgenomen in figuur 3.



Figuur 3: overzicht van alle achtergrondrapporten van het MIRT Onderzoek

Dit eindrapport is rapport 19 in bovenstaand schema. Naast dit eindrapport is er ook een eindrapport Korte Termijn Maatregelen (rapport 20) beschikbaar.

Naast 20 rapporten heeft dit onderzoek ook twee databases opgeleverd te weten: een database met GIS informatie (6. GIS Database) van het gebied en een database met informatie over de verschillende stakeholders (7. RELATICS). Bij het vullen van de GIS database is samengewerkt met de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Bij een mogelijk vervolg bevatten de databases de benodigde verzamelde informatie.

Dit eindrapport is bedoeld voor lezers, die zich snel een beeld willen vormen van het verrichte onderzoek en de belangrijkste resultaten en conclusies. In dit rapport zijn een beperkt aantal 'facts & figures' opgenomen. Deze gegevens onderbouwen de verhaallijn. Daarnaast heeft het onderzoek nog veel meer onderzoeksresultaten en details opgeleverd. Hiervoor wordt verwezen naar de achtergrondrapporten.

2 Opzet en aanpak van het MIRT Onderzoek

2.1 MIRT Onderzoek maakt de opgaven, scope en stakeholders helder

Een MIRT Onderzoek is bedoeld om de gebiedsgerichte of thematische opgave(n), scope, stakeholders en shareholders in kaart te brengen wanneer deze nog onvoldoende helder zijn. Een MIRT Onderzoek bestaat meestal uit drie stappen: (1) probleemanalyse, (2) oplossingsrichtingen en (3) besluitvorming over het vervolg. Conform het Spelregelkader MIRT kan een MIRT Onderzoek resulteren in een besluit (Startbeslissing) voor een MIRT Verkenning. Er kan echter ook besloten worden dat er voor onderdelen nader onderzoek nodig is, geen verdere of andersoortige actie is vereist of dat een oplossingsrichting buiten het kader van een MIRT project wordt uitgewerkt. Een ander mogelijk vervolg is een programmatisch georganiseerde aanpak van de problematiek.

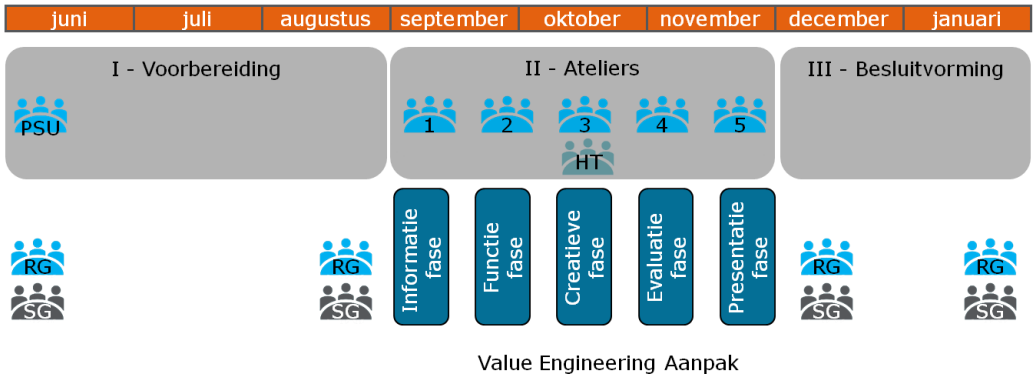
2.2 MIRT Onderzoek borduurt voort op eerder onderzoek

Vanuit het onderzoek Duurzame Vaardiepte Rijntakken (DVR2) zijn al veel aspecten van aanzanding en bodemerosie onderzocht en met name over de gevolgen voor de vaardiepte. Ook zijn de gevolgen voor de korte en lange termijn zijn middels modelsimulaties al in kaart gebracht. Op basis hiervan zijn maatregelen gedefinieerd om de problemen als gevolg van erosie en aanzanding tegen te gaan.

Ook worden twee pilot projecten uitgevoerd, namelijk de aanleg en monitoren van een langsdam in de Waal bij Tiel en het uitvoeren en monitoren van suppleties in de Boven-Rijn op de grens met Duitsland. Het monitoringsprogramma om de effecten van deze pilots te analyseren, loopt nog. Aangenomen wordt dat de effecten van deze pilots op de bodemligging positief zullen zijn maar het is nog te vroeg om deze conclusie met zekerheid te kunnen trekken.

2.3 MIRT Onderzoek is uitgevoerd met een 'snelkookpan – methode'

Vanwege de al beschikbare kennis en de noodzaak om de meest urgente knelpunten snel op te lossen is gekozen voor een "snelkookpan" methode (zie figuur 4). Hierbij is de methode van Value Engineering toegepast zodat de stappen van het MIRT Onderzoek sneller konden worden doorlopen.



Figuur 4. Aanpak MIRT Onderzoek "snelkookpan".

2.4 MIRT Onderzoek heeft eerder onderzoek geëvalueerd, aangevuld, verrijkt

Bij de afronding van het onderzoek Duurzame Vaardiepte Rijntakken (DVR2, medio 2016) lukte het niet om te besluiten over een maatregelpakket met bijbehorend budget. De reden was dat de maatregelen te globaal waren uitgewerkt waardoor de onzekerheidsmarge rond om de budget te groot was. Ook was niet duidelijk of andere stakeholders een (financiële) bijdrage konden leveren. Dit waren de voornaamste reden om de opdracht voor dit MIRT Onderzoek te geven.

Omdat veel onderzoeksmateriaal al beschikbaar was is gekozen om dat materiaal aan te vullen. De **belangrijkste aanvullingen** zijn een beter inzicht in de

- diverse functies en opgaven waar bodemerosie effect op heeft;
- relatie die de bodemdaling heeft met andere programma's (hoogwaterveiligheid, ecologie, etc.);
- mogelijke verschillende typen maatregelen;
- morfologische effecten van de verschillende typen maatregelen (suppleren, kribaanpassingen, etc.);
- kosten van de verschillende typen maatregelen;
- economische effecten van de verschillende typen maatregelen;
- bijdrage die stakeholders kunnen leveren bij het uitwerken en realiseren.

In de **Value Engineering ateliers** zijn de resultaten van onder andere het DVR2 onderzoek besproken met deskundigen (Rijkswaterstaat, andere stakeholders). De ateliers hebben een verdieping gegeven op de probleemanalyse en mogelijke maatregelen voor de korte en lange termijn. Ook zijn ideeën gegenereerd voor **nieuwe, innovatieve oplossingen** om de problemen met bodemerosie en aanzanding op korte en lange termijn aan te pakken. Hierbij heeft een **Hackathon** met **jonge professionals** een belangrijke rol gespeeld en veel energie opgeleverd.

2.5 MIRT Onderzoek is begeleid door klankbordgroep met deskundigen

De onderzoeksresultaten zijn voorgelegd aan, besproken met, een klankbordgroep. In deze klankbordgroep waren deskundigen met kennis van verschillende thema's en vakgebieden vertegenwoordigd. De reflecties en adviezen van de klankbordgroep zijn meegenomen en verwerkt in dit MIRT Onderzoek.

2.6 MIRT Onderzoek adviseert apart over de korte en de lange termijn

In dit MIRT Onderzoek is onderscheid gemaakt tussen maatregelen voor de korte en de lange termijn. Om deze reden zijn ze in deze eindrapportage opgesplitst.

Hierbij richten de **korte termijn maatregelen** zich op de problemen met de grootste urgentie. Dit betreft met name het oplossen van de problemen bij Nijmegen. Hier veroorzaakt de steenbestorting op de rivierbodem problemen voor de vaardiepte voor de scheepvaart bij laagwater. Dit is een urgent knelpunt, dat verergert binnen nu (2018) en tien jaar (2028). Dit vraagt om een versnelde aanpak. De korte termijn maatregelen staan beschreven in hoofdstuk 5. Tevens is een apart rapport: 'Korte Termijn Maatregelen' beschikbaar.

De **lange termijn maatregelen** richten zich op het tegengaan of stoppen van de daling van de rivierbodem. Bodemerosie veroorzaakt problemen en op termijn knelpunten voor meerdere functies in de rivier. De planhorizon is hierbij na 2028. De lange termijn maatregelen staan beschreven in hoofdstuk 6.

3 Knelpunten als gevolg van bodemerosie en aanzanding

3.1 Bodemdaling van de rivier is een natuurlijk en traag verlopende proces

Bodemerosie en aanzanding zijn twee morfologische processen, die de bodemligging van het zomerbed bepalen. In de Nederlandse riviertakken van de Rijn is voornamelijk sprake van bodemdaling als gevolg van bodemerosie.

Bodemerosie ontstaat op plaatsen waar de rivier meer sediment afvoert dan aanvoert. De bodemerosie in de Rijntakken is toegenomen door de aanleg van kribben, kades en dijken. Hierdoor stroomt het water in de rivier sneller, kan de rivier meer zand transporteren en verandert het evenwicht van het verloop van de waterstanden in de rivier. Het resultaat is dat er meer bodemerosie plaatsvindt. Ook zijn in Duitsland stuwen aangebracht en is de bodem van de Rijn bestort en afgepleisterd. Hierdoor is de aanvoer van sediment naar Nederland afgenomen. Dit heeft de 'zandhonger' van de rivier doen toenemen.

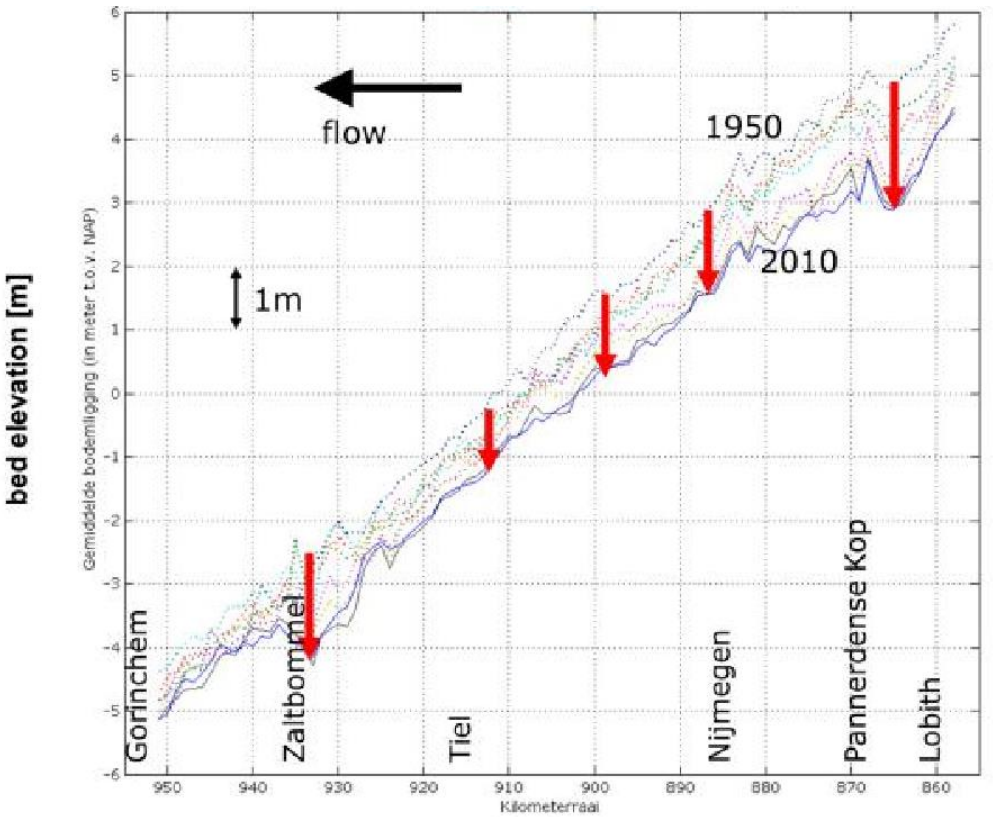
In onderstaande kaart (figuur 5) is de bodemerosie in cm/jaar weergegeven. Hierbij verloopt de bodemerosie van circa 1.5 cm/jaar ter hoogte van Lobith tot vrijwel geen bodemerosie ter hoogte van Tiel (Waal) en Zutphen (IJssel).



Figuur 5. Overzicht bodemerosie cm/jaar binnen het MIRT DBR scope gebied.

Over een periode van 10 jaar bedraagt de bodemdaling circa 15 centimeter. De afgelopen eeuw is de bodem met 1,5 tot 2 meter gezakt.

De waterstand volgt de lokale bodemerosie, waardoor de waterstand ook daalt op de Rijntakken (figuur 6). Dit is vooral merkbaar in het zomerbed bij lage afvoeren.



Figuur 6: Trendmatige bodemdaling Boven-Rijn en Waal

Naast de lange termijn daling van het zomerbed in de Rijntakken treedt er lokaal ook aanzanding op. Aanzanding is het afzetten van sediment door de rivier waardoor de rivierbodem op die plek hoger komt te liggen. Dit proces wordt de laatste jaren in toenemende mate versterkt als gevolg van gerealiseerde maatregelen als rivierverruiming en de aanleg van meestromende nevengeulen. Dit effect wordt deels gecompenseerd door onderhoudsbaggerwerk.

Verwacht wordt dat aanzanding lokaal toeneemt als gevolg van deze rivier verruimende maatregelen. Aanzanding in de vaargeul wordt bestreden door het periodiek baggeren. Wanneer de bagger wordt afgevoerd, wat in het verleden gebruikelijk was, versterkt dit het proces van bodemdaling. Het huidige beleid schrijft bovenstrooms terugstorten van sediment of terugstorten van sediment op locaties waar scheepvaart er geen hinder van heeft.

De rivier voert minder sediment uit Duitsland aan. Door de aanwezigheid van o.a. kribben stroomt het water sneller en kan de rivier meer sediment afvoeren. Dit heeft invloed op het evenwicht van het verloop van de waterstanden in de rivier. Het resultaat is dat bodemerosie optreedt. Ook werd met periodiek baggeren sediment aan de rivier onttrokken. Hierdoor neemt de bodemerosie verder toe.

Facts & figures
Literatuur en onderzoek geven aan dat er een tekort op de sediment aanvoer uit Duitsland van ongeveer 50.000 m3 / jaar is. Door aanpassingen in de Rijn(takken) in Nederland zijn de stroomsnelheden veranderd waardoor ook het zandtransport en de zandbalans in het Nederlandse gedeelte van de Rijn(takken) is veranderd.

De onbalans in sedimenttransport is op de IJssel minder groot. De bodem van de IJssel daalt wel maar in mindere snel en over een minder lang traject.

Binnen dit MIRT Onderzoek is gekozen voor een "snelkookpan aanpak". In de Value Engineering ateliers zijn de Duitse partners niet betrokken. Voor het ontwikkelen en realiseren van structurele oplossingen voor de lange termijn is wel afstemming met Duitsland nodig. Hierbij wordt opgemerkt dat de Duitse partners de wens hebben uitgesproken om in overleg te willen gaan over concrete maatregelen als dit aan de orde is. Tot op heden waren de plannen onvoldoende concreet om dit al te doen.

3.2 Bodemdaling van de rivier heeft ander effect op de verschillende Rijntakken

Het proces van bodemerosie en aanzanding heeft effect op de ligging van de rivierbodem van de verschillende takken van de Rijn. Hierdoor verandert ook het verloop van de waterstanden in de riviertakken: de verhanglijnen, en verandert ook de verdeling in de afvoer van de waterhoeveelheden over de Rijntakken.

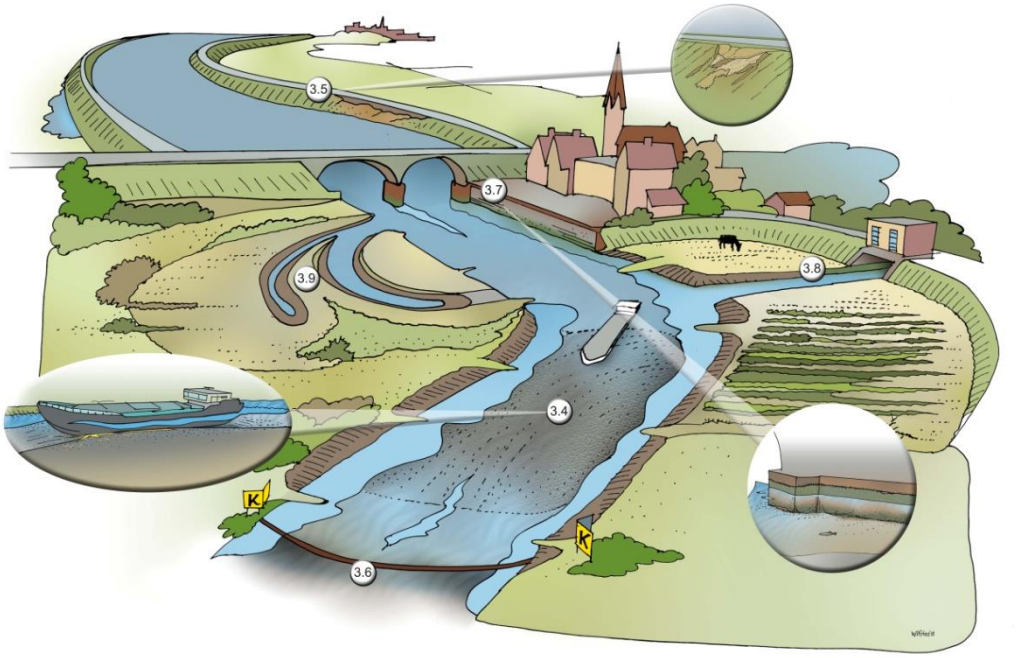
Dit leidt tot een afwijking van de ontwerpwaterstanden in de verschillende riviertakken bij hoge maatgevende rivierafvoeren. Dit dient te worden gecorrigeerd door de afvoerverdeling bij hoge rivierafvoeren bij het splitsingspunt bij Lobith aan te passen. Bij lage waterstanden kan een andere afvoerverdeling bij Lobith leiden tot te lage waterstanden in de riviertakken zodat de overeengekomen waterdiepten voor de scheepvaart niet gewaarborgd kunnen worden. Tot slot kan de inname van zoetwater in regionale en lokale watersystemen op bepaalde locaties nadelig worden beïnvloed. Kortom voortschrijdende daling van de rivierbodem heeft grote gevolgen.

3.3 Bodemdaling van de rivier zorgt voor meerdere knelpunten

De daling van de rivierbodem als gevolg van de onbalans in sediment aan- en afvoer verloopt traag maar gestaag. Op sommige locaties bedraagt de bodemdaling enkele decimeters in een periode van 30 jaar (zie figuur 6). Hierdoor ontstaan problemen binnen zes verschillende en samenhangende thema's, zie figuur en figuur 8. In de volgende paragrafen worden deze toegelicht. In §3.10 wordt aangegeven waar conflicten ontstaan met relevante normen en regelgeving.



Figuur 7. Schematisch overzicht van verschillende thema's die een rol spelen binnen het vraagstuk van een Duurzame Bodemligging Rijntakken (DBR).



Figuur 8. Visualisatie van de knelpunten, die een rol spelen binnen het MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken als gevolg van de bodemdaling in deze Rijntakken. 1: Scheepvaart (paragraaf 3.4), 2: Hoogwaterveiligheid (paragraaf 3.5), 3: Kruisende kabels en leidingen (paragraaf 3.6), 4: Kunstwerken (paragraaf 3.7), 5: Zoetwater inname punten (paragraaf 3.8), 6: Ecologie (paragraaf 3.9).

3.4 Bodemdaling veroorzaakt drempels waar de scheepvaart hinder van heeft

Op locaties waar de rivierbodem is verhard, zoals bijvoorbeeld bij sluizen of op een plek waar de rivierbodem met stenen is vastgelegd, daalt de rivierbodem niet. Deze locaties zorgen voor knelpunten als direct naast de harde bodem sprake is van bodemerosie waardoor de rivierbodem daalt. Dit speelt bij lage rivierwaterstanden. Schepen kunnen dan minder zwaar worden beladen of raken de bodem.

Op dit moment vormt een harde laag bij Nijmegen het meest urgente knelpunt. Dit betreft met name de perioden met lage afvoer, die enkele weken per jaar optreedt. De scheepvaartbranche dringt daarom al geruime tijd aan op maatregelen om bodemdaling tegen te gaan. De scheepvaartbranche geeft aan dat er bij kleine afvoeren nu al situaties optreden waarbij schepen de bodem raken.

Facts & figures

De scheepvaartbranche (Schuttevaer) geeft aan dat de scheepvaart in extreem droge jaren 2 tot 3 maanden hinder van de drempel (harde laag Nijmegen) heeft.

De maximale diepgang (incl. kielspeling) van een CEMT-VI klasse containerschip is 4,68m. Bij kleine afvoeren is de diepgang niet te garanderen. De beladingsgraad moet minder zijn. Het betreft een normale verdeling met een gemiddelde beladingsgraad van 65% en standaarddeviatie van 12%. Voortschrijdende bodemdaling maakt een verdere reductie van de beladingsgraad noodzakelijk.

Nabij de harde laag liggen de kolkdrempels van de sluis naar het Maas-Waalkanaal. Tijdens de Value Engineering sessies is opgemerkt dat ook hier problemen worden verwacht.

3.5 Bodemdaling vergroot de hoogwaterveiligheid

Voortschrijdende daling van de rivierbodem in het zomerbed heeft een positief effect op de waterstanden bij hoge rivierafvoeren. Door de daling van de rivierbodem neemt de dwarsdoorsnede in de rivier toe waardoor een groter watervolume kan worden afgevoerd. Dit is positief voor de hoogwaterveiligheid. Echter dit effect werkt bij hoge waterstanden beperkt door. Dit komt doordat het beschikbare volume voor waterafvoer van het winterbed aanzienlijk groter is dan van het zomerbed.

Door het veranderen van het verloop van de waterstanden in de riviertakken bij hoge rivierafvoeren kan ook de verdeling van de rivierafvoeren over de riviertakken veranderen, zie hiervoor ook §3.2. Dit kan een negatief effect op de waterstanden in één van de riviertakken hebben en zo de hoogwaterveiligheid negatief beïnvloeden. Dit kan aanpassen van de afvoerverdeling bij het splitsingspunt bij Pannerdensche Kop voor grote rivierafvoeren noodzakelijk maken.

Maatregelen tegen bodemerosie (bijvoorbeeld suppleren) kunnen leiden tot het stijgen van de waterstanden in de riviertakken. Hierdoor neemt de hoogwater-veiligheid af. Vanwege de stringente regelgeving voor hoogwaterveiligheid zorgt dit voor juridische issues en over het algemeen voor een compensatieverplichting. Dit maakt het noodzakelijk voortschrijdende bodemerosie en de maatregelen daartegen in breed perspectief te zien.

Facts & figures

Conform de beleidslijn Grote Rivieren en het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK 4.0) mag er geen opstuwing veroorzaakt worden, zonder dat dit gecompenseerd wordt. In de praktijk is het uitgangspunt is dat elke verhoging meer dan 0,2 cm gecompenseerd moet worden. De waterstanden dienen te worden berekend met het rivierkundige model WAQUA.

3.6 Bodemdaling vergroot de risico's op schade aan kabels en leidingen

Naar schatting enkele honderden kabels en leidingen kruisen ondergronds de Rijntakken. Door het proces van bodemdaling als gevolg van erosie neemt de gronddekking op deze kabels en leidingen af. Bij een dekking van minder dan 1,5 m ontstaan er risico's op schade door aanvaring of bij het gebruik van scheepsankers. Beschadiging van kabels en leidingen kan bij weglekkende vloeistoffen of uitval van systemen (energie, water, telecom, etc.) leiden tot (milieu)calamiteiten.

Facts & figures

De norm is vastgelegd in een handreiking "Handhaving en vergunningverlening bij gronddekking op kabels en leidingen in rijkswateren" (2014). De handreiking is de basis voor regulering en uniforme handhaving. De dekkingsgraad is gebaseerd op kentallen, die door Deltares zijn opgesteld. De gronddekking garandeert de veiligheid van de kabels en leidingen bij noodankeren en bij baggeren. Een minimale gronddekking van 1.5 meter is gebaseerd op noodankeren door klasse I schepen en zandbodems. Bij klasse V schepen wordt in zandbodems is dit 2 meter. Voor klei bodems geldt voor de gronddekking een laag van 5 tot 8 meter.

Een eerste analyse wijst uit dat bij circa 25% van in totaal circa 600 kabels en leidingen de gronddekking onvoldoende is. Hiervan is circa 10% (57) acuut.

3.7 Bodemdaling tast de stabiliteit van bruggen en kademuren aan

Kademuren en brugpijlers zijn veelal gefundeerd op palen en berekend op het bodemniveau ten tijde van de aanleg. De stabiliteit van deze constructies wordt gereduceerd door de daling van de rivierbodem. Vooral voor de oudere kunstwerken kan dit tot problemen leiden. De ernst en omvang van deze problematiek is niet onderzocht en niet bekend.

Facts & figures

Na overleg met de Basis Registratie Ondergrond (BRO) is geconstateerd dat de benodigde (geotechnische) gegevens voor de beoordeling van potentiële stabiliteitsproblemen niet beschikbaar zijn. Hierdoor is een stabiliteitsanalyse nu niet mogelijk en zijn feiten en cijfers nu moeilijk te geven. Tevens kan worden geconcludeerd dat een analyse per kademuur en brug(pijler) maatwerk is en dus veel tijd en onderzoeksinspanning kan kosten.

3.8 Bodemdaling maakt het innemen van zoetwater onder vrij verval lastiger

Eén van de functies van de Rijntakken is de aanvoer van zoetwater dat wordt ingelaten in regionale watersystemen. Doordat het waterpeil evenredig daalt met de bodemdaling ontstaan bij laagwater (vooral in de zomer) in toenemende mate knelpunten voor deze waterinname. Hierdoor daalt het waterpeil in de regionale systemen waardoor economische schade ontstaat aan landbouw en natuur als gevolg van verdroging. Het Deltaprogramma Zoetwater doet onderzoek naar deze problematiek en naar mogelijke oplossingen.

Eén van de onderzoeken van het Deltaprogramma Zoetwater richt zich op de waterverdeling bij lage afvoeren. Als er bijvoorbeeld meer water richting IJsselmeer gestuurd wordt en minder via de Waal, neemt de transportcapaciteit voor zand van de rivier en daardoor ook de bodemerosie af. Ook betekent een verminderde afvoer over de Waal dat de waterstanden op de Waal verlaagd worden, wat problemen met zich meebrengt voor waterinname en de scheepvaart (minder vaardiepte).

Facts & figures

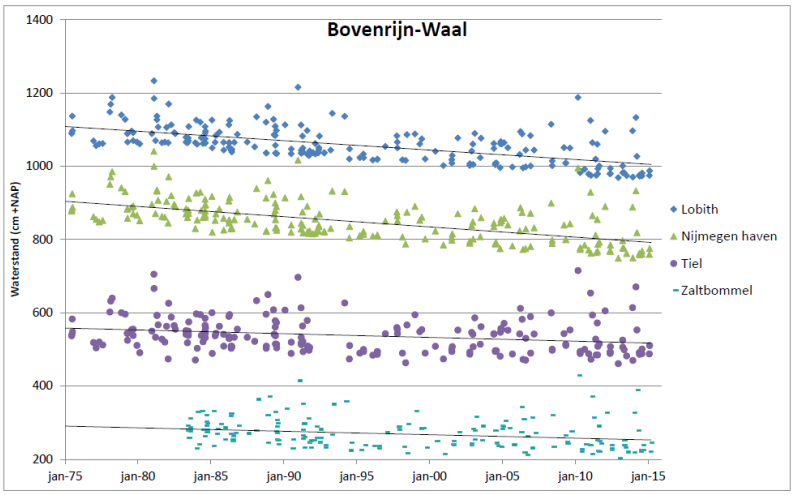
Afhankelijk van de keuze in het Deltaprogramma gaat 1/9 van de hoeveelheid rivierwater (m3), die bij Lobith aankomt, naar de IJssel en 6/9 naar de Waal.

Dit betekent dat 10% meer afvoer naar de IJssel bij een lage rivierafvoer van 780 m3 (2003) leidt tot een daling van de waterstanden met circa 2 cm op de Waal. Deze inschatting is gemaakt op basis van 'expert judgement' en hoort met WAQUA te worden berekend.

3.9 Bodemdaling doet waterstanden dalen waardoor uiterwaarden uitdrogen

De watersysteemrapportage 1990 – 2015 geeft een gedetailleerd beeld van de ecologische ontwikkeling van de Rijn uiterwaarden. De voortschrijdende daling van de rivierbodem zorgt voor een daling van het waterstanden in de rivier en de daarmee samenhangende grondwaterstanden in de uiterwaarden (zie figuur 9). De gemiddelde en laagste grondwaterstanden zijn lager geworden. Hierdoor treedt verdroging van de uiterwaarden in de zomerperiode op. Tevens stroomt het rivierwater in de uiterwaarden en nevengeulen minder frequent en kortstondiger mee. Dit is nadelig voor de flora en fauna in de betreffende gebieden.

De daling van de rivierbodem is het grootst in het oostelijk gebied van de Rijntakken. Hier zijn ook de gevolgen het grootst.



Figuur 9: Gemeten waterstanden (daggemiddelde in cm +NAP) in de periode 1975-2015 voor een afvoerrange rondom de gemiddelde afvoer (Watersysteemrapportage 1990 – 2015)

3.10 Bodemdaling: Richtlijnen geven te weinig houvast beoordelen knelpunten

Voor het beoordelen van de daling van de rivierbodem en handhaven van de ligging van de rivierbodem bestaat geen generiek wettelijk kader. Dit betekent dat moeilijk is vast te stellen in hoeverre sprake is van "urgente knelpunten".

Per thema (zie ook §3.,3) wordt beschreven of een wettelijk kader of regelgeving beschikbaar is en of kan worden vastgesteld of sprake is van een knelpunt.

Bij het bepalen of sprake is van **knelpunten** voor de **scheepvaart** kan worden uitgegaan van de overeengekomen lage rivierwaterstand (OLR). Dit is bepaald door de Centrale Commissie voor de Rijnvaart op basis van de Akte van Mannheim. Uit een analyse van de daling van de rivierbodem bij Nijmegen blijkt dat binnen nu (2018) en tien jaar (2028) knelpunten ontstaan. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de harde laag bij Nijmegen bij lage waterstanden nu al een knelpunt door de scheepvaart wordt ervaren (zie ook §3.2). Dit knelpunt wordt als urgent beoordeeld en vraagt om een aanpak op de korte termijn (binnen nu en tien jaar). Op de economische schade wordt in hoofdstuk 4 ingegaan.

Voor het beoordelen van **knelpunten** voor de **hoogwaterveiligheid** bestaat er een uitgebreid toetsingskader. Het uitgangspunt is het Ontwerp Instrumentarium (OI). Dit Ontwerp Instrumentarium is in §3.2 beschreven. Bij de beoordeling van de waterkeringen wordt uitgegaan van de ligging van de rivierbodem in 2014. De voortschrijdende bodemdaling wordt periodiek verwerkt in de toetsing van de hoogte van de waterkeringen. Daar tegenover staat dat ingrepen, die leiden tot het verhogen van de maatgevende waterstanden met meer dan 0,2 cm dienen te worden gecompenseerd. Dit betekent dat niet zomaar maatregelen (bijvoorbeeld suppleties), die leiden tot ophogen van de rivierbodem, kunnen worden genomen. Dit levert een opmerkelijke situatie: de toename van hoogwaterveiligheid als gevolg van bodemerosie wordt continu 'ingeboekt' maar de afname, als gevolg van maatregelen tegen erosie, is niet toegestaan en moet worden gecompenseerd.

Bij het bepalen of sprake is van **knelpunten** voor kabels en leidingen kan worden uitgegaan van de handreiking "Handhaving en vergunningverlening bij gronddekking op kabels en leidingen in rijkswateren (2014)". Deze richtlijn wordt als basis gebruikt voor de vergunningverlening. De richtlijn is al in §3.2 beschreven. Binnen RWS is er een programma gestart om in beeld te brengen waar de plaatsen zijn waar deze eisen overschreden dreigen te worden. Uit deze eerste inventarisatie is gebleken dat de hoogteligging van circa 10% (57) van de in totaal 600 kabels en leidingen een verhoogd risico op schade en of calamiteiten bij noodankeren veroorzaken. In beginsel zijn de eigenaren van ondergrondse infrastructuur verantwoordelijk voor een ligging met voldoende dekking. De vraag is of de leiding eigenaren voldoende op de hoogte zijn van de problematiek en het risico dat de teruglopende dekkingsgraad met zich meebrengt.

Bij het beoordelen van **knelpunten** van de **stabiliteit** van **bruggen, kademuren** en **brugpijlers** in het stroomgebied van de rivier is de bouwregelgeving het uitgangspunt. In §3.2 is al beschreven dat dit een stabiliteitsanalyse per constructie vraagt. Hier zijn veel geotechnische en constructieve gegevens voor nodig. Dit is maatwerk en is arbeidsintensief. De centrale vraag is of in het ontwerp van deze kunstwerken rekening is gehouden met voortschrijdende bodemdaling. In het kader van dit MIRT Onderzoek gaat deze analyse echter te ver. De kunstwerken, die worden beheerd door het Rijk, kunnen worden toegevoegd aan het Vervanging en Renovatie (V&R) programma van Rijkswaterstaat.

Voor het bepalen van **knelpunten** voor het **innemen** van **zoetwateraanvoer** bestaan geen normen of richtlijnen (§3.2). In de praktijk worden inlaatconstructies door de beheerders aangepast aan de dalende waterstanden. Bekend is dat het inlaatwerk voor het regionale watersysteem van Waterschap Rivierenland is aangepast om de inname van water te borgen.

Voor het beoordelen van **knelpunten** voor de **ecologie** geldt het 'stand still' principe. Dat betekent dat de kwaliteit van het waterlichaam en de natuur in het algemeen niet achteruit mag gaan. Dit is vastgelegd in verschillende wettelijke kaders. Het ambitieniveau is opgenomen in het Stroomgebied Beheersplan (SGBP, §3.2). In het SGBP wordt nu geen rekening gehouden met de voortschrijdende daling van de rivierbodem. Dit vraagt om afspraken over beheer en onderhoud en het daarbij bijbehorende budget.

De conclusie is dat de kaders en regelgeving zich richten op individuele thema's en ingrepen en geen kader geven voor het beoordelen van knelpunten ten gevolge van voortschrijdende bodemerosie. In 2018 ontbreekt een **integraal toetsingskader**, dat **signaal- en interventieniveaus** voor de bodemligging van de rivier bevat. In 2018 liep er een onderzoek van Rijkswaterstaat naar een mogelijk toetsingskader of afspraken over een **basisbodemligging (BBL)** (zie ook §3.2).

4 Bodemdaling leidt tot economische en ecologische schade

4.1 Bodemdaling wordt niet stop gezet of opgelost met het huidige beheer

Met het huidige bodembeheer zet de bodemerosie zich voort. Op dit moment wordt aanzanden weggebaggerd om de diepgang voor de scheepvaart op orde te houden.

Het huidige bodembeheer bestaat voornamelijk uit baggeren. Dit beheer is erop gericht om de bodemerosie niet te verergeren maar draagt ook niet bij aan het verminderen van de bodemerosie. Wanneer het gebaggerde materiaal uit het systeem wordt gehaald, treedt bodemerosie nog sneller op. Daarom is besloten om alle zandwinning uit het zomerbed in het beheergebied van RWS Oost Nederland stop te zetten en het gebaggerde materiaal terug te storten in het systeem.

Facts & Figures

De normalisatie van de Rijn / Waal is historisch gericht op een evenwichtsdiepte van ongeveer OLR – 2,50 meter. Zowel de OLR als de streefdiepte (nu OLR – 2,80 meter) zijn in de loop van de tijd aangepast, waardoor de geometrie en de inrichting van het systeem met kribben en de harde laag bij Nijmegen niet aansluit op de huidige wensen.

Het verschil tussen de oorspronkelijke normalisatie diepte en de huidige eisen / wensen wordt deels opgelost door baggerwerk. Dit onderhoudsbaggerwerk kost jaarlijks tussen de 1 en 2 miljoen euro (RWS ON). Onderzoeken, waaronder DVR, laten zien dat de onderhoudsinspanning in de komende jaren toe gaat nemen.

De zandige bodem benedenstrooms van de harde laag bij Nijmegen zakt met circa 2,3 cm / jaar (metingen van de bodemligging gedurende de laatste decennia). Dit resulteert in een relatief steeds hoger liggende harde laag, waardoor een scheepvaartknelpunt ontstaat. Deze bodemdaling komt grotendeels door menselijk ingrijpen in het systeem (normalisatiewerken in de rivier),

De bodemdaling wordt nog versterkt door een gemiddeld "tekort" van sediment aanvoer uit Duistland. Dit tekort gaat om orde 50.000 m3/jaar.

4.2 Bodemdaling leidt tot efficiencyverliezen en wachtkosten scheepvaart

Circa één derde van al het transport in Nederland komt voor rekening van de binnenvaart. Een verlaging van de waterdiepte in de huidige vaargeul betekent een vermindering van vracht die kan worden vervoerd (zie §4.10). Dit uit zich in een lagere gemiddelde beladingsgraad, langere wachttijden en leidt tot efficiencyverlies en hogere transportkosten voor de maatschappij. De concurrentiepositie van de binnenvaart verzwakt ten koste van andere en minder duurzame modaliteiten (vrachtauto's en goederentreinen).

Op de korte termijn speelt een probleem bij de vaste laag van Nijmegen. Doordat de aangrenzende, zachte bodem autonoom erodeert met circa 2,3 cm/jaar terwijl de vaste laag op gelijke hoogte blijft, neemt lokaal de waterdiepte af. Het gevolg daarvan is dat een schip over het gehele riviertraject minder beladen kan worden.

Wanneer er geen maatregelen worden getroffen, neemt op korte termijn (2028) de maximale beladingsgraad af en dit zal merkbaar zijn voor een belangrijk deel van de scheepvaart. Zodra onderschrijden van de OLR plaats vindt (OLR -2,8 meter) betekent dit voor de scheepvaart met grote diepgang (vooral bulktransport) dat er onvoldoende water is om door te varen. Dit leidt tot aanzienlijke economische schade voor de scheepvaart.

Facts & Figures

Binnen dit MIRT Onderzoek is een economische analyse uitgevoerd.

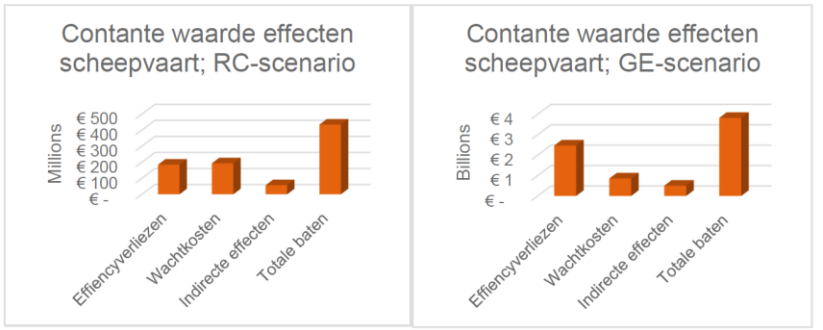
De analyse geeft een eerste schatting van de totale maatschappelijke kosten voor de scheepvaart. De totale economische schade gerelateerd aan de internationale (Europese) afspraak over de OLR -2.80m. Er is gerekend met twee economische groeiscenario's: een Regional Competition (GC) en Global Economy (GE) scenario.

De totale maatschappelijke kosten komen voor het zichtjaar 2028 uit op € 9,3 miljoen in het RC-scenario en € 15,1 miljoen in het GE-scenario. Bij een analyseperiode van 100 jaar bedragen de totale maatschappelijke kosten € 440 miljoen in het RC-scenario of € 3,8 miljard in het GE-scenario.

Deze analyse laat zien dat in het

- *RC-scenario het efficiencyverlies alleen voor Nederland in het zichtjaar 2028 gelijk is aan € 700.000. Wanneer geen maatregelen worden genomen loopt dit verlies binnen tien jaar op tot € 2 miljoen per jaar en bedraagt dit verlies in 2040 circa € 4 miljoen per jaar.*
- *GE-scenario het efficiencyverlies voor Nederland in het zichtjaar 2028 gelijk is aan € 1,1 mln. Wanneer geen maatregelen worden genomen loopt dit verlies binnen tien jaar op tot € 4,3 miljoen per jaar en bedraagt dit verlies in 2040 circa € 19 miljoen per jaar.*

Het verschil tussen beide scenario's wordt vooral bepaald door de verschillen in de transportvolumes in beide scenario's (zie figuur 10).



Figuur 10 Contante waarde effecten scheepvaart, RC-scenario (rechts) en GE-scenario (links), discontovoet 4,5% (economische verkenning)

Deze analyse laat zien dat een (rijks)investering van € 1 á 4 miljoen per jaar (2028) en € 4 á 19 miljoen per jaar (2040), op grond van de economische effecten voor de scheepvaart, te rechtvaardigen is.

4.3 Bodemdaling leidt ook tot aanzienlijke andere maatschappelijke kosten

De voortschrijdende bodemerosie en bodemdaling zorgt ervoor dat de functies van het riviersysteem (zoals benoemd in hoofdstuk 3) continu opnieuw aangepast moeten worden op basis van de veranderingen van het riviersysteem.

Dit betreft het:

- compenseren voor hoogwaterveiligheid als gevolg van de verandering in de waterverdeling rondom de splitsingspunten gedurende hogere afvoeren;
- verdiepen of verleggen van rivierkruisende kabels en leidingen;
- aanpassen van zoetwaterinname punten en kruisende infrastructuur;
- opnieuw inrichten van Natura 2000 gebieden en al gerealiseerde KRW maatregelen om aan de ecologische eisen te kunnen blijven voldoen.

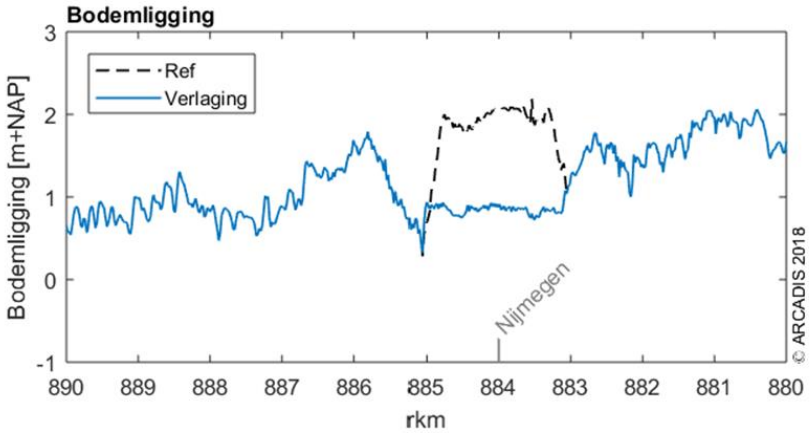
Dit zijn maatschappelijke kosten waarvan de bekostiging van het benodigde onderhoud en de aanpassingen, die nodig zijn voor functiebehoud, liggen bij de betrokken overheden. Afhankelijk van het type maatregel vallen de te maken kosten bij het Rijk, de waterschappen of de provincies.

Voor de rivier kruisende kabels en leidingen is de bekostiging van de aanpassing in principe een zaak van de exploitant. Hierbij is de kostendrager niet altijd even duidelijk. Immers hierbij spelen juridische uitgangspunten als de beheerplicht, informatieplicht en het verwijtbaarheid principe een belangrijke rol.

5 Verschillende oplossingen voor korte termijn problemen

5.1 Harde laag bij Nijmegen vraagt om een oplossing op de korte termijn

De bodemerosie veroorzaakt problemen bij de vaste laag bij Nijmegen (zie §3.10). Dit blijkt uit de onderstaande figuur. Door de bodemerosie zakt de bodem. Echter de harde laag zakt niet mee waardoor een drempel is ontstaan (figuur 11). De drempel vormt een knelpunt voor de scheepvaart bij lage rivierafvoeren en waterstanden.



Figuur 11 schematische weergave harde laag (zwart) en huidige ligging omringende rivierbodem (blauw)

Facts & figures

De harde laag is in 1988 op het niveau van de toenmalige rivierbodem aangelegd. De functie van de harde laag is het vastleggen van de buitenbocht van de rivier en het op diepte houden van de rivier. De vaste laag heeft sinds 1988 de vaarbreedte met circa 50m vergroot. De harde laag is circa 70 cm dik, met een steensortering van 40 tot 200 kg. De stenen hebben een nominale diameter van circa 35 cm.

5.2 Harde laag bij Nijmegen kan op verschillende manieren worden aangepakt

In dit MIRT Onderzoek zijn vier mogelijke oplossingen voor de aanpak van de harde laag overwogen. De werking van deze oplossingen wordt hier eerst kort besproken.

De maatregelen voor de aanpak van de harde laag bij Nijmegen vallen uiteen in:
1. het opvullen erosiekuil door benedenstrooms van de harde laag te suppleren;
2. het verwijderen van de vaste laag;
3. het verlagen van de vaste laag;
4. het periodiek suppleren waardoor de rivierbodem omhoog komt;
5. het belang van kennisontwikkeling, pilots en een ‘basisbodemligging’.

5.3 Harde laag bij Nijmegen: ‘Opvullen erosiekuil, benedenstrooms suppleren’

Op dit moment bevindt zich stroomafwaarts van de vaste laag een erosiekuil in de zachte rivierbodem. De erosiekuil kan worden opgevuld door sediment te suppleren. De drempel, die een overgang van de harde laag naar de zachte rivierbodem vormt, wordt dan kleiner. De ‘squat’, dit is het hydrodynamische waarbij de ruimte onder de kiel van een schip bij ondiep water kleiner wordt, wordt minder of tegen gegaan. Schepen zullen dan minder last hebben van de drempel tijdens lage waterstanden. Deze maatregel is tijdelijk. Door de suppletie zal direct benedenstrooms van de vaste laag in het verlengde van de buitenbocht een ‘nieuwe erosiekuil’ ten gevolge

van het herverdelen van sedimenttransport over de breedte van de vaste laag ontstaan. Daarom moet de maatregel periodiek (3 jaar) herhaald worden. Deze oplossing lost het probleem met de harde laag niet structureel op.

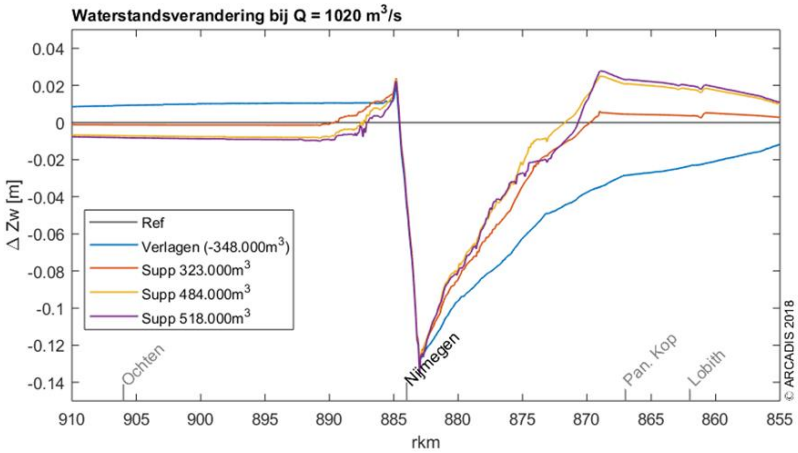
5.4 Harde laag bij Nijmegen: 'Verwijderen van de vaste laag

Na het verwijderen van de vaste laag zal de rivierbodem niet meer uit een overgang van harde en zachte lagen bestaan. De zachte rivierbodem zal sneller eroderen als de harde laag wordt verwijderd. Dit beïnvloedt de ligging van de buitenbocht, de vaardiepte van de binnenbocht en de totale vaarbreedte voor de scheepvaart. Uiteindelijk kan dit leiden tot een situatie van voor 1988. Versnelde erosie van de rivierbodem heeft ook effect op de stabiliteit van de kades bij Nijmegen. Hier zullen waarschijnlijk compenserende maatregelen getroffen moeten worden. Ook deze maatregel is geen structurele oplossing voor het stoppen van de bodemerosie. De maatregel zal de bodemerosie bij Nijmegen en verder bovenstrooms versterken en de problemen vergroten.

5.5 Harde laag bij Nijmegen: 'Verlagen van de vaste laag

De drempel in de rivierbodem kan (voor een groot deel) worden verwijderd door de vaste laag uit te vlakken of te verlagen. Hier treedt minder of geen 'squat' (zie optie 1) meer op. Bij lage rivierafvoeren zal voldoende waterdiepte aanwezig zijn. De scheepvaart ondervindt minder of geen hinder meer. Daarmee is het voor de scheepvaart een effectieve maatregel. Deze maatregel lost de bodemerosie niet op.

Ook heeft deze maatregel invloed op de waterstanden in de riviertakken bij hoge en lage waterstanden. Hierom zal in de riviertakken aanvullend gesuppleerd moeten worden. In figuur 12 staan de resultaten van enkele indicatieve berekeningen getoond. Deze maatregel moet verder worden ontworpen en geoptimaliseerd.



Figuur 12 Compensatie waterstandseffecten van verlagen harde laag bij Nijmegen door suppleties

5.6 Harde laag bij Nijmegen: 'Periodiek suppleren, rivierbodem komt omhoog'

De erosiekuil achter de vaste laag en de drempelwerking van de vaste laag kan worden gecompenseerd door periodiek sediment te suppleren. Hierdoor zal de bodemerosie worden tegen gegaan en kan de rivierbodem omhoog worden gebracht. Dit is een grootschalige ingreep waarvan het effect ter hoogte van Nijmegen en op de andere riviertakken (waterstanden bij hoge rivierafvoeren) onzeker is. Vandaar dat in het verlengde van de maatregelen ook monitoren en onderzoek wordt aanbevolen.

Tijdens de ateliers en gesprekken is gebleken dat zachte maatregelen (suppleties) de voorkeur van veel experts en stakeholders heeft. Dit omdat suppleties relatief

eenvoudig omkeerbaar zijn en een tijdelijk karakter hebben. Deze oplossing kan, mits regelmatig en voldoende gesuppleerd wordt, de bodemerosie gecompenseerd.

Regelmatig suppleren voorkomt dat het knelpunt bij Nijmegen erger wordt. Het knelpunt voor de scheepvaart wordt structureel opgelost als zoveel wordt gesuppleerd dat de drempel in de rivierbodem verdwijnt en niet meer terugkomt.

5.7 Harde laag bij Nijmegen: 'Kennisontwikkeling, pilots, basisbodemligging'

Naast concrete maatregelen bij Nijmegen is het van belang om te investeren in kennisontwikkeling. Dit onderzoek betreft met name de doen van pilots en een onderzoek naar afspraken over een 'basis bodem ligging (zie ook §3.10)'.

- **Monitoren en pilots**
  In de afgelopen paar jaar zijn twee pilots, die effect hebben op de bodemligging, uitgevoerd. Dit zijn een pilot met suppleren (grens met Duitsland bovenstrooms van Rivierkilometer 855) en het aanleggen en monitoren van een langsdam (Waal bij Tiel tussen Rivierkilometer 912 – 921). Deze pilots leveren informatie, die nodig is om oplossingen voor de lange termijn te kunnen beoordelen. Het is belangrijk dat deze pilots gemonitord worden en de uitkomsten van de studies worden gedeeld. Verder worden ook nieuwe pilots met suppleties aanbevolen.

- **Basisbodemligging**
  In §3.10 is al gebleken dat de huidige wet- en regelgeving het moeilijk maakt om knelpunten, die het gevolg zijn van bodemerosie en aanzanding, te kwantificeren en beoordelen. Het is onduidelijk aan welke eisen de bodemligging van de rivier moet voldoen. Het is onduidelijk aan welke eisen en normen de rivierbeheerder moet voldoen en welke effecten dit heeft op de verschillende functies (§3.3).

  Het is van belang om tijd en geld te investeren in het ontwikkelen van een beheersinstrument in de vorm van afspraken over de gewenste ligging van, of een toetsingskader voor de ligging van, de rivierbodem.

5.8 Harde laag bij Nijmegen: 'Drie pakketten voor de korte termijn'

Hierbij is gekozen voor een maatregelpakket met alleen suppleren (optie 4) en een maatregelpakket dat is gebaseerd op het verlagen van de harde laag (optie 3). Daarnaast is een pakket voor monitoren en onderzoek uitgewerkt (optie 5).
De drie pakketten zijn:
KT-I Suppleren ter hoogte van Nijmegen en in enkele riviertakken;
KT-II Verlagen harde laag bij Nijmegen en suppleren in enkele riviertakken;
KT-III Monitoren en onderzoek.

De kostenschattingen voor de verschillende korte termijn pakketten met de bijbehorende maatregelen staan in tabel 1. De in de tabel genoemde bedragen zijn op investeringsniveau, prijspeil 2017 en nog exclusief BTW. De betrouwbaarheid van de kostenramingen is ± 25%.

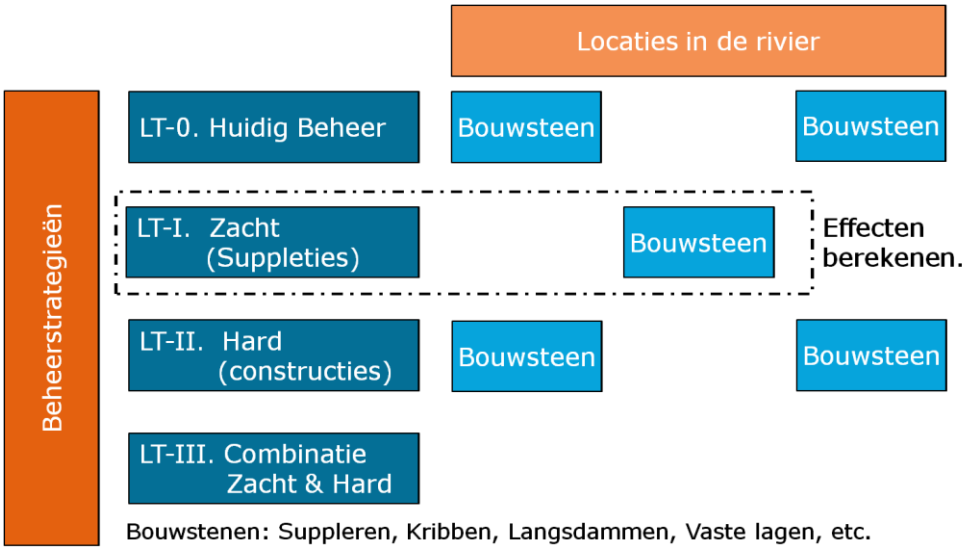
Korte Termijn Pakket Harde laag Nijmegen		**Kostenraming**		
		Periodieke Kostenpost	Eenmalige Kostenpost	Totaal (10 jr.)
KT-I	Suppleren	€ 4 miljoen / jaar.	€ 1.0 miljoen.	€ 40 miljoen.
KT-II	Verlagen	€ 1 miljoen / jaar.	€ 40.0 miljoen.	€ 50 miljoen.
KT-III	Onderzoek	€ 150.000 / jaar.	€ 3.5 miljoen.	€ 5 miljoen.

Tabel 1: Kostenschattingen maatregelen korte termijn

6 Lange termijn oplossingen zijn ‘hard en/of zacht’

6.1 Lange termijn: Oplossingen afgeleid van beheerstrategieën en bouwstenen

Voor het formuleren van lange termijn oplossingen is in dit MIRT Onderzoek een aantal beheerstrategieën benoemd om de problematiek van erosie en aanzanding op te lossen. Een beheerstrategie bestaat uit een combinatie van bouwstenen, die op bepaalde locaties in de rivier worden toegepast (zie figuur 13).



Figuur 13: Beheerstrategieën

Beheerstrategieën

De volgende beheerstrategieën zijn benoemd (zie ook figuur 13):

LT-O het voortzetten van het huidige beheer (onderhoudsbaggerwerk voor scheepvaart, onderhoud kribben, vegetatiebeheer en ander functiegericht beheer zoals vastgelegd in het Beheerplan Rijkswateren, BPRW);
LT-I het nemen van vooral zachte maatregelen (baggeren en suppleren);
LT-II het nemen van vooral harde maatregelen (harde constructies);
LT-III het nemen van een combinatie van harde en zachte maatregelen.

Bouwstenen

In de beheerstrategieën kunnen verschillende bouwstenen worden toegepast. Deze bouwstenen kunnen zachte maatregelen (suppleties) of harde maatregelen (kribben, langsdammen, vaste lagen, etc.) zijn.

Samenstellen van de oplossingsrichtingen voor de lange termijn

Eerst is eerst voor bouwstenen een morfologische berekening en een kostenraming gemaakt. Op basis van de morfologische berekeningen kon de effectiviteit van een bouwsteen worden bepaald en beter worden ingeschat welke bouwstenen op welke plaats in de rivier het beste konden worden ingezet. Voor de bouwstenen is ook een kostenraming gemaakt. Hierbij is de werkwijze: ‘Projectraming Infrastructuur (PRI)’ toegepast. Deze ramingen zijn getoetst door de Kostenpool van Rijkswaterstaat.

De oplossingsrichtingen voor de lange termijn zijn samengesteld uit de bouwstenen. Voor deze oplossingsrichtingen zijn morfologische berekeningen gemaakt om het cumulatieve effect te kunnen bepalen. De kostenraming van de oplossingsrichtingen volgt uit de som van de deelramingen voor de bouwstenen. Experts hebben de oplossingsrichtingen op basis van de criteria in het beoordelingskader (zie §6.6) en een vijfpuntschaal (--, -, 0, +, ++) beoordeeld (zie §6.8).

Innovatieve oplossingen
Een Hackaton met jonge professionals heeft innovatieve oplossingsrichtingen (LT-IV) opgeleverd waarmee in de toekomst nieuwe beheerstrategieën ontwikkeld kunnen worden. Deze oplossingsrichtingen zijn interessant maar er is aanvullend onderzoek noodzakelijk om de haalbaarheid en het probleemoplossend vermogen van de innovaties te bepalen. In §6.5 worden deze innovatieve oplossingen toegelicht. Deze oplossingen zijn niet uitgewerkt of beoordeeld (§6.6 t/m §6.8).

6.2 Lange termijn: Huidig beheer betreft uitvlakken van de rivierbodem (LT-0)

Het huidig beheer van het zomerbed omvat voornamelijk het wegbaggeren van de rivierduinen en ondieptes die belemmerend zijn voor de scheepvaart (OLR - 2,80 meter). Het gaat hier dan veelal om het verwijderen van de toppen van de zandduinen en de ondieptes in de binnenbochten. Het opgebaggerd sediment wordt gebruikt om erosiekuilen op te vullen of teruggestort in de directe omgeving op locaties waar de scheepvaart geen hinder ondervindt. Via een onderhoudscontract wordt de bodem gemonitord en continu 'op orde gehouden'. Daarmee wordt de onbalans in het sedimenttransport niet verder verstoord maar ook niet verbeterd.

In de rivieren mocht tot voor kort zand gewonnen worden. Dit betrof 90.000 m^3 in de Waal, en in de Lek en IJssel 10.000 m^3. Dit zorgde voor een toename van het sedimenttekort. Het recent stopzetten van zandwinning in het riviersysteem draagt bij om het sedimenttekort en de terugschrijdende bodemerosie te beperken.

6.3 Lange termijn: Zachte maatregelen omkeerbaar, makkelijk bijsturen (LT-I)

Zachte maatregelen zijn gericht op het verminderen van het sedimenttekort vanuit de aanvoer uit Duitsland en bestaan op hoofdlijnen uit twee mogelijkheden. De eerste betreft het benedenstrooms uitbaggeren van de vaargeul en het verplaatsen van dit sediment stroomopwaarts. Dit kan slechts over een afstand van enkele kilometers omdat de korrelverdeling van het sediment erg verschillend is tussen Oost en West Nederland (in het oosten is de korrelverdeling aanzienlijk grover). De andere mogelijkheid is het suppleren van sediment uit andere bronnen zoals uit te graven nevengeulen of zelfs gebiedsvreemd materiaal. Uit onderzoek blijkt dat er structureel orde 50.000 m3 / jaar sediment tekort is door verminderde aanvoer uit Duitsland. De totale transportcapaciteit van de rivier is nog groter.

Baggeren en suppleren zijn adaptief. Bij voortschrijdend inzicht of op basis van andere beleidskeuzes ten aanzien van het gebruik of inrichting van de rivier, kunnen suppleties of baggerwerkzaamheden gestopt of aangepast worden.

6.4 Lange termijn: Harde maatregelen optimaliseren riviersysteem (LT–II, III)

Harde maatregelen, zoals bijvoorbeeld kribverlagingen en langsdammen, hebben een vertragend effect op het sedimenttransport. Op de rivier de Waal zijn, door haar grote afmetingen in de dwarsdoorsnede, deze harde maatregelen mogelijk. Voor de rivier de IJssel zijn deze maatregelen niet realistisch vanwege de geringe afmetingen in de dwarsdoorsnede.

Kribverlaging beïnvloedt de waterstand in de hoofdgeul
Kribverlaging zorgt voor een betere verdeling van de hoeveelheid water die door het zomer- en winterbed stroomt. In feite is dit (ook) een rivier verruimende maatregel. Door bij hogere afvoeren een kleiner deel van het water direct door het zomerbed te laten lopen neemt de erosie in het zomerbed af. Dit is gunstig voor de doelstelling om de trendmatige daling van de rivierbodem af te remmen of te stoppen.

Langsdammen kunnen de waterstand in de vaargeul positief beïnvloeden
De intentie van de langsdam is dat bij lagere waterstanden het water zo veel mogelijk in de hoofdgeul stroomt. Door langsdammen wordt het water meer richting de hoofdgeul 'geknepen', waardoor de waterdiepte minder snel afneemt.
Bij hogere afvoeren, als het grootste deel van het sedimenttransport optreedt, zorgen de langsdammen ervoor dat de er meer water via de oevergeul stroomt. Hierdoor is er een vermindering van de stroomsnelheid in de hoofdgeul en dit leidt tot vermindering van de erosie van de bodem. Daarbij zorgt de verdeling van het water voor een verlaging van de waterstand, dat positief voor hoogwaterveiligheid is, en voor minder invloed van scheepsgolven in de nevengeul. Dit laatste is positief voor de ecologie in de nevengeul. Onderzoek naar de effectiviteit van de pilot langsdam bij Tiel loopt nog. De evaluatie van de effectiviteit moet nog plaatsvinden.

Verdere erosie voorkomen door afpleisteren rivierbodem
Door de rivierbodem (geheel) vast te leggen door het storten van grof grind of keien, wordt verdere erosie tegengegaan. Deze maatregel is zeer grootschalig en heeft zeer waarschijnlijk impact op de ecologie. Dit moet verder worden onderzocht.

Stroomsnelheden in hoofdgeul beïnvloeden door nevengeulen aan te leggen
Met de aanleg van nevengeulen kan het vrijkomende sediment worden aangewend om het tekort uit Duitsland aan te vullen. Het vrijkomende materiaal kan (indien geschikt qua structuur/korrelverdeling) in het systeem gestort worden. Daarnaast neemt door de aanleg van nevengeulen de dynamiek van het riviersysteem toe en een nevengeul zorgt ervoor dat er meer uitwisseling is van sediment tussen uiterwaard en hoofdgeul.

Bij hoogwater heeft de nevengeul effect op de stroomsnelheid. De stroomsnelheden neemt af, de transportcapaciteit van de rivier neemt toe en het evenwicht van de rivierwaterstand langs de rivier verandert. Dit zorgt voor meer aanzanding in het systeem. Hierdoor wordt het zand langer in het systeem vastgehouden. Belangrijk is dat er een goede balans gezocht moet worden tussen continue aanvoer van sediment en het voorkomen van lokale aanzanding.

De balans moet eveneens gezocht worden in de verdeling van water in de hoofdgeul en nevengeulen, zodat gedurende lage waterstanden er voldoende water naar de hoofdgeul gaat om de vaardiepte voor scheepvaart te garanderen.

Beter sedimentmanagement
Sedimentmanagement kan ook verbeterd worden als de stenen op de oevers van uiterwaarden worden verwijderd. Hiermee wordt bedoeld het verwijderen van harde oeverbekledingen zoals beton- of basaltblokken. Het sediment kan daardoor op een natuurlijke manier binnen het riviersysteem verplaatsen. De effectiviteit van deze maatregel dient nog verder te worden onderzocht.

6.5 Lange termijn: Innovatieve maatregelen bieden perspectief (LT-IV)

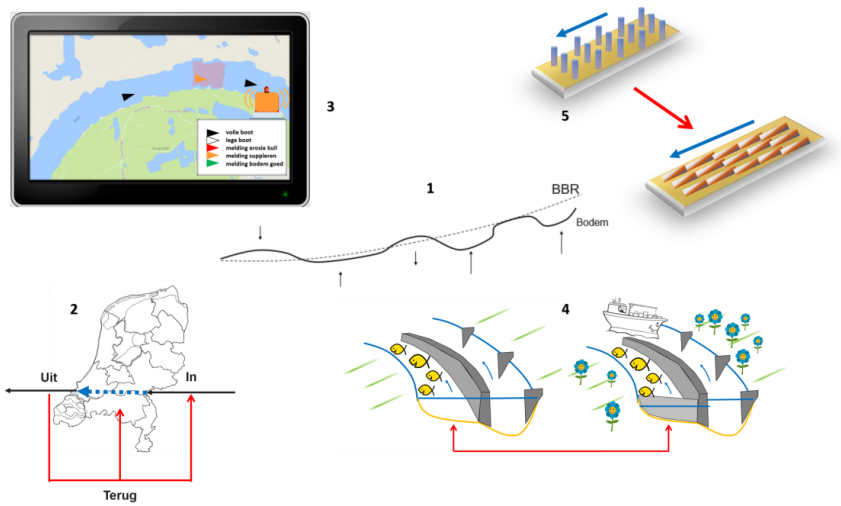
Betere voorspellingssystemen voor de bevaarbaarheid van de rivier
De scheepvaart is gebaat bij zekerheid. Betere voorspellingssystemen zorgen voor een meer betrouwbare, maximale aflaaddiepte van een schip over de gehele reis op dat moment. Deze optimalisatie maakt het logistieke proces meer betrouwbaar. Er loopt al een pilot project 'Covadem' om allerlei meetgegevens, die ingewonnen worden door de scheepvaart, te benutten voor betere voorspellingen.

Ruimte voor innovatie om nieuwe oplossingen te ontwikkelen
Om nieuwe innovatieve ideeën op te halen is binnen dit MIRT Onderzoek een Hackathon met jonge professionals georganiseerd (zie figuur 14).



Figuur 14: Hackathon met jonge professionals

Deze Hackaton heeft een vijf leuke oplossingen voortgebracht (zie figuur 15).
1. Instellen Basis Bodemligging Rijntakken;
2. Sedimentbalans van het riviersysteem herstellen;
3. Een bodem managementsysteem instellen voor scheepvaart;
4. Langsdammen adaptief maken;
5. Flexibele ruwheid op de bodem van de rivier plaatsen.



Figuur 15: Overzicht uitkomsten Hackathon MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken. 1: Instellen Basis Bodemligging Rijntakken, 2: Sediment balans van het riviersysteem herstellen, 3: Een bodem managementsysteem instellen voor scheepvaart, 4: Langsdammen adaptief maken, 5: Flexibele ruwheid op de bodem van de rivier plaatsen.

Ruimte voor pilots om nieuwe oplossingen in de praktijk te beproeven
Daarnaast lopen de pilot 'suppletie op de grens' en de pilot 'langsdammen' nog (zie §5.6). Uitwerking daarvan kan bijdragen aan het ontwikkelen van innovatieve, effectieve en duurzame maatregelen. Deze innovaties leveren voor de toekomst mogelijk betere, duurzamere en goedkopere oplossingen op.

Meer ruimte door het beleid aan te passen (bijv. door normen bij te stellen)
De diverse normen kunnen effectieve (innovatieve) oplossingen in de weg zitten. Twee belangrijke normen worden hier genoemd (zie ook §2.10).

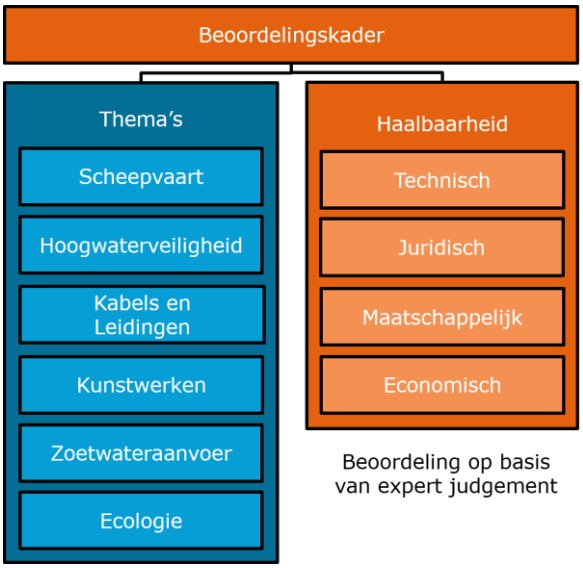
Een belangrijke norm is de 'Overeengekomen Lage Rivierwaterstand (OLR)' en de daaraan gekoppelde gegarandeerde waterdiepte van 2,80 meter. Aanpassing van de OLR kan de noodzaak tot het nemen van maatregelen beïnvloeden. De OLR is echter een internationale afspraak. Ook heeft aanpassing van de OLR geen effect op de bodemerosie en een negatief effect op de bevaarbaarheid.

Een andere belangrijke norm betreft de hoogwaterveiligheid. Binnen de waterwet is vastgelegd dat maatregelen met een waterstand verhogend effect bij maatgevende hoge rivierafvoeren gecompenseerd moeten worden. Dit geldt ook al voor een relatief kleine beïnvloeding van de waterstanden. Dit heeft een significante invloed op de financiële haalbaarheid van maatregelen om de bodemerosie tegen te gaan.

6.6 Lange termijn: Oplossingen beoordeeld op basis van twee clusters criteria

Tijdens de Value Engineering ateliers is met de betrokken deskundigen een beoordelingskader samengesteld waarmee verschillende oplossingen afgewogen kunnen worden. Dit beoordelingskader bestaat enerzijds uit de zes thema's die een rol spelen in het vraagstuk van een duurzame bodemligging, zie §3.3. Het tweede cluster omvat vier criteria omtrent de haalbaarheid van een oplossing.

Het beoordelingskader is weergegeven in figuur 16.



Figuur 16: Beoordelingskader

6.7 Lange termijn: Oplossingen verschillen in periodieke en eenmalige kosten

De kostenschattingen voor de verschillende beheerstrategieën met de bijbehorende maatregelen staan in tabel 2. De in de tabel genoemde bedragen zijn op investeringsniveau, prijspeil 2017 en nog exclusief BTW. De betrouwbaarheid van de kostenramingen is ± 50%.

Beheerstrategie		**Kostenraming**		
		Periodieke Kostenpost (1)	Eenmalige Kostenpost (2)	Totaal (100 jr.) (3)
LT-O	Huidige beheer.	€ 3 miljoen / jaar.	-	€ 300 miljoen.
LT-I	Zacht.	€ 8 miljoen / jaar.	-	€ 800 miljoen.
LT-II	Hard.	€ 7 miljoen / jaar.	€ 500 miljoen.	€ 1200 miljoen.
LT-III	Combinatie.	€ 7 miljoen / jaar.	€ 400 miljoen.	€ 1100 miljoen.
LT-IV	Innovatie.	Niet verder uitgewerkt of geraamd.		

Tabel 2: Kostenschattingen maatregelen lange termijn bij de verschillende beheerstrategieën

Opmerkingen bij de tabel.

1. De periodieke kosten betreffen baggeren, suppleren en monitoren.
2. De eenmalige kosten betreffen het aanleggen van harde constructies.
3. De totale kosten betreft de optelling van alle kosten over een periode van 100 jaar. Hierbij zijn de bedragen niet Netto Contant gemaakt. Door een kasreeks aan te nemen kan dit wel worden berekend.

Uit de tabel blijkt dat de investeringsniveaus voor LT-I t/m LT-III in dezelfde orde van grootte liggen (€ 1 miljard over 100 jaar). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de morfologische berekeningen een grote onnauwkeurigheid (orde factor 2 op de berekende m^3 zandtransport) hebben. Dit heeft significante invloed op de uitkomsten van de kostenraming van de zachte maatregelen.

6.8 Lange termijn: Oplossingen kunnen zacht en/of hard zijn

In de bijlage (§10.1 t/m §10.2) is de afweging op basis van het beoordelingskader opgenomen. In het beoordelingskader zijn twee elementen opgenomen: de haalbaarheid van de verschillende beheerstrategieën en de beoordeling van de verschillende beheerstrategieën op de verschillende thema's.

Haalbaarheid van de beheerstrategieën

Beheerstrategieën met zachte maatregelen (suppleties) zijn technisch eenvoudiger en adaptiever dan beheerstrategieën met harde maatregelen. Alle beheerstrategieën zijn technisch mogelijk, technische belemmeringen zijn niet aan de orde.

Beheerstrategieën met zachte maatregelen kunnen juridisch minder haalbaar zijn dan beheerstrategieën met harde maatregelen. Suppleties kunnen de waterstanden bij grote rivierafvoeren opstuwen. Dan moet worden gecompenseerd om aan de wetgeving voor hoogwaterveiligheid te voldoen. Dit wordt voorkomen door suppleties te optimaliseren of rivier verruimende maatregelen toe te passen. Het effect op de waterstanden bij grote rivierafvoeren wordt dan geminimaliseerd.

Beheerstrategieën met veel harde constructies scoren lager op maatschappelijke haalbaarheid. Kribben en langsdammen zijn visueel zichtbaar in het landschap en worden maatschappelijk minder gewaardeerd dan de niet zichtbare suppleties.

Beheerstrategieën met zachte maatregelen zijn economisch aantrekkelijker dan beheerstrategieën met harde maatregelen. De éénmalige investeringen zijn veel lager en de jaarlijks terugkerende kosten zijn adaptief en worden over 100 jaar uitgesmeerd waardoor de totale netto contante waarde over 100 jaar lager is.

Een beheerstrategie, die zachte en harde maatregelen combineert, scoort positief technische en juridische haalbaarheid. De maatschappelijke en economische haalbaarheid hangen af van de harde maatregelen, die worden toegepast.

Beoordeling van de beheerstrategieën op de verschillende thema's
De beheerstrategie huidig beheer' lost de voortschrijdende bodemdaling van de rivier niet op. Hierdoor scoort dit alternatief slecht op de thema's die nu al hinder ondervinden of op korte termijn hinder gaan ondervinden.

Beheerstrategieën met zachte maatregelen (suppleties) compenseren de voortschrijdende bodemerosie en gaan de daling van de rivierbodem tegen. Deze beheerstrategieën hebben een neutraal (KT) positief effect (LT) op de thema's: scheepvaart, kabels en leidingen, stabiliteit van de kunstwerken, de inname van zoetwater en ecologie (KRW). Omdat suppleties de waterstanden bij grote rivierafvoeren opstuwen moet worden gecompenseerd. Hierbij zijn rivier verruimende maatregelen effectief.

Ook beheerstrategieën met harde maatregelen (constructies) kunnen de voortschrijdende erosie compenseren en daling van de rivierbodem tegengaan. Deze beheerstrategieën (LT) scoren positief op de thema's: scheepvaart, hoogwaterveiligheid, kabels en leidingen, stabiliteit van de kunstwerken en inname van zoetwater. Harde constructies in de rivier kunnen de stromingscondities in de rivier veranderen en daardoor een negatief effect op de ecologie (KRW) hebben. Ook voor deze maatregelen geldt dat goed optimaliseren op alle thema's nodig is. Hierbij dient elke maatregel afzonderlijk op alle thema's worden beoordeeld.

Bij een beheerstrategie, die zachte en harde maatregelen combineert, kan op alle thema's goed worden geoptimaliseerd. Deze beheerstrategie scoort op alle thema's overwegend positief.

7 De rivierbodem verbindt de belangen van de stakeholders

7.1 Stakeholders via ateliers en gesprekken betrokken bij MIRT Onderzoek

In het rivierengebied zijn veel stakeholders, die een directe of indirecte relatie hebben met de ligging van de rivierbodem. Enerzijds zijn dit publieke partijen, vanuit één of meerdere beleidsdoelen, zoals scheepvaart, hoogwaterveiligheid of ecologie. Anderzijds zijn dit private partijen, die gebruiker zijn van de rivier.

Stakeholders met groot belang en een grote invloed zijn actief betrokken bij het MIRT Onderzoek. Dit is ook te zien in de onderstaande foto's (zie figuur 17).



Figuur 17: Value Engineering ateliers

Verschillende stakeholders hebben meegedaan aan de Value Engineering ateliers en met verschillende stakeholders zijn één op één gesprekken gevoerd. Hierbij is de mogelijke betrokkenheid of samenwerking in het vervolgproces aan bod gekomen.

7.2 Stakeholders delen het belang om bodemdaling tegen te gaan

Alle stakeholders hebben, in meer of mindere mate, belang bij het stoppen van de voortschrijdende bodemerosie en daarmee met een stabiele ligging van de rivierbodem. Het onderscheid zit in de aard en omvang van de problemen en de termijn waarop deze zich manifesteren. Vooral de scheepvaartsector ervaart al knelpunten bij lage waterstanden. Dit heeft directe gevolgen voor de aflaaddiepte, de beladingsgraad en heeft economische impact. Andere stakeholders ervaren steeds meer problemen met verdroging van de uiterwaarden.

7.3 Stakeholders van onwetend, neutraal naar betrokken en positief

De houding van de diverse stakeholders is tijdens dit MIRT Onderzoek verschoven van onwetend of neutraal naar betrokken en positief. De actieve betrokkenheid van stakeholders in de Value Engineering ateliers heeft de stakeholders meer inzicht gegeven in de gevolgen van voortschrijdende bodemerosie en bodemdaling. Hierdoor herkennen en erkennen de stakeholders hun belangen bij het stoppen van bodemdaling en het meedenken over en meewerken aan goede oplossingen.

In het MIRT Onderzoek is bij de samenhang tussen de thema's nog niet gesproken over urgentie per thema. Bij de stakeholders is wel behoefte hier nadere invulling aan te geven in het vervolg, zodat daarmee ook meer vanuit de diverse belangen gehandeld kan gaan worden. Tijdens de ateliers is meegegeven dat het raadzaam het aantal shareholders niet te groot te maken om het vraagstuk niet te complex te maken, waardoor in het MIRT Onderzoek geen voortgang geboekt kon worden.

7.4 Stakeholders hebben een voorkeur voor 'zachte' maatregelen

Op het laatste atelier is aan de stakeholders gevraagd hoe zij tegenover de diverse oplossingen stonden. De meeste deelnemers hadden een voorkeur voor de zachte maatregelen, of een combinatie van zachte en harde maatregelen. Met zachte maatregelen is beter in te spelen op toekomstige (klimaat)ontwikkelingen. De investeringen kunnen worden uitgesmeerd. De verschillende vraagstukken in het rivierengebied kunnen met zachte maatregelen beter worden gekoppeld.

7.5 Stakeholders vinden het te vroeg voor samenwerking in concrete projecten

De stakeholders willen actief betrokken blijven in het vervolgproces. Echter de maatregelen, die tijdens de ateliers zijn gepresenteerd, zijn nog van een te hoog abstractieniveau om afspraken over samenwerking te maken. Dit komt doordat

- projecten zich in een andere fase (planstudie, uitvoering) bevinden, waardoor maatregelen niet meer meegenomen kunnen worden;
- nog geen budget beschikbaar voor aanvullende maatregelen, zodat een stakeholder aanvullende maatregelen (nog) niet in de scope wil halen.

7.6 Stakeholders zien wel verschillende kansen voor samenwerking

Verschillende stakeholders bereiden in het rivierengebied programma's of projecten met een korte en of lange planhorizon voor. Hieronder staan enkele voorbeelden.

Facts & figures	
HWBP	Opgaven langs de Rijntakken voor de komende decennia (Rijk en Waterschappen).
KRW	Diverse tranches, op korte termijn rondom splitsingspunt, lopende projecten langs de IJssel (Rijkswaterstaat Oost Nederland).
Scheepvaart	Vaarwegverbeteringsprogramma bovenloop van de IJssel is in de maak (Rijkswaterstaat Oost Nederland).
Waalweelde	Integrale gebiedsontwikkeling langs de Waal, waarin diverse doelen, waaronder hoogwaterbescherming en natuurontwikkeling, zijn gecombineerd. Tientallen projecten zijn in uitvoering of staan gepland voor de korte of langere termijn (rijk, waterschappen, provincie en gemeenten).

Diverse stakeholders, en dan met name de provincie, wijzen op het belang van een integrale visie voor het rivierengebied waarin de diverse thema's en de duurzame bodemligging een plek krijgen. Verschillende stakeholders willen graag afspraken maken over een basisbodemligging (BBL) voor de rivier. De Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving van Rijkswaterstaat werkt aan een voorstel hiervoor.

In het onderstaande overzicht zijn stakeholders en projecten vermeld waar samenwerking, die gunstig is voor een duurzame bodemligging, mogelijk is.

Facts & figures	
BLN Schuttevaer	Het vergroten van de actuele bevaarbaarheid en betrouwbaarheid van de diepgang voor schepen (lopend onderzoek, meer samenwerking).
Verlagen uiterwaarden	Verlagen kaden in de uiterwaarden waardoor winterbed vaker mee stroomt. De plannen zijn nog abstract (WNF).
Bevaarbaarheidsstudie IJssel	Deze studie start binnenkort en heeft invloed op de duurzame bodemligging IJssel (Rijkswaterstaat Oost Nederland).
HWBP	Beoogde kribverlaging op de Boven-Rijn kan interessant zijn, omdat deze ook bijdraagt aan waterstandsverlaging bij hoogwater (Rijk, waterschappen).
LTAR	De Lange Termijn Ambitie Rivieren sluit goed aan bij het maatregelenpakket voor de lange termijn (Rijk).
Waalweelde	Dit programma biedt volop kansen voor samenwerking, ook al is er nog veel in ontwikkeling. Zo is recent de beoogde verruimingsmaatregel Hoogwatergeul Varik-Heesselt komen te vervallen (rijk, waterschappen, provincie en gemeenten).

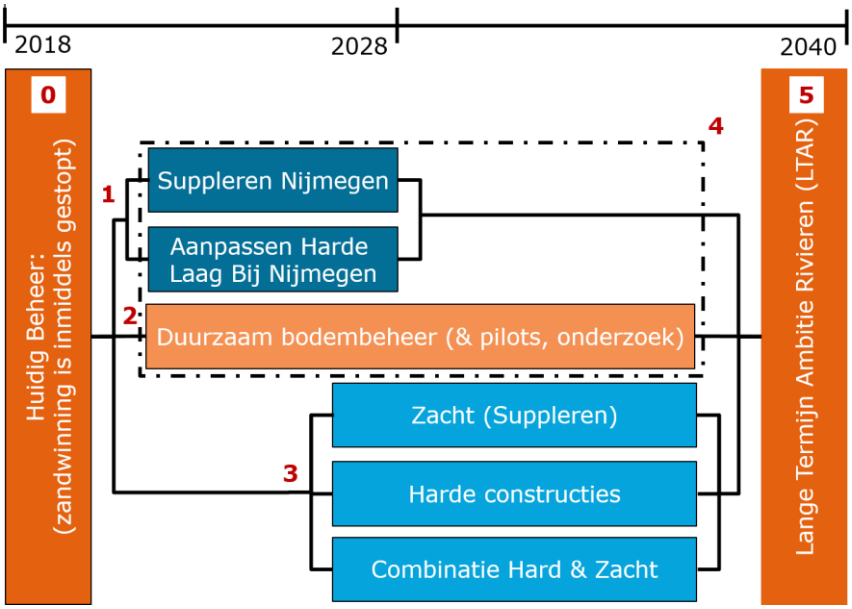
8 Verschillende vervolgstappen zijn mogelijk

8.1 Vervolg: Ontwikkelpad op hoofdlijnen toont vijf majeure keuzes

In de hoofdstukken 5 en 6 zijn mogelijke oplossingen voor de korte en lange termijn beschreven om te komen tot een duurzame bodemligging van de Rijntakken.

In dit hoofdstuk wordt toegelicht welke vervolgstappen en keuzes mogelijk zijn om deze oplossingen te realiseren na de afronding van dit MIRT Onderzoek.

De keuzes zijn weergegeven de figuur 18. Hierin is het onderstaande ontwikkelpad op hoofdlijnen geschetst. In dit ontwikkelpad staan de belangrijkste keuzes en het moment waarop deze keuze het beste gemaakt kan worden. De nummers in figuur 18 verwijzen naar vijf belangrijke keuzemomenten of kantelpunten.



Figuur 168: Het ontwikkelpad met de bijbehorende keuzes

In dit ontwikkelpad staan de volgende keuzes en mogelijke vervolgstappen:

0. niets doen, huidig beheer voortzetten, budget niet aanvullen
1. besluit nemen over korte termijn maatregelen (Nijmegen) en deze uitvoeren;
2. starten van duurzaam bodembeheer, onderhoudsbudget (via SLA) aanvullen;
3. besluit nemen om een verkenning te starten naar lange termijn maatregelen;
4. programma starten voor duurzaam bodembeheer en korte termijn maatregelen;
5. lange termijn maatregelen (en duurzaam bodembeheer) onderbrengen bij een ander programma (bij voorkeur bij de LTAR).

De verschillende keuzes of kantelpunten worden in §8.2 t/m §8.6 toegelicht.

Tot slot eindigt dit hoofdstuk met een aantal aanvullende adviezen voor het vervolg

8.2 Vervolg: 'Korte termijn maatregelen bij Nijmegen snel realiseren (1)'

De vaste laag bij Nijmegen levert nu al problemen op voor de scheepvaart en door de voortschrijdende bodemerosie nemen deze problemen alleen maar toe. Vanwege het grote economische belang van de scheepvaart op de Rijntakken en vanuit het verdrag van Mannheim is het belangrijk snel tot aanpak van deze problematiek te komen. Hiervoor kan een projectorganisatie worden gemobiliseerd die één of meer van de korte termijn oplossingen zoals beschreven in hoofdstuk 5 gaat concretiseren en realiseren. Ook kan het korte termijn pakket worden opgenomen als eerste stap van een lange termijn bodem beheer programma mits voortvarend aangepakt en het past binnen de Lange Termijn Ambitie Rivieren (LTAR).

8.3 Vervolg: 'Afspraken beheer en onderhoud bij elke vervolgaanpak nodig' (2)

Op welke wijze het vervolg na het MIRT Onderzoek ook wordt ingezet, er zijn altijd afspraken nodig om het beheer en onderhoud goed te regelen. Dit om ervoor te zorgen dat het effect van te nemen maatregelen in stand gehouden wordt. Hiervoor is het vaststellen van een toetsingskader 'Basis Bodemligging' (zie de hoofdstukken 3 en 5) een nuttig instrument.

8.4 Vervolg: 'MIRT Verkenning niet opportuun want geen zicht financiering (3)'

Tijdens het MIRT Onderzoek is gebleken dat de bodemerosie een bredere scope kent dan scheepvaart. Dit geldt in de zin van meerdere thema's/functies die een rol spelen zoals toegelicht in hoofdstuk 3. Ook het projectgebied en de tijdschaal voor het treffen van oplossingen is groot. Verder is er een groot verschil in cashflow van de investeringen, die horen bij de verschillende maatregelenpakketten voor de lange termijn. Zachte maatregelen vragen om een beperkte maar continue stroom van investeringen in de tijd terwijl harde maatregelen een grotere investering vergen voor aanleg gevolgd door kleinere budgetten voor beheer en onderhoud.

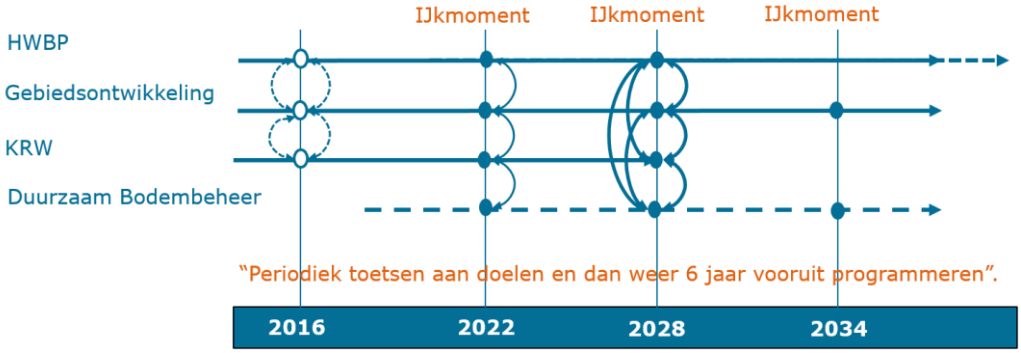
Op dit moment valt nog niet goed te bepalen wat de scope van een MIRT Verkenning zou moeten zijn en welke financiering beschikbaar is. Daardoor is een MIRT Verkenning geen logische vervolgstap. Een MIRT verkenning past beter bij wat concretere, meer afgebakende projecten.

8.5 Vervolg: 'Programma-aanpak is flexibel en adaptief (4)'

De aanpak van bodemerosie en aanzanding kan ondergebracht worden in een specifiek voor dit doel op te zetten programma. Binnen een programma kunnen de verschillende onderdelen voor een duurzame bodemligging goed opgenomen worden. Dit gaat enerzijds om concrete maatregelen (op korte en lange termijn) en anderzijds het tot organiseren van een continu rivierbodembeheer gericht op de duurzame bodemligging. Ook kan de korte termijn maatregel voor de vaste laag Nijmegen deel uit maken van het programma. Dit kan ook losgekoppeld worden.

Voor een effectief programma is een duidelijke visie op de toekomst van het rivierbed noodzakelijk. Dit begint met een besluit of bodemdaling wordt gestopt of zelfs teruggebracht naar oudere niveaus. Doordat de bodemligging effecten heeft op hoogwaterveiligheid, ecologie, kabels en leidingen, enzovoorts is een goede scopeafbakening en beheersing van de raakvlakken met andere programma's in het rivierengebied van groot belang.

Een programma-aanpak is flexibel en adaptief omdat effecten van ingezette maatregelen gemonitord worden en bijsturing in vervolgmaatregelen mogelijk is. Ook op inzichten uit innovatieve pilots en andere onderzoeken kan geanticipeerd worden. Hierbij wordt voorgesteld dit programma elke zes jaar te ijken op de andere programma's, die in de rivier spelen. Figuur 19 maakt dit inzichtelijk.



Figuur 19: Gelijkschakelen programma's met 6 jaarlijkse ijkmomenten.

8.6 Vervolg: 'Duurzame bodemligging kan onderdeel zijn ander programma' (5)

Lopende programma's zoals het HWBP, KRW of LTAR kunnen de opgave van de bodemligging 'adopteren'. Dat wil zeggen dat de opgave van een duurzame bodemligging onderdeel wordt van het betreffende programma. Hiervoor is een heldere visie op de doelstelling voor de bodemligging en de gewenste oplossingen nodig. De scope en planning van bestaande programma's wordt hiermee vergroot.

Het integreren van programma's biedt meerdere voordelen. Er kunnen meer integrale en kostenefficiënte oplossingen gerealiseerd worden (werk met werk maken). Ook kan het gunstiger uitpakken voor omgevingshinder omdat maatregelen gebundeld worden uitgevoerd. Verder kan tijd en geld worden bespaard door aan te sluiten op een bestaande programma-organisatie met bijbehorende governance structuur. Hier staat tegenover dat besluitvorming ook complexer kan worden door een toename in stakeholders en belangen. Ook kan er een risico ontstaan dat het beoogde doel van een duurzame bodemligging 'ondersneeuwt' ten opzichte van andere programmadoelen. Om dit te voorkomen is het belangrijk de beoogde programma-doelen en sturingsmechanismen vooraf goed te definiëren.

Een koppeling die momenteel (begin 2018) in beeld gebracht wordt is de koppeling met de Lange Termijn Ambitie Rivieren (LTAR). Maatregelen ten behoeve van hoogwaterveiligheid, concreter gericht op waterstandsdaling, dragen in een aantal gevallen en op de juiste manier uitgevoerd bij aan een duurzame bodemligging.

8.7 Vervolg: De Rivier is in beweging het onderzoek dus ook

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 en 5 is snel ingrijpen op de urgente problemen voor de scheepvaart bij Nijmegen noodzakelijk. Ook de nadere uitwerking van lange termijn maatregelen is gewenst om de geschetste knelpunten niet te laten verergeren. Dit neemt niet weg dat parallel het nodige onderzoek uitgevoerd moet worden. In deze paragraaf wordt toegelicht welk onderzoek dit betreft.

Nader onderzoek is nodig om oplossingen te optimaliseren

De pilotprojecten 'Langsdam bij Tiel' en 'Suppleren' hebben hun effect nog niet bewezen. Op dit moment wordt gemonitord wat de effecten van deze pilots zijn. De uitkomsten zijn mede bepalend of en hoe deze maatregelen elders worden ingezet. Daarnaast zijn de benoemde maatregelen in dit onderzoek nog niet zo ver uitgewerkt dat ze al direct tot uitvoering gebracht kunnen worden. Dit vraagt nog nader onderzoek en concretisering.

Innovaties kunnen leiden tot nieuwe meer duurzame oplossingen
Tijdens de Hackathon (zie hoofdstuk 3) zijn diverse interessante oplossingen benoemd. Het kan tot slimmere, duurzamere oplossingen leiden wanneer deze nader worden onderzocht en uitgewerkt. Ook door stakeholders zijn ideeën ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is te lezen in het rapport 'Levende rivieren'. Voor het vervolg en het ontwikkelen van een visie is het relevant de haalbaarheid van deze nieuwe ideeën te verkennen.

Effecten van klimaatverandering hebben effect op de bodemligging
De effecten van klimaatverandering zullen of tot langere extreme droge perioden leiden of juist minder. De bodemligging reageert hier beperkt op. Echter klimaatscenario's geven ook aan dat nattere winters in de toekomst vaker zullen voorkomen en tot grotere rivierafvoeren leiden. Hiermee neemt de jaarlijkse transportcapaciteit van de rivier en dus ook de bodemerosie toe.

Internationale oplossingen (met Duitsland) verdienen nader onderzoek
Ook in Duitsland neemt men maatregelen om scheepvaart te bevorderen en wordt er op andere vlakken aan de rivier gewerkt (natuurontwikkeling, hoogwaterveiligheid). Dit heeft effect op het Nederlandse riviersysteem. Vanuit die context is afstemming van belang. Een ander aspect van de samenwerking zijn gezamenlijk afspraken t.b.v. scheepvaart binnen de Centrale Commissie voor de Rijnvaart. Dit betreft met name bindende afspraken over diepgang van de vaarweg.

Nader onderzoek naar (knellende) kaders en regelgeving is nodig
Een aanpak van het rivierbed om bodemerosie tegen te gaan moet passen binnen de wetgeving. Mogelijk kunnen kaders anders bezien worden of aangepast om dit beter te kunnen doen. Een voorbeeld: Binnen het vigerende rivierkundig beoordelingskader(RBK) is uitgangspunt dat aanzanding ongewenst is. Wanneer blijkt dat aanzanding, gericht, bij kan dragen aan het verminderen van erosie dan zal dit om een andere blik vanuit het RBK vragen.

De rivier is in beweging, het onderzoek dus ook
Aanpak van de rivier om de bodemerosie een halt toe te roepen is een opgave voor een lange periode. In deze periode zullen nieuwe inzichten ontstaan. Enerzijds vanuit de rivier zelf, reacties van het systeem op maatregelen in ons land en mogelijk in Duitsland leiden tot meer kennis van de werking van maatregelen. Welke werken goed en welke minder.

Ondertussen vindt veel onderzoek plaats, o.a. binnen River Care, Allrisk, Kennis en innovatieprogramma water en klimaat (NKWK), etc. Dit zal tot nieuwe inzichten leiden die een plek moeten krijgen binnen de afwegingen voor de lange termijn. Dit maakt het wenselijk dat gekozen wordt voor een adaptieve aanpak. Uitstel van de aanpak om op nieuwe inzichten te wachten is echter ongewenst, omdat de gevolgen van de bodemerosie blijven verergeren.

Visie op de toekomst van het riviersysteem is gewenst
De integrale visie op de toekomst van het riviersysteem is nodig om te bepalen welke maatregelen passend zijn of juist niet. Deze visie ontbreekt tot op heden. Bouwstenen voor een visie zijn zeker beschikbaar, met name 'het verhaal van de rivier' opgesteld in opdracht van WVL is hiervoor van groot belang.

Een gedragen en vastgestelde visie maakt het mogelijk maatregelen en oplossingen te delen met andere partijen en belanghebbenden en de juiste afwegingen te kunnen maken.

9 Conclusies

9.1 Conclusie 1: 'Bodemdaling leidt tot economische en ecologisch schade'

De voortschrijdende daling van de rivierbodem van de Rijntakken, als gevolg van de normalisatiewerken en onbalans in sediment aanvoer vanuit Duitsland en afvoer stroomafwaarts, zorgt voor knelpunten voor de scheepvaart, hoogwaterveiligheid, kabels en leidingen, natuur en ecologie, zoetwaterinname en de stabiliteit van kunstwerken. De situatie in de Waal bij Nijmegen, waar een harde laag de diepgang van schepen belemmert, is het meest urgent en leidt tot economische schade (2028). De bodemdaling zorgt voor verdroging van uiterwaarden wat resulteert in ecologische schade. Wanneer de voortschrijdende bodemdaling niet wordt gestopt, nemen de problemen op alle genoemde thema's steeds meer toe.

9.2 Conclusie 2: 'Aanpak harde laag bij Nijmegen op korte termijn noodzakelijk'

Vanwege de urgente problemen voor de scheepvaart is het opheffen van het knelpunt in de Waal bij Nijmegen op korte termijn noodzakelijk. Het verlagen en egaliseren van de harde laag in combinatie met aanvullende suppleties biedt een oplossing voor ca. de komende 10 jaar. Aanvullend daarop is het wenselijk op korte termijn afspraken te maken met betrokken stakeholders, ook in Duitsland, over een Basis Bodemligging Rijntakken. Nu ontbreekt namelijk een toetsingskader voor de beheerder waarin signaal en interventiewaarden zijn vastgelegd.

9.3 Conclusie 3: 'Lange termijn oplossingen kunnen zacht en/of hard zijn'

Binnen dit MIRT Onderzoek zijn verkennende, morfologische berekeningen uitgevoerd naar de effecten van zachte maatregelen, zoals suppleren van sediment, en van harde maatregelen als kribverlaging en de aanleg van langsdammen. De berekeningen hebben aangetoond dat zowel harde als zachte maatregelen technisch mogelijk en effectief kunnen zijn om een duurzame bodemligging te realiseren. Harde maatregelen zijn fysiek alleen inpasbaar in de Waal vanwege de grote dwarsdoorsnede. De rivier de IJssel is hiervoor te smal. Ook heeft het MIRT Onderzoek enkele nieuwe, innovatieve oplossingsrichtingen opgeleverd die nader onderzocht kunnen worden op haalbaarheid.

De investeringsniveaus van de verschillende maatregelenpakketten 'hard' en 'zacht' kennen een zelfde orde van grootte, totaal ca. één miljard euro. Het maatregelen-pakket Hard vraagt een hoge investering voor aanleg gevolg door relatief lage kosten voor beheer en onderhoud. Bij het maatregelenpakket Zacht zijn de jaarlijkse investeringskosten min of meer constant.

Bij dit MIRT Onderzoek betrokken stakeholders, specialisten en wetenschappelijke reflectiegroep hebben aanbevolen terughoudend te zijn in het treffen van onomkeerbare (harde) ingrepen in het riviersysteem omdat nog onvoldoende bekend is wat de effecten daarvan zijn. Het monitoren van de effecten van de lopende pilotprojecten 'suppleren' en 'langsdammen' is daarom van groot belang. Het treffen van Zachte maatregelen biedt het voordeel dat flexibel en adaptief kan worden ingespeeld op de voortschrijdende kennis van het riviersysteem.

9.4 Conclusie 4: 'De rivierbodem verbindt belangen stakeholders'

Verschillende stakeholders zijn geïnformeerd en geconsulteerd over de voortgang en resultaten van dit MIRT Onderzoek. Bij aanvang van dit MIRT Onderzoek leek de belangstelling beperkt omdat het bodembeheer als een aangelegenheid van het Rijk werd gezien. De stakeholders zijn gaan inzien dat zij verschillende belangen hebben bij een duurzame bodemligging en dat het realiseren van effectieve, integrale oplossingen alleen in nauwe samenwerking met alle stakeholders mogelijk is.

9.5 Conclusie 5: 'Programma aanpak is een logisch vervolg op MIRT Onderzoek'

Het bereiken van een duurzame bodemligging is een opvangrijke opgave, zowel qua doorlooptijd (tientallen jaren) als de omvang van het projectgebied. Daarbij is er nog geen zekerheid bereikt over de meest geëigende aanpak (hard en/of zacht) en de financiering van de maatregelen. Een vervolg met een MIRT Verkenning is daardoor niet opportuun. Een programma aanpak, die flexibel en adaptief is, ligt meer voor de hand. Een dergelijke aanpak maakt het mogelijk in te spelen op voortschrijdend inzicht door monitoring van pilotprojecten, wetenschappelijk onderzoek, en het ontwikkelen van een instrument voor de 'basisbodemligging' (BBL). Een andere optie is de opgave te integreren met een ander programma in het rivierengebied. Momenteel wordt onderzocht of aangesloten kan worden bij het programma Lange Termijn Ambitie Rivieren (LTAR).

10 Bijlage: Afweging van de alternatieven

10.1 Beoordelingskader: Scores

In onderstaande tabel is het beoordelingskader weergegeven.

Hierin zijn de volgende beoordelingscriteria opgenomen:

Thema's:
1. **Scheepvaart:** Minimale OLR vaardiepte (overeengekomen lage rivierstand).
2. **Hoogwaterveiligheid:** Bodem voor berekening dijken (bodemligging 2014).
3. **Kabels en Leidingen:** Huidige ligging van de kabels en leidingen (in 2017).
4. **Kunstwerken:** Waterdruk t.o.v. het kunstwerk op basis van het ontwerp.
5. **Zoetwateraanvoer:** Ligging van de punten zoetwaterinname (in 2017).
6. **Ecologie:** Waterstand t.o.v. basis ontwerp (bodemligging ontwerpjaar, KRW).

Haalbaarheid:
1. **Technische haalbaarheid:** Ervaring m.b.t. de uitvoering van de maatregel.
2. **Juridische haalbaarheid:** Is het juridisch uitvoerbaar m.b.t. het huidige kader.
3. **Maatschappelijke haalbaarheid:** Is er draagvlak bij de stakeholders.
4. **Economische haalbaarheid:** De kosten en baten van een het scenario.

De scores in het beoordelingskader zijn gebaseerd op expert judgement.
De betekenis van de scores is opgenomen in §12.2.

Criterium	Niets doen	Huidig beheer LT-O	KT-I&II Zacht	LT-I Zacht	LT-II Combi	LT-III Hard
Thema's						
1. Scheepvaart	--	-	0	+	++	++
2. Hoogwaterveiligheid	++	+	-	-	+	++
3. Kabels en Leidingen	--	-	0	+	+	+
4. Kunstwerken	--	-	0	+	+	+
5. Zoetwateraanvoer	--	-	0	+	+	+
6. Ecologie (1)	--	-	+	+	++	-
Haalbaarheid						
1. Technisch	n.v.t.	++	++	++	+	+
2. Juridisch (2)	-	+	0	0	+	+
3. Maatschappelijk (1)	--	-	++	++	0	-
4. Economisch (3)	--	++	+	0	0	-

Tabel 15: Beoordelingskader met daarin de scores

Opmerkingen bij de tabel:
1. Sterk afhankelijk van de vorm van de maatregelen en de locatie.
2. Ruimte moet in eerste instantie worden gezocht in de wijze van toepassing van de beleidsregels en het gebruik van richtlijnen.
3. Afschrijvingstermijn, levensduur en moment van investeren zijn belangrijk.

10.2 Beoordelingskader: Toelichting bij de scores

De verschillende scores in de beoordelingsmatrix worden hier kort toegelicht.

Criterium	++	+	0	-	--
Thema's					
1. Scheepvaart	Belemmeringen voor de scheepvaart worden minder.		Referentie voor de beoordeling door experts: Bodemligging 2014 (HW) / 2017	Belemmeringen voor de scheepvaart worden groter.	
2. Hoogwaterveiligheid	Risico's voor hoogwaterveiligheid wordt kleiner.			Risico's voor hoogwaterveiligheid wordt groter.	
3. Kabels en Leidingen	Risico's op schade aan kabels en leidingen nemen af.			Risico's op schade aan kabels en leidingen nemen toe.	
4. Kunstwerken	Risico's op schade of falen van constructies nemen af.			Risico's op schade of falen van constructies nemen toe.	
5. Zoetwateraanvoer	Belemmeringen voor aanvoer zoetwater nemen af.			Belemmeringen voor aanvoer zoetwater nemen toe.	
6. Ecologie (1)	Negatieve effecten voor ecologie nemen af.			Negatieve effecten voor ecologie nemen toe.	
Haalbaarheid					
1. Technisch	Technische haalbaarheid is groot (beproefde oplossingen).			Technische haalbaarheid is laag of onzeker (innovaties).	
2. Juridisch (2)	Maatregelen passen binnen geldende juridische kaders.			Maatregelen passen binnen niet geldende juridische kaders.	
3. Maatschappelijk (1)	Maatregelen hebben naar verwachting een breed draagvlak.			Maatregelen hebben naar verwachting weinig draagvlak.	
4. Economisch (3)	De afweging van kosten en baten is positief.			De afweging van kosten en baten is negatief.	

Tabel 16: Beoordelingskader, toelichting op de scores

Opmerkingen bij de tabel:

1. Inschatting is sterk afhankelijk van de vorm van de maatregelen en de locatie.
2. Ruimte moet in eerste instantie worden gezocht in de wijze van toepassing van de beleidsregels en het gebruik van richtlijnen.
3. Afschrijvingstermijn, levensduur en moment van investeren zijn belangrijk.