

# Synthese Rivers2Morrow



Blueland Consultancy

Rapport B20.01



# Synthese Rivers2Morrow

Wilfried ten Brinke, Blueland Consultancy

In samenwerking met Karin Schwandt, Schwandt Infographics

Juni 2020

## **Verantwoording**

Deze synthese is opgesteld door W. ten Brinke (Blueland Consultancy), onder begeleiding van M. Boersema en R. Schielen (Rijkswaterstaat), en D. Kootstra (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)

Juni 2020

	Blz.
<b>1. Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1. Beleid en beheer ten aanzien van rivieren in Nederland	6
1.1.1. Waterveiligheid	
1.1.2. Bevaarbaarheid	
1.1.3. Waterbeschikbaarheid	
1.1.4. Waterkwaliteit en natuur	
1.1.5. Morfologie en sedimentmanagement: IRM	
1.2. Het programma Rivers2Morrow	9
<b>2. Onderzoeksthema's</b>	<b>10</b>
2.1. Aanvoer en herkomst van fijn sediment uit het stroomgebied van de Rijn	10
2.1.1. Beleid en beheer	
2.1.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.2. Systeemkennis Maas	12
2.2.1. Beleid en beheer	
2.2.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.3. De water- en sedimentbeweging bij splitsingspunten	14
2.3.1. Beleid en beheer	
2.3.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.4. De dynamiek van de bodemligging van de Rijntakken	16
2.4.1. Beleid en beheer	
2.4.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.5. De dynamiek van de bodemligging van de benedenlopen van Rijn en Maas	19
2.5.1. Beleid en beheer	
2.5.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.6. De balans van zand en slib in de benedenlopen van Rijn en Maas	22
2.6.1. Beleid en beheer	
2.6.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.7. Dynamiek van beddingvormen en impact op waterveiligheid en bevaarbaarheid	24
2.7.1. Beleid en beheer	
2.7.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.8. De modellering van het lange-termijn gedrag van laaglandrivieren	26
2.8.1. Beleid en beheer	
2.8.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.9. Verbetering kwantificering sedimenttransport laaglandrivieren	28
2.9.1. Beleid en beheer	
2.9.2. Onderzoeksdoelstellingen	
2.10. Het onderlinge verband van de onderzoekslijnen	30
<b>3. Flankerend onderzoek</b>	<b>30</b>
<b>4. Adviezen voor beleid en beheer</b>	<b>31</b>
<b>Referenties</b>	<b>35</b>

# 1. Inleiding

## 1.1. Beleid en beheer ten aanzien van rivieren in Nederland

De Nederlandse rivieren worden benut voor een groot aantal functies. Het beleid is erop gericht de rivieren zo in te richten en te beheren dat zo veel mogelijk aan de eisen en wensen van deze functies wordt voldaan. Voor een functie als waterveiligheid (het veilig afvoeren van water, ijs en sediment) zijn die eisen hard en vertaald in heldere normen waar aan moet worden voldaan. Voor andere functies zijn de eisen, of wensen, minder hard en is meer sprake van een streven om ook aan deze functies zo goed mogelijk te voldoen. Dit onderscheid is belangrijk: het spreekt in een dichtbevolkt land als Nederland niet vanzelf dat alle functies en belangen in, op en rond de rivier goed samengaan. Het blijft zoeken naar de balans waarbij het voldoen aan bepaalde functies, zoals waterveiligheid, prevaleert over andere.

Het vinden van de balans richt zich met name op de volgende vier rivierfuncties: waterveiligheid, bevaarbaarheid, waterkwaliteit en natuur, en waterbeschikbaarheid. Bij het bedienen van deze rivierfuncties spelen morfologie en sedimentmanagement een centrale rol. Dit zijn de rivierfuncties waarvoor de rivier op de lange termijn, duurzaam moet worden ingericht. Het zijn de kerntaken van de rivierbeheerder: zorgen voor een veilige afvoer van water, ijs en sediment, de verdeling van water over de watervragers, goede vaarwegen, en een goede water- en habitatkwaliteit. Dit zijn ook de thema's van de kennistafels die Rijkswaterstaat in de onderzoeksstrategie voor de rivieren centraal stelt.

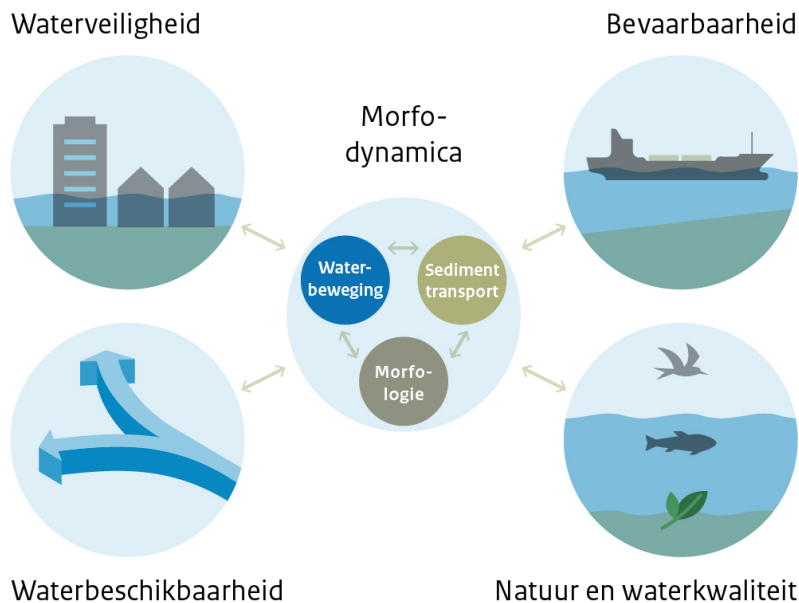
Naast deze vier rivierfuncties neemt het thema morfologie en sedimentmanagement een bijzondere plek in. Het thema morfologie en sedimentmanagement is de verbinding tussen deze vier functies (zie figuur 1). Dit geldt met name voor de bodemligging van het zomerbed: dit is een bepalende factor voor de waterveiligheid, de scheepvaart, de waterverdeling in tijden van droogte, en de uitwisseling met het winterbed (en dus de kansen voor de natuur). Die bodemligging hangt weer af van de water- en sedimentbeweging, en van het sedimentmanagement als onderdeel van het rivierbeheer.

### 1.1.1. Waterveiligheid

Het beleid ten aanzien van de waterveiligheid is verankerd in het Deltaprogramma en vertaald in normen voor het overstromingsrisico waar aan moet worden voldaan. In 2050 moeten de rivierdijken 'op orde' zijn. De hiervoor benodigde investeringen worden geprogrammeerd in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Die investeringen betreffen maatregelen aan dijkversterking en/of rivierversuiming, in een 'krachtig samenspel'<sup>1</sup>. In de systematiek van de normering voor de waterkeringen die gold tot 2017 was de zogenaamde beleidsmatige afvoerverdeling een belangrijk onderdeel van het beleid: het uitgangspunt dat bij een extreem hoge Rijnafvoer de afvoer zich volgens een vaste verdeling over de Rijntakken verdeelt. Dit uitgangspunt is in het verleden mede bepalend geweest voor de inrichting van de Rijntakken<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Voor 1 januari 2017 golden overschrijdingsnormen voor de hoogte en sterkte van de waterkeringen die waren gebaseerd op waterhoogtes die met een bepaalde kans konden optreden en die de waterkeringen veilig moesten kunnen keren. De relatie tussen deze normen, gebaseerd op overschrijdingskansen van waterstanden, en de beleidsmatige afvoerverdeling was helder en direct. Sinds 1 januari 2017 gelden andere normen, gebaseerd op overstromingsrisico's.



*Figuur 1. De vier belangrijkste rivierfuncties en het thema “morfo-dynamica” als verbindende schakel. De morfo-dynamica is de interactie tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie.*

### 1.1.2. Bevaarbaarheid<sup>ii</sup>

Voor het bedienen van de scheepvaart gelden internationale verdragen, waarvan de akte van Mannheim (1868) de belangrijkste is. Daarin verplichten de Rijnsoeverstaten zich tot vrije scheepvaart en tot rivieronderhoud en rivierverbetering. De verbindende partijen, waaronder Nederland, dienen ieder voor hun gebied de vaargeul van de Rijn in behoorlijke staat te brengen en te onderhouden teneinde de bevaarbaarheid en een streefdiepte te waarborgen<sup>2</sup>. Die streefdiepte, de gegarandeerde nautische diepte, is een minimale waterdiepte bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). De OLA is de afvoer die gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden. Voor de Rijntakken is deze afvoer momenteel 1020 m<sup>3</sup>/s. Voor de Bovenrijn en de Waal is deze nautische diepte bijvoorbeeld 2,80 m; deze diepte moet over de breedte van de vaargeul gegarandeerd zijn. Voor andere Rijntakken en voor de takken in het benedenrivierengebied gelden (deels) andere waarden voor deze dieptes.

Voor de waterdiepte in de Maas is de situatie met minimale afvoeren (MLW) maatgevend en wordt een minimale diepte van 3,50 m (overeenkomend met de maximaal toegestane diepgang voor schepen van 3,50 m) aangehouden. Voor de Maas is geen vereiste ten aanzien van de beschikbare breedte vastgelegd.

Rijkswaterstaat hanteert een Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) voor het beoordelen van vergunningaanvragen voor activiteiten en ingrepen in de rivier die tot veranderingen in de waterbeweging en morfologie kunnen leiden. Daarbij wordt gekeken naar effecten op de waterdiepte, in relatie tot de hierboven genoemde nautische dieptes, en dwarsstroming (voor de scheepvaart, bijvoorbeeld bij in- en uitstromen van nevengeulen).

### 1.1.3. Waterbeschikbaarheid

<sup>2</sup> De akte van Mannheim geldt voor de Waal en de Nederrijn-Lek, niet voor de IJssel.

Het beleid ten aanzien van de waterbeschikbaarheid is verankerd in het Deltaprogramma Zoetwater. De twee belangrijkste uitgangspunten zijn het tegengaan van zoutindringing vanuit zee en het beschikken over een voldoende grote zoetwatervoorraad in het IJsselmeer. Deze uitgangspunten werken direct door in het beleid ten aanzien van de afvoerverdeling over de Rijntakken bij laagwater. Voor laagwater geldt geen beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling, maar binnen het huidige beleid wordt wel gestreefd naar het garanderen van een voldoende grote zoetwaterafvoer bij Rotterdam om het binnendringen van zout water te beperken, en daarmee onder meer de inlaatpunten voor zoetwater te beschermen. Ten aanzien van het toekomstige beleid wordt nagedacht over het vergroten van de afvoer over de IJssel in tijden van droogte om de zoetwatervoorraad op het IJsselmeer op peil te houden.

De zoetwatervoorziening in Nederland heeft drie kranen: de stuw bij Driel, de sluisen in de afsluitdijk en de sluisen in de Haringvlietdam. Voor het rivierbeheer zijn de afspraken in het stuwprogramma van de stuwen op de Nederrijn-Lek bepalend voor de afvoerverdeling over de IJssel en de Nederrijn-Lek.

#### **1.1.4. Waterkwaliteit en natuur**

Het beleid ten aanzien van de waterkwaliteit en natuur is gebaseerd op besluitvorming binnen de EU. Met name de regelgeving van de Kaderrichtlijn Water stuurt het Nederlandse beleid voor de waterkwaliteit van de rivieren en de natuurontwikkeling in het winterbed. Voor het borgen van de waterkwaliteit en de bescherming van de rivier-gebonden natuur van de rivieren zijn in het kader van de KRW stroomgebiedbeheerplannen opgesteld.

Nederland heeft zelf de Programmatische Aanpak Grote Wateren geïntroduceerd. Binnen dit programma worden, in opdracht van de ministeries van IenW en LNV, maatregelen genomen om in de grote wateren een veerkrachtige ecologie en een robuuste natuur te realiseren.

#### **1.1.5. Morfologie en sedimentmanagement: IRM**

Zoals hierboven beschreven is het thema morfologie en sedimentmanagement de verbinding tussen deze vier belangrijkste rivierfuncties. Het beleid ten aanzien van morfologie en sedimentmanagement wordt uitgewerkt en geïmplementeerd binnen het programma Integraal Rivier Management (IRM). Dit programma is opgezet door de Minister van Infrastructuur en Waterstaat in samenwerking met de partners in het Deltaprogramma (overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties) en de betrokken stakeholders in het rivierengebied. In dit programma wordt toegewerkt naar een toekomstbestendig riviersysteem dat meervoudig bruikbaar is en uiteindelijk als systeem goed functioneert: geen maatregelen die op zichzelf staan, maar die onderdeel zijn van een logisch geheel en een na te streven eindbeeld dat past bij het gedrag van de rivier en recht doet aan de diverse rivierfuncties.

De kern van het programma bestaat uit maatregelen in het gebied tussen de rivierdijken / hoge gronden (de rivierbak). Daarbij horen verschillende typen maatregelen, zoals: sedimentbeheer (baggeren en suppleren), uiterwaardbeheer en herinrichting van de rivier (zoals rivierversuiming, langsdammen, systeemgrepen). Daarnaast worden andere maatregelen bij het programma betrokken die voortkomen uit de Rijks- en regionale opgaven rond de rivieren. De maatregelen worden in samenhang met andere programma's gedefinieerd, zoals het



Hoogwaterbeschermingsprogramma, de Kaderrichtlijn Water en de Programmatische Aanpak Grote Wateren.

Ten behoeve van het Integraal Rivier Management zal kennis en modelinstrumentarium worden ontwikkeld waarmee een kwantitatief beeld kan worden verkregen van de mate waarin morfologische ontwikkelingen en klimaatverandering rivierfuncties raken, en welke neveneffecten van maatregelen kunnen doorwerken op de verschillende eigenschappen en functies van het riviersysteem. Kernbegrippen bij deze maatregelen zijn: haalbaarheid, maakbaarheid, betaalbaarheid en beheersbaarheid.

## 1.2. Het programma Rivers2Morrow

Het Nationale Kennis en Innovatieprogramma Water en Klimaat (NKWK) omvat een aantal onderzoeklijnen die zich richten op de verschillende watersystemen in Nederland. Een van die onderzoeklijnen gaat over rivieren, en heeft de naam Rivers2Morrow meegekregen. Binnen dit onderzoeksprogramma wordt gewerkt aan het vergroten van de systeemkennis van laagland-rivieren op het gebied van hydraulica en morfologie, maar ook ecologie en governance. Het programma richt zich op de lange-termijn ontwikkelingen (tot 2100). Met de resultaten van dit onderzoek kunnen beleidsbeslissingen beter worden onderbouwd en kan het beheer en onderhoud van rivieren effectiever en efficiënter worden ingevuld. Het onderzoek richt zich onder meer op effecten van klimaatverandering, zoals verhoogde afvoer, een andere afvoerstatistiek en een verhoogde zeespiegel, en de grootschalige ingrepen door de mens in het verleden.

De acht promotieonderzoeken binnen dit programma richten zich op: de aanvoer van fijn sediment uit het stroomgebied van de Rijn, de stabiliteit van splitsingspunten in de Rijn, de effecten van klimaatverandering en zeespiegelstijging op de bodemligging van de Rijntakken respectievelijk de morfologie van de Rijn-Maasmonding, meetmethoden voor sedimenttransport, de dynamiek van beddingvormen, de sedimentbeweging in de Rijn-Maasmonding, en de sedimentbalans van de Maas. De onderzoeken worden uitgevoerd door de universiteiten van Twente, Wageningen, Utrecht en Delft. Bij het onderzoek zal ook veelvuldig gebruik gemaakt worden van de kennis aanwezig bij Deltares en gespecialiseerde ingenieursbureaus. Rivers2Morrow is gestart in 2018 en zal doorlopen t/m 2024.

In onderstaande infographic is voor al deze acht promotieonderzoeken samengevat wat de focus van het onderzoek is en wat de centrale vraag binnen beleid en beheer is die op dit onderzoek aansluit. De ambitie van het programma is ook om modelinstrumentarium verder te ontwikkelen, dit is als apart onderzoek opgenomen. Vervolgens worden deze onderzoeksfocus en beleids- en beheersvragen besproken in negen paragrafen in hoofdstuk 2.

INFOGRAPHIC 1. Beleidsvragen en onderzoeksopdrachten.

## 2. Onderzoeksthema's

### 2.1. Aanvoer en herkomst van fijn sediment uit het stroomgebied van de Rijn

**Uitvoering: Universiteit Utrecht**

#### 2.1.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Hoe ontwikkelen zich de waterkwaliteit van Rijn en Maas en de baggeropgave in hun benedenlopen?**

##### **Vraagstuk:**

In de afgelopen tientallen jaren was ongeveer driekwart van het sediment dat bij Lobith ons land binnenkwam slib; de rest was zand en grind. Voor de Maas zijn geen getallen bekend maar mag ook worden aangenomen dat het slibtransport de sedimentbalans domineert. In de bovenlopen van de Rijntakken en de Maas (en in deze rivieren in Duitsland en België) blijft dit slib bij lagere afvoeren in het water zweven; het zakt pas uit als het water vrijwel tot stilstand komt, zoals in de havenbekkens van Rotterdam, in het Hollands Diep en Haringvliet, en in het Ketelmeer. Bij hogere afvoeren zakt een deel van dit slib uit op de uiterwaarden en weerden, en in de nevengeulen. Het slib bepaalt wel de ontwikkeling van het winterbed maar niet die van het zomerbed, met uitzondering van de genoemde sedimentatiegebieden benedenstrooms.

Daarnaast is slib een drager van verontreinigingen: de kleideeltjes en organische stof in zwevende slibvlokken binden verontreinigingen aan zich vast. Daardoor hoopten in het verleden, toen het water van Rijn en Maas veel sterker verontreinigd was dan nu, veel verontreinigingen zich op in de sedimentatiegebieden benedenstrooms.

De hoeveelheid slib die in Duitsland vanuit de haarvaten van het stroomgebied de rivier bereikt, neemt af. Voor Nederland kan dat betekenen: minder baggeren benedenstrooms, minder slib op de uiterwaarden en in nevengeulen, maar ook relatief vuiler slib als dezelfde hoeveelheid vervuilende stoffen zich aan minder slib gaan hechten.

##### **Beleid:**

Kennis over de aanvoer van fijn sediment is van belang voor het beleid ten aanzien de natuur en waterkwaliteit. De relatie met de natuur zit in de slibsedimentatie op uiterwaarden en in nevengeulen, de relatie met de waterkwaliteit zit in de eigenschap van slib als drager van verontreinigingen.

##### **Beheer:**

Voor de beheerder is kennis over de slibaanvoer vanuit Duitsland en België van belang met het oog op de baggeropgave benedenstrooms. Die baggeropgave gaat gemoeid met kosten, maar ook met keuzes waar de beheerder het gebaggerde materiaal kan laten. Terugstorten is bij slib, met het oog op de aanwezigheid van verontreinigingen, niet altijd een optie.

## 2.1.2. Onderzoeksdoelstellingen

### **Focus onderzoek: Waarom is de slibconcentratie in het Rijnwater in de afgelopen jaren afgenomen en wat is de trend voor de toekomst?**

De jaarlijkse hoeveelheid fijn sediment (slib) die de Rijn vanuit Duitsland Nederland in transporteert is de afgelopen tientallen jaren afgenomen. Deze afname zal gevolgen hebben voor de waterkwaliteit en voor de hoeveelheid sediment die bezinkt op de uiterwaarden, in de nevengeulen, en benedenstrooms in het Ketelmeer en het benedenrivierengebied. Verwacht mag worden dat deze afname ook doorwerkt in het rivierbeheer, onder meer doordat de hoeveelheden slib die jaarlijks benedenstrooms moeten worden weggebaggerd naar verwachting zouden moeten afnemen. Als we begrijpen waardoor de trend van afnemende slibconcentraties in het Rijnwater wordt bepaald, kunnen we ook inschatten hoe die trend zich in de toekomst zal ontwikkelen.

Die informatie is belangrijk voor het beheer van de uiterwaarden. Veel nevengeulen slibben aan, wat op termijn de functionaliteit van deze geulen kan aantasten en ingrijpen door de rivierbeheerder nodig kan maken. Ook in de toekomst kunnen maatregelen in de uiterwaarden worden genomen, die de bezinking van slib versterken. Bij het ontwerp van deze maatregelen zal een zo beperkt mogelijk beheer en onderhoud in de toekomst een van de criteria zijn. Daarvoor is kennis nodig van de slibvrachten die kunnen worden verwacht.

Een groot deel van de volumes aan baggerwerk benedenstrooms, zoals in de havenbekkens van Rotterdam, de oversteek door het Hollands Diep naar Moerdijk en het Ketelmeer, bestaat uit slib. Een kubieke meter slib bevat veel meer water dan een kubieke meter zand. Vergeleken met een vracht zand neemt eenzelfde gewichtshoeveelheid slib die uit Duitsland wordt aangevoerd en benedenstrooms bezinkt een veel groter volume in. De geconstateerde trend van een afname van de slibaanvoer van bovenstrooms, en inzicht in het verloop hiervan in de toekomst, zal direct gevolgen hebben voor de baggerinspanning, en dus voor het rivierbeheer.

Slibdeeltjes binden verontreinigende stoffen aan zich. Het zwevende slib is dus een factor die de waterkwaliteit mede bepaalt. Stel dat er minder slib in het water zweeft terwijl de concentratie verontreinigende stoffen niet is afgenomen, is het aanwezige slib dan vuiler dan voorheen omdat minder slib meer verontreinigende stoffen bindt?

Concreet richt het onderzoek zich op de volgende aspecten:

- ⇒ De herkomst van slib in de Duitse Rijn vanuit zijrivieren, rivieroever, hellingen langs de rivier en vanuit steden en de landbouw; de herkomst van slib kan worden vastgesteld door te kijken naar de chemische samenstelling ervan ('fingerprinting').
- ⇒ De oorzaken van de waargenomen afname van de concentratie zwevend sediment in de afgelopen tientallen jaren.
- ⇒ De verwachte trend van concentraties zwevend sediment in de toekomst.

## 2.2. Stroomkennis Maas

### 2.2.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Welke maatregelen zijn nodig om de verstoorde sedimenthuishouding van de Maas te herstellen en zo een duurzaam en veilig gebruik te garanderen?**

#### **Vraagstuk:**

De Maas en de Rijnakken hebben vergelijkbare morfologische problemen: een daling van de rivierbedding ten opzichte van het winterbed die al meer dan 100 jaar doorzet, als gevolg van ingrepen en baggeren, versterkt door een (te) beperkte aanvoer van zand en grind uit de buurlanden. Ook de negatieve gevolgen zijn vergelijkbaar: bedreiging van de stabiliteit van constructies in en langs de rivier, bloot liggende kabels en leidingen, vaste lagen en bodemkribben die knelpunten worden voor de scheepvaart, achteruitgang van natuur in uiterwaarden doordat ze minder vaak overstroomd, en verdroging binnendijks door een lagere grondwaterstand in de zomer. Er is ook een groot verschil tussen beide rivieren: voor de Rijnakken zijn de fluxen van zand, grind en slib die zich op jaarbasis door de rivier verplaatsen redelijk goed bekend, voor de Maas is deze kennis nog niet beschikbaar.

#### **Beleid:**

Kennis over de sedimentbalans is essentieel om goed te kunnen inschatten wat mogelijke effecten van maatregelen of van (her)inrichting in het zomer- of winterbed zijn. De grootte van het sedimenttransport bepaalt immers hoe snel de rivier de bodemligging van zijn bedding aanpast, waar en hoe snel oevers eroderen en hoeveel slib bij hoogwaters op het winterbed en in nevengeulen achterblijft. Daarmee is de sedimentbalans een cruciaal instrument voor verschillende aspecten van het rivierenbeleid:

- ⇒ het geeft inzicht in de effecten van maatregelen die we nemen voor de waterveiligheid en die (bijvoorbeeld via aanzanding van de bedding) doorwerken op de bevaarbaarheid van de rivier;
- ⇒ het helpt bij keuzes rond de (her)inrichting van het winterbed, waarbij sedimentatie van zand voor de natuur veelal meerwaarde heeft en de sedimentatie van slib niet.

#### **Beheer:**

Voor de rivierbeheerder is een sedimentbalans van de rivier een belangrijk instrument bij de uitvoering van zijn werk. Het helpt de beheerder bij<sup>iii</sup>: het identificeren van de morfologische problemen in de rivier en het vinden van oplossingen hiervoor, het optimaliseren van de strategie van baggeren en (terug)storten, het gestructureerd samenwerken met buurlanden, het verkennen van mogelijke gevolgen van ingrepen, het verbeteren van rekenmodellen, en de communicatie van keuzes in het rivierbeheer met de samenleving.

## 2.2.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Wageningen Universiteit

**Focus onderzoek: Morfodynamiek in supply-limited rivieren met stuwen - verbetering van methoden voor de voorspelling van veranderingen van het rivierbed, case studie de Maas .**

De afgelopen honderd jaar is het rivierbed van de Maas ingrijpend veranderd. Zand- en grindwinning, en normalisaties waarbij de rivier een smallere en rechttere loop heeft gekregen, hebben geleid tot een aanzienlijk lagere ligging van het zomerbed. Op sommige plaatsen is het zomerbed in de afgelopen honderd jaar wel 5 meter dieper komen te liggen. Gemiddeld zakte het zomerbed van de Maas over de afgelopen eeuw 1 tot 3 meter<sup>iv</sup>. De erosie gaat nog steeds door, met uitzondering van delen waar de rivier is verdiept. De sedimentbalans van de Maas is verstoord. De afgelopen eeuw zijn jaarlijks honderdduizenden kubieke meters sediment aan de rivier onttrokken (zandwinning). Daar staat tegenover dat er nauwelijks nog zand en grind van bovenstrooms Nederland binnen komen. Stuwen, zandvangen en zomerbedverdiepingen belemmeren het doorgaand sedimenttransport, zowel in Wallonië als in Nederland.

Een rivier die van bovenstrooms geen sediment krijgt aangevoerd zal op delen waar de rivier hard stroomt de bedding eroderen. Dit gebeurt ook op de Maas, met negatieve gevolgen voor verschillende functies van de rivier. Zo kunnen constructies voor de scheepvaart instabiel worden, kunnen kabels en leidingen bij verdergaande insnijding bloot komen te liggen en beschadigd raken, en is er het risico dat diepe gaten ontstaan door erosie van fijn zand dat nu nog onder het beddingmateriaal ligt, waardoor de stabiliteit van waterkeringen en oevers in gevaar kan komen.

Ook voor de natuur is het zakkende zomerbed ongunstig. In delen waar de rivier niet gestuwd is daalt het grondwater met het zomerbed mee, waardoor de weerden verdrogen. Zo is het grondwater in de weerden langs de Grensmaas ongeveer een meter gezakt na de forse verdieping van het zomerbed halverwege de vorige eeuw. Waar het zomerbed zakt, overstromen de weerden bovendien minder vaak. Daardoor vinden minder zandafzettingen plaats die van belang zijn voor pionier begroeiing. Vooral de hoge weerden langs de Bedijkte Maas verliezen steeds meer het contact met de rivier.

Om toekomstige bodemveranderingen beter te kunnen voorspellen en de onzekerheden in beeld te brengen zijn andere methoden nodig en een beter inzicht in de morfologische processen, onder andere door de verstoorde balans van zand en grind goed in de vingers te krijgen. Die kennis zal worden ontwikkeld in dit onderzoek. Op hoofdlijnen levert het onderzoek de volgende resultaten op:

- ⇒ Inzicht in de mogelijkheden om de complexiteit en daarmee de rekentijd van morfologische modellen te reduceren.
- ⇒ Inzicht in de sedimentbalans van de Maas, over een tijdschaal van in ieder geval de laatste 30-50 jaar, voor tenminste zand en grind.
- ⇒ De identificatie van de belangrijkste processen en bijbehorende tijdschalen die het bodemprofiel van de rivier bepalen op een tijdschaal van tientallen jaren.
- ⇒ Betere modellen die het morfologisch gedrag van de rivier beschrijven en de onzekerheden in beeld brengen. Hiermee kan meer inzicht worden gegeven in de ontwikkeling van de rivier in de toekomst, als reactie op menselijk handelen en autonome ontwikkelingen. De modellen zullen worden toegepast op de Maas.

## 2.3. De water- en sedimentbeweging bij splitsingspunten

### 2.3.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Welk rivierbeheer past bij mogelijke toekomstige veranderingen in de verdeling van water en sediment over de Rijntakken?**

#### Vraagstuk:

Hoe de afvoer zich verdeelt over de Rijntakken is om verschillende redenen van groot belang, met name:

1. vanwege de zoetwatervoorziening benedenstrooms in tijden van droogte, onder meer voor de bestrijding van de zoutindringing bij Rotterdam en het op peil houden van de zoetwatervoorraad op het IJsselmeer en Markermeer;
2. vanwege de bevaarbaarheid van Waal en IJssel bij lage Rijnafoeren;
3. vanwege het kunnen handhaven van de beleidsmatige afvoerverdeling over de Rijntakken bij extreem hoge rivierafvoeren (2/3 over de Waal, 1/6 over de Nederrijn-Lek, 1/9 over de IJssel). Bij het ontwerp van dijkhoogtes en –sterktes benedenstrooms van de splitsingspunten Pannerdensche Kop en IJsselkop is van deze afvoerverdeling uitgegaan.
4. vanwege de relatie van deze afvoerverdeling met de verdeling van sediment en met morfologische ontwikkelingen (waaronder daling rivierbedding) benedenstrooms.

#### Beleid:

De afvoerverdeling bij de splitsingspunten is verbonden met alle vier beleidsvelden die hiervoor (figuur 1) zijn genoemd: bij hoogwater de waterveiligheid (beleidsmatige afvoerverdeling), bij laagwater de scheepvaart (gegarandeerde nautische dieptes), de zoetwatervoorziening inclusief zoutbestrijding benedenstrooms, en de natuur en waterkwaliteit (minder water = in principe vuiler water). De relatie met het beleidsveld natuur verloopt met name via thema 2.4 over de dynamiek van de bodemligging: de grondwaterstand van de uiterwaarden en het binnendijkse gebied volgt de waterstand in de rivier en als die in droge zomers laag staat heeft de natuur daar onder te lijden. Met de hoofdwaterkranen (stuw bij Driel, Haringvlietssluisen, sluisen Afsluitdijk) wordt de waterverdeling aangestuurd, maar het resultaat daarvan hangt mede af van de ontwikkeling van de bodemligging van het zomerbed van de verschillende takken bij een splitsingspunt. Die ontwikkeling is nu zodanig dat zowel Waal als IJssel meer water trekken dan de andere takken.

#### Beheer:

De rivierbeheerder kan op dit moment niet veel doen om (gevolgen van) ongewenste trends in de afvoerverdeling te compenseren. Bij laagwater staan de stuw bij Driel en de Haringvlietssluisen dicht en is er geen knop om aan te draaien. Bij hoogwater is de ruimte om met regelwerken de afvoerverdeling bij te sturen beperkt<sup>v</sup>.

### 2.3.2. Onderzoeksdoelstellingen

#### Uitvoering: Technische Universiteit Delft

**Focus onderzoek: Inzicht in de verdeling van water en sediment bij de splitsingspunten van de Rijntakken, en hoe menselijk handelen, de zeespiegelstijging en een veranderend afvoerregime hier invloed op hebben.**

De splitsingspunten in de bovenlopen van de Rijn zijn zo ontworpen dat de rivierafvoer zich bij hoogwater min of meer in een vaste verhouding over beide takken verdeelt: twee derde gaat naar de Waal respectievelijk Nederrijn, een derde naar het Pannerdensch Kanaal respectievelijk de IJssel. Voor ons spreekt deze afvoerverdeling vanzelf, maar dat is het niet.

Van nature zijn splitsingspunten niet stabiel. Een van beide riviertakken gaat op een bepaald moment meer water trekken dan de ander tot de rivier in zijn geheel door de grootste tak gaat stromen en de kleine tak dichtslibt en verlandt. Dit is ook de geologische geschiedenis van de Rijn in Nederland tot dat de mens het rivierenstelsel ging beteugelen. Die geschiedenis is als zandige stroomruggen, oude rivierbeddingen, in de ondergrond vastgelegd. Uit onderzoek aan deze stroomruggen is gebleken dat in Nederland in de afgelopen 5000 jaar circa 40 rivierverleggingen zijn opgetreden<sup>vi</sup>: dat is gemiddeld eens per 125 jaar een verlegging. In dat opzicht is een vaste afvoerverdeling bij de Pannerdensch Kop sinds 1700 best bijzonder te noemen.

Maar er zijn signalen dat de afvoerverdeling bij de splitsingspunten langzaam verschuift. Bij de Pannerdensch Kop gaat geleidelijk meer water naar de Waal en minder naar het Pannerdensch Kanaal. Van de afvoer over het Pannerdensch Kanaal gaat bij de IJsselkop geleidelijk meer water naar de IJssel en minder naar de Nederrijn, zowel voor gestuwde als ongestuwde condities<sup>vii</sup>. Deze ontwikkelingen zijn terug te voeren op menselijk handelen in het verleden. In de toekomst kan ook de invloed van klimaatverandering op het afvoerregime van de Rijn een rol gaan spelen. Voor de riviervertakkingen benedenstrooms kan vooral de zeespiegelstijging een belangrijke invloed zijn.

Met een verandering van de verdeling van de afvoer verandert ook de verdeling van het sediment dat uit Duitsland wordt aangevoerd, en dat beïnvloedt weer de morfologische ontwikkeling van de Rijntakken benedenstrooms van de splitsingspunten. Veranderingen in deze verdeling van water en sediment, en de stabiliteit van de splitsingspunten worden onderzocht met het oog op de gevolgen van menselijk handelen en klimaatverandering. Op hoofdlijnen levert dit de volgende resultaten op:

- ⇒ Kennis over de verdeling van water en sediment bij riviervertakkingen in laaglandrivieren, van belang met het oog op een eventuele aanpassing van het beheer dat het best past bij een mogelijk veranderende water- en sedimentverdeling.
- ⇒ Kennis over de factoren die bepalen of en hoe deze splitsingspunten op lange termijn een (min of meer) vaste verdeling van water en sediment kennen, en dus stabiel blijven; hierbij gaat om factoren in relatie tot menselijk handelen, de zeespiegelstijging en een veranderend afvoerregime.

## 2.4. De dynamiek van de bodemligging van de Rijntakken

### 2.4.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Wat is de gewenste ligging van de rivierbodembodem, in het licht van de verschillende rivierfuncties, en hoe kan die worden bereikt?**

#### **Vraagstuk:**

De langjarige trend van het steeds lager komen te liggen van de rivierbedding van de Rijntakken leidt inmiddels tot veel problemen. Die problemen raken alle beleidsvelden: de bevaarbaarheid (er liggen constructies op de bedding die niet mee zakken en ondieptes voor de scheepvaart vormen), de waterveiligheid en waterbeschikbaarheid (bodemdaling werkt door op de afvoerverdeling bij extreem hoog- en zeer laagwater, zie §2.3) en de natuur (ook de grondwaterstanden dalen en het winterbed stroomt minder vaak mee). Er is eigenlijk maar één manier om die problemen het hoofd te bieden: de insnijding van het zomerbed stoppen.

#### **Beleid:**

Een van de instrumenten die binnen IRM wordt ontwikkeld is de Basis Rivierbodembodem Ligging (BRL). Hiermee wordt beoogd een referentieligging (in de vorm van een bandbreedte) te verkrijgen die de gewenste ligging van de rivierbodembodem beschrijft, uitgaande van de verschillende rivierfuncties die eisen stellen aan de bodemligging. Deze BRL zal worden ondersteund met een signaleringsinstrument dat aangeeft wanneer niet langer aan de eisen voor een bepaalde functie wordt voldaan of wanneer functies met elkaar in conflict komen. Belangrijke vraag is: welk niveau van bodemligging voor de BRL is de beste keuze met het oog op de bediening van de rivierfuncties en het kunnen handhaven van deze bodemligging? Een hogere bodem van vroeger, de huidige bodem, een nog wat doorgezakte bodem in de toekomst? Deze vraag kan niet worden beantwoord zonder inzicht in de huidige trend van de bodemligging en de processen die daaraan ten grondslag liggen.

#### **Beheer:**

Een rivier zal altijd ondieptes blijven opbouwen, aan baggeren voor vaargeulonderhoud valt niet te ontkomen. Dat baggeren moet wel onderdeel zijn van een slimme strategie ten aanzien van baggeren en terugstorten zodat de insnijding van de Maas en de Rijntakken zoveel mogelijk wordt beperkt. Kennis over de dynamiek van de bodemligging, inclusief de onderliggende processen, is input voor het ontwerp en eventuele periodieke bijsturing van deze strategie.



## 2.4.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Technische Universiteit Delft

**Focus onderzoek: Inzicht in de ontwikkeling van de bodemligging van het zomerbed, als reactie op ingrepen in het verleden, en op de zeespiegelstijging en veranderende afvoerregimes in de toekomst.**

De verdeling van de water- en sedimentbeweging bij de splitsingspunten is een van de factoren die bepaalt hoe de bodemligging van de verschillende Rijntakken zich gedraagt. Voor de dynamiek van de bodemligging van de Rijntakken is de relatie relevant met zowel de splitsingspunten Pannerdensch Kop en IJsselkop bovenstrooms als de splitsingspunten in het benedenrivierengebied. Bovenstrooms beïnvloedt het veranderende afvoerregime van de Rijn de morfologische processen, benedenstrooms heeft de zeespiegelstijging effect.

De dynamiek van de bodemligging van de Rijntakken kwam de afgelopen tientallen jaren neer op een trend van daling van het zomerbed, door erosie en de onttrekking van (vooral) zand. Een combinatie van verschillende menselijke invloeden was hier de oorzaak van. Die invloeden gaan ongeveer anderhalve eeuw terug in de tijd, toen de rivieren met normalisaties werden versmald. De versmalling bracht een insnijding van de rivieren op gang, een morfologische reactie die de rivieren op een koers zetten naar een nieuw evenwicht, met een lagere ligging van het zomerbed. De grote hoeveelheden zand en grind die vooral in de eerste helft van de vorige eeuw uit de rivieren zijn gehaald, waren mede bedoeld om die nieuwe evenwichtsligging versneld te bereiken.

Ook in de tweede helft van de vorige eeuw zijn grote ingrepen in de rivieren gepleegd, met grote gevolgen voor de water- en sedimentbeweging, en de morfologie. Bochtafsnijdingen op de IJssel hebben de afstand naar de monding verkort, het verhang van de rivier vergroot en de erosie van de rivierbedding versneld. De kanalisatie van de Nederrijn-Lek heeft de doorvoer van zand en grind daar sterk doen afnemen, waardoor benedenstrooms de erosie van de bedding ook weer werd versneld. Begin deze eeuw hebben de maatregelen van Ruimte voor de Rivier over deze grootschalige bodemdaling lokale effecten 'uitgestrooid' die, afhankelijk van het type maatregel, op de ene plek tot erosie en op de andere plek tot sedimentatie heeft geleid.

Al deze effecten van ingrepen, met verschillende startpunten in het verleden, verschillende tijdschalen waarover deze effecten doorwerken, en verschillende afstanden waarover zij de rivieren beïnvloeden, bepalen samen hoe de bodemligging zich in de toekomst ontwikkelt. En dat is nog maar een deel van het verhaal: ook ontwikkelingen over de grens en de verandering van het klimaat zijn van belang. Ontwikkelingen in Duitsland bepalen mede hoeveel zand en grind de Rijntakken binnenkomt. Op de lange termijn zal ook de verandering van het afvoerregime, zoals de geleidelijke transformatie van de Rijn naar een regenrivier, de water- en sedimentbeweging beïnvloeden, terwijl ook een hogere zeespiegel (en voor de IJssel een hoger peil van het IJsselmeer) van beneden- naar bovenstrooms zal doorwerken.

Dit onderzoek kijkt voor de verwachte ontwikkeling in de toekomst net zo ver vooruit (een paar eeuw) als het voor het begrip van de huidige trends teruggaat in het verleden (normalisaties 19<sup>e</sup> eeuw). Dit levert onder meer de volgende resultaten op:

- ⇒ Inzicht in de effecten van zeespiegelstijging en veranderende afvoerregimes op de morfologische ontwikkeling van de rivieren.

- ⇒ Inzicht in de (geconstateerde) vergroving van het aangevoerde sediment uit Duitsland op het verhang van de bedding van de Rijntakken.
- ⇒ Een methode waarmee de effecten van eventuele toekomstige maatregelen, zoals aanvullende rivierverruiming en meer structurele suppleties met zand en grind, kunnen worden ingeschat.

## 2.5. De dynamiek van de bodemligging van de benedenlopen van Rijn en Maas

### 2.5.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Wat zijn de beste maatregelen om voor het hele gebied een stabiele bodemligging te waarborgen en lokale erosie tegen te gaan?**

#### **Vraagstuk:**

Net als in de bovenlopen (§2.4) treedt ook in de benedenlopen van de Rijntakken en de Maas erosie van de rivierbedding op. De onderliggende processen en de schaal waarover dit speelt zijn echter verschillend. In de benedenlopen is de erosie vooral lokaal en hebben zich in een aantal takken diepe erosiekuilen ontwikkeld. De belangrijkste drijvende processen hierachter zijn gerelateerd aan de Deltawerken. Het benedenrivierengebied bestaat uit drie deelsystemen: de noordelijke takken met een open verbinding naar zee en met een sterk verdiepte bodem, de zuidelijke takken afgesloten van zee door de Haringvlietdam, en de verbindende takken hiertussen. Tussen de noord- en de zuidkant treden grote verschillen in waterstand op waardoor de stroomsnelheden op de verbindende takken hoog zijn met de erosie tot gevolg. Verder sedimenteert er veel zand en slib in de zuidelijke en noordelijke takken. In de noordelijke takken wordt het, voor de scheepvaart, weggebaggerd, in de zuidelijke (met uitzondering van de oversteek door het Hollands Diep naar Moerdijk) niet.

#### **Beleid:**

Voor het beleid ten aanzien van de bodemligging van de benedenlopen van Rijn en Maas is het onderscheid in de drie subsystemen (zie hierboven) relevant. Voor de noordkant is vooral de scheepvaart van groot belang en is het beleid gericht op voldoende vaardiepte naar de Rotterdamse haven en een goede vaardiepte op de verbindingen naar het achterland (Maas, Rijntakken, Schelde-Rijnverbinding). Voor de zuidkant geldt dit alleen voor de verbindingsgeul naar Moerdijk: Haringvliet en Hollands Diep zijn verder gewoon sedimentatiegebieden voor het zand en slib van de rivieren (en deels vanuit zee). Daar geldt wel beleid voor natuurontwikkeling. Ook voor de verbindende takken is het scheepvaartbeleid van groot belang. In het hele gebied is bestrijding van zoutindringing een belangrijk aandachtspunt in het beleid. Ook daar ligt een relatie met de bodemligging: in de verdiepte geulen kan het zout gemakkelijker binnendringen dan zonder die verdieping het geval zou zijn.

#### **Beheer:**

Voor het rivierbeheer zijn de bestrijding van de zoutindringing (t.b.v. landbouw, natuur en zoetwaterinname) en het beheersen/stoppen van de ontwikkeling van erosiekuilen de belangrijkste thema's die aan de bodemdynamiek gerelateerd zijn. Ten aanzien van die erosiekuilen gaat het vooral om het bewaken van de stabiliteit van oevers, constructies, en kabels en leidingen.

## 2.5.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Wageningen Universiteit

**Focus onderzoek: De vertaling van proceskennis over het gedrag van mengsels van zand en slib in formules en modellen waarmee de dynamiek van de rivierbedding nu en in de toekomst kan worden verkend.**

Het overgrote deel van het sediment dat vanuit België en Duitsland wordt aangevoerd is slib. In de bovenlopen van deze rivieren bezinkt een deel van dit slib bij hoogwater op de weerden en uiterwaarden, en bij lagere afvoeren ook in nevengeulen. Maar voor de bedding van de hoofdgeulen is het aangevoerde slib niet relevant. De bodemligging van die bedding wordt bepaald door de verplaatsing van zand en grind, niet door slib. Dat slib blijft in de bovenlopen in het water zweven en kan pas in de benedenlopen, waar het water minder hard stroomt, bezinken. De morfologische ontwikkeling van Maas en Rijn wordt voor de benedenlopen dus door andere processen bepaald dan voor de bovenlopen, ook al zijn de drijvende krachten achter die processen, menselijke ingrepen en klimaatverandering, hetzelfde.

Slib is heel ander materiaal dan zand en grind. Slib bestaat uit kleideeltjes, stukjes organische stof, algen en geloosde stoffen van huishoudens en de industrie. Al die stoffen plakken in het water aan elkaar tot slibvlokken. Die vlokken kunnen pas uitzakken op plaatsen waar het water nauwelijks stroomt, zoals in het Ketelmeer, het Haringvliet-Hollands Diep en de havenbekkens van Rotterdam. Dat uitzakken is niet vergelijkbaar met het sedimenteren van zand en grind. Waar zand en grind sedimenteren, maken zij meteen deel uit van de bodem. Voor slib ligt dat niet zo simpel. Het slib verdicht zich langzaam als het uitzakt, tot een troebele waterlaag die geleidelijk dikker en stroperiger wordt en langzaam deel gaat uitmaken van de bodem. De grens tussen slib in het water en slib als bodemlaag is diffuus. En tussen dat slib bevindt zich het zand dat ook van bovenstrooms is aangevoerd. Fijn zand, want het grove zand en het kleine beetje grind dat door de bovenlopen 'stroomde' is in de bovenlopen achtergebleven omdat het daar verder benedenstrooms niet hard genoeg voor stroomde.

In de benedenlopen van Rijn en Maas is het gedrag van slib en (fijn) zand over het algemeen niet los van elkaar te zien. Het materiaal verplaatst zich als mengsels, waarbij de plakeigenschappen van het slib ervoor zorgen dat het zand niet langer beweegt volgens de transportformules die bovenstrooms nog golden. Andere formules moeten worden afgeleid en in modellen worden ingebouwd, en daar is fysisch onderzoek voor nodig. Die plakeigenschappen, en dus het gedrag van de zand-slib mengsels, veranderen bovendien als het sediment vanuit het zoete water in steeds zouter water terecht komt: het zout versterkt het plakken van het slib.

Het fysische gedrag van deze mengsels van zand en slib wordt onderzocht om te komen tot kennis waarmee de dynamiek van de bodemligging in de benedenlopen kan worden beschreven zodat onder meer trends naar de toekomst kunnen worden doorgetrokken. Concrete resultaten zijn:

- ⇒ Inzicht in de gelaagdheid van het water dicht bij de bodem als daar veel slib uitzakt, en de invloed van die gelaagdheid op de stroming van het water dicht bij de bodem en de uitwisseling van slib met de bedding.
- ⇒ De vertaling van dit inzicht in formules die de sedimentstromen van zand-slib mengsels kunnen kwantificeren.

⇒ De toepassing van die formules in verbeterde modellen voor het beschrijven van het gedrag van de rivierbedding. Hiermee kunnen vervolgens toekomstscenario's worden verkend van de dynamiek van de bodemligging die kunnen leiden tot aanbevelingen hoe met het baggeren en storten van sediment in dit gebied het best kan worden omgegaan.

## 2.6. De balans van zand en slib in de benedenlopen van Rijn en Maas

### 2.6.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Hoe kan met sedimentbeheer in de benedenlopen van Rijn en Maas de bevaarbaarheid, ecologie, bodemstabiliteit en waterveiligheid op lange termijn worden gewaarborgd?**

#### **Vraagstuk:**

Voor dit vraagstuk kan worden verwezen naar §2.5; de dynamiek van de bodemligging en de balans van zand en slib zijn sterk verbonden thema's. Aanvullend kan worden gesteld dat in het benedenrivierengebied veel processen samenkomen: de aanvoer van zand en slib vanuit de rivieren en vanuit de zee, de menging van zoet en zout water, verandering in afvoerregime rivieren en zeespiegelstijging, baggeren (en terugstorten) voor de scheepvaart. De doorwerking van die processen op de balans van zand en slib in dit gebied moet goed worden doorgrond wil je scenario's kunnen opstellen van morfologische ontwikkelingen in dit gebied in de toekomst.

#### **Beleid:**

Aanvullend op §2.5 geldt voor dit gebied dat klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen effect hebben op alle beleidsvelden die in §1.1 zijn samengevat. Die effecten werken door op de stromen van zand en slib, de hoeveelheden die eroderen en/of sedimenteren. Ten aanzien van het sediment in de rivieren is het beleid dat in eroderende takken materiaal dat is gebaggerd (voor vaargeulonderhoud) weer wordt teruggestort. Inzicht in de effectiviteit van dit beleid vraagt om een goed beeld van de relatieve grootte van de bagger- en stortvolumes ten opzichte van de stromen van zand en slib in de sedimentbalans. Dat beeld is ook belangrijk waar in het kader van natuurbeleid zand en slib kunnen worden gebruikt voor natuurontwikkeling.

Mede aan de hand van de sedimentbalans van het gebied kunnen eventuele negatieve effecten voor beleidsvelden worden bewaakt zodat, bijvoorbeeld via aangepast beheer (zoals aanpassing strategie baggeren en storten), hierop kan worden bijgestuurd.

#### **Beheer:**

Zoals in §2.2.1. voor de Maas is samengevat, is een sedimentbalans om meerdere redenen een belangrijk instrument voor de rivierbeheerder. Wat geldt voor de Maas geldt ook voor de Rijntakken en het benedenrivierengebied. De balans is vooral waardevol voor effectief sedimentbeheer: een slimme strategie van baggeren en storten die er mede aan bijdraagt de bodemligging zoveel mogelijk stabiel te houden.

## 2.6.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Universiteit Utrecht

**Focus onderzoek: Inzicht in de hoeveelheid zand en slib vanuit zee en de rivieren, in combinatie met effecten van baggeren en storten, en de ontwikkeling van de sedimentbalans in het verleden en in de toekomst.**

In 2017 verscheen, onder auspiciën van de Internationale Commissie voor de Hydrologie van de Rijn, het rapport over de sedimentbalans van de Rijn, van bron tot monding, in het tijdvak 1991 - 2010<sup>viii</sup>. In dit rapport is veel onderzoek naar sedimentbalansen van deelgebieden van de Rijn, in Zwitserland, Duitsland en Nederland, gecombineerd tot een totaaloverzicht van de Bodensee tot Rotterdam en het IJsselmeer. Het deel van het Rijnsysteem waar de sedimentbalans het meest onzeker is, is het benedenriviereengebied. Dit onderzoek heeft als doel deze onzekerheden sterk te reduceren.

In het benedenriviereengebied komt het aangevoerde sediment van de Lek, de Waal en de Maas bij elkaar, en mengen deze sedimentstromen zich met het sediment dat vanuit zee wordt aangevoerd. De balans van dit gebied is om meerdere redenen complex. Het sediment komt vanuit 3 takken, en 2 riviersystemen, het sediment komt van rivieren en de zee, en het sedimenttransport en de morfologische ontwikkelingen worden bepaald door mengsels van zand en slib. Bovendien is het stelsel van rivieren, kanalen en afgesloten takken hier erg ingewikkeld. Aan de noordkant stroomt het Rijn- en Maaswater uit in zee en dringt het getij het gebied binnen. Aan de zuidkant laat het openingsregime van de Haringvlietdam nu een klein beetje getij binnen, maar dat staat in geen verhouding tot de getijrange aan de noordkant. De verschillen in waterstand die daardoor optreden leiden tot hoge stroomsnelheden in de verbindende takken, en daarmee tot erosie van de rivierbeddingen van deze takken.

Bij de vraagstukken van de water- en sedimentbeweging in dit gebied, en de daaraan verbonden ontwikkeling van de morfologie, komen in de toekomst de effecten van klimaatverandering. Ook daarvoor is de blik weer twee kanten op gericht: naar de zeespiegelstijging en naar het veranderende afvoerregime van de rivieren. In combinatie met ingrepen nu en in het verleden, waaronder ook het periodiek baggeren en terugstorten, zal klimaatverandering de sedimentbalans van dit gebied beïnvloeden. Het onderzoek naar de doorwerking van al deze factoren op de sedimentbalans van het benedenriviereengebied zal de volgende resultaten opleveren:

- ⇒ Inzicht in de fluxen zand en slib die onder de huidige omstandigheden vanuit de rivieren en de zee worden aangevoerd, en de mate waarin baggeren en terugstorten, en de erosie van de rivierbeddingen in dit gebied de sedimentbalans mede beïnvloeden.
- ⇒ Inschattingen van de invloed van grote ingrepen in dit gebied en van de invloed van klimaatverandering op deze sedimentbalans, op basis van scenario's die met een verbeterde modellering van de water- en sedimentbeweging in dit gebied worden doorgerekend.
- ⇒ Inzicht in oplossingsrichtingen waarmee (verwachte) negatieve ontwikkelingen in dit gebied kunnen worden bijgestuurd. De nadruk ligt hierbij op het slim benutten van natuurlijke processen en een effectief sedimentbeheer.

## 2.7. Dynamiek van beddingvormen en impact op waterveiligheid en bevaarbaarheid

### 2.7.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: In welke mate kunnen beddingvormen bij hoge afvoeren de waterstand opstuwten, en bij lage afvoeren de scheepvaart hinderen?**

#### **Vraagstuk:**

De bedding van de rivier is niet vlak. Er komen beddingvormen op voor die veranderen met het veranderen van de rivierafvoer. Het water dat over die beddingvormen stroomt, voelt die beddingvormen als een ruwe laag. Als die ruwheid groot genoeg is, wordt het stromende water hierdoor iets afgeremd en gaat de waterstand stijgen. Dat gebeurt vooral bij zeer hoge rivierafvoeren. Meer ruwheid door beddingvormen betekent bij een zelfde afvoer een hogere waterstand. Als de afvoergolf gepasseerd is, vlakken die beddingvormen weer af. Maar ook dat kost tijd. Als het water snel zakt, kunnen die beddingvormen ondieptes vormen voor de scheepvaart.

#### **Beleid:**

De dynamiek van beddingvormen (duinen) op de bodem van het zomerbed van de rivier is relevant voor het beleid bij hoogwater en laagwater. Bij hoogwater vanwege de ruwheid van deze duinen, en dus het effect op de hoogwaterstanden op de rivier. Bij laagwater vanwege de ondieptes voor de scheepvaart.

#### **Beheer:**

Voor de rivierbeheerder is kennis over het gedrag van beddingvormen vooral relevant met het oog op ondieptes voor de scheepvaart. Tijdens hoogwater zandt de rivier op verschillende plaatsen aan. Deze plaatsen kunnen na het passeren van de afvoergolf ondieptes worden voor de scheepvaart. Beddingvormen kunnen deze ondieptes versterken. Het zou de rivierbeheerder helpen als hij op basis van het verloop van een hoogwater kan inschatten waar in de rivier na het hoogwater hoeveel zal moeten worden gebaggerd.



## 2.7.2. Onderzoeksdoelstellingen

**Uitvoering: Universiteit Twente en Wageningen Universiteit**

**Focus onderzoek: Inzicht in de ontwikkeling van beddingvormen bij stijgende afvoer, hun effect op de bodemruwheid, en de snelheid waarmee ze weer uitdoven als het water zakt.**

Bij hoogwater ontstaan op de bedding van de Rijntakken en de Maas beddingvormen, vaak duinen genoemd. Ze groeien met het toename van de afvoergolf, en blijven vaak zelfs nog even doorgroeien nadat de afvoerpiek is gepasseerd. Over het algemeen duurt het meerdere dagen tot enkele weken voordat deze beddingvormen weer zijn weggepoetst en de bedding weer min of meer vlak is. De beddingvormen kunnen enkele decimeters tot zelfs een paar meter hoog worden, en tientallen meters lang. Hoe hoog en lang ze worden, hangt af van de waterbeweging (het verloop van de afvoergolf) en de samenstelling van het sediment in de bovenste 1-2 meter van de bedding. In zand worden deze beddingvormen over het algemeen hoger dan in grind.

Deze beddingvormen zijn voor het beleid en beheer om meerdere redenen relevant. Waar ze ontstaan wordt de bodem ruwer, wordt de afvoergolf dus meer afgeremd en stijgen de waterstanden. De hoogte van de extreem hoge waterstanden op de Rijntakken en de Maas wordt dus beïnvloed door de eigenschappen van deze beddingvormen. Naarmate we deze beïnvloeding beter begrijpen, kunnen we de extreem hoge waterstanden beter (nauwkeuriger) berekenen, en de benodigde hoogte en sterkte van rivierdijken beter berekenen. Daarbij komt dat nu nog niet goed bekend is hoe deze beddingvormen zich ontwikkelen bij de hoogste afvoeren die wij nog veilig willen kunnen keren. Als de stroomsnelheid hoog genoeg wordt, verdwijnen de beddingvormen weer en wordt de bedding weer vlak. Dan zal ook de ruwheid weer afnemen, met een dempend effect op de hoogte van de hoogwaterstanden onder deze extreme condities. Dit laatste kan gunstig zijn, maar ook risicovol. Als benedenstrooms van een splitsingspunt de beddingvormen in de ene tak afvlakken maar in de andere niet, heeft dit effect op de verdeling van de afvoer over deze takken. De snelstromende tak met de vlakke bedding trekt dan steeds meer afvoer aan waardoor de bedding in die tak snel kan eroderen.

Als de afvoer snel weer afneemt, ijlt het afvlakken van de beddingvormen hier vaak met een tijdsvertraging achteraan. Zo kunnen ondieptes ontstaan voor de scheepvaart, en zal na een hoogwater extra moeten worden gebaggerd.

Kennis over het groeien en afvlakken van beddingvormen is dus relevant voor de waterveiligheid en voor het beheer en onderhoud van de vaargeul ten behoeve van de scheepvaart. De resultaten die zullen worden opgeleverd zijn relevant voor hoogwaters en de lagere afvoeren daarna:

- ⇒ Voor extreem hoge afvoeren verkrijgen we inzicht in de snelheden waarbij beddingvormen ontstaan en weer afvlakken, in de ruwheid die het afstromende water hiervan ondervindt, en in het effect dat deze ruwheid heeft op de hoogte van de hoogwaterstanden.
- ⇒ Voor de lagere afvoeren verkrijgen we inzicht in de snelheid waarmee de beddingvormen weer uitdoven, waarmee voor het rivierbeheer verwachtingen kunnen worden opgesteld van het verloop van deze ondieptes door deze vormen, zodat de rivierbeheerder zich daarop kan voorbereiden.

Bij deze inzichten zullen ook scenario's van klimaatverandering, met de gevolgen voor het afvoerregime van Rijn en Maas, worden betrokken.

## 2.8. De modellering van het lange-termijn gedrag van laaglandrivieren

### 2.8.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: Met welke mogelijke ontwikkelingen van de bodemligging van zomer- en winterbed op de lange termijn, door ingrepen en klimaatverandering, moeten we bij (her)inrichting van de rivier rekening houden?**

#### **Vraagstuk:**

We weten hoe de bodemligging van Rijn en Maas zich in het verleden heeft ontwikkeld, en waardoor: de uiterwaarden zijn hoog opgeslibt en de bedding is diep ingesleten omdat we de rivieren hebben ingesnoerd. Maar met de kennis uit het verleden kunnen wij de toekomst niet verkennen. De rivier verandert voortdurend. Zo zal minder slib in het water van de Rijn (§2.1) gevolgen hebben voor de aanslibbing van de uiterwaarden, en zal de bodemligging van het zomerbed reageren op veranderingen in sedimentstromen, het bagger- en stortbeleid, de klimaatverandering en allerlei ingrepen. Hoe al die factoren en processen in de komende tientallen jaren veranderen weten we niet goed. Wel kunnen we scenario's opstellen van rivieringrepen en klimaatverandering en op basis hiervan, met de juiste modellen, een bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen in de toekomst berekenen.

#### **Beleid:**

De langjarige insnijding van het zomerbed en opslibbing van het winterbed heeft voor alle functies van de rivier negatieve gevolgen, en raakt het beleid dus op veel verschillende terreinen. Groot zijn de belangen bij een stabilisatie van de bodemligging van het zomerbed. Groot is ook de onzekerheid hoe die bodemligging zal reageren op een veelheid aan ingrepen in het verleden en de toekomst, en op de klimaatverandering. Een slimme manier om die toekomst te verkennen is door het morfologische gedrag van de rivier stochastisch te modelleren. Het voordeel ten opzichte van de nu gangbare modellen is de snelheid waarmee kan worden gerekend. Dankzij die snelheid kun je veel scenario's doorrekenen en zo een bandbreedte schetsen van het mogelijke morfologische gedrag van een rivier in de toekomst.

#### **Beheer:**

Snel kunnen rekenen aan het lange-termijn gedrag van rivieren is vooral van groot belang voor beleidsstudies, waarbij toekomstige effecten van beleidskeuzes in beeld moeten worden gebracht. Voor het rivierbeheer van vandaag zullen die modellen niet worden ingezet, maar met die modellen kan wel worden verkend hoe het rivierbeheer van de toekomst er uit kan gaan zien.

## 2.8.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Verschillende onderzoekspartners

**Focus onderzoek: Ontwikkeling van de techniek van snel, stochastisch modelleren zodat sneller een beeld kan worden verkregen van morfologische ontwikkelingen van laaglandrivieren op de lange termijn.**

De hiervoor beschreven onderzoeken leveren kennis op over de verschillende aspecten van het morfologische gedrag van laaglandrivieren. Samen beschrijven die aspecten de morfodynamica van deze rivieren: de interactie tussen de waterbeweging, de sedimentbeweging en morfologische veranderingen. In eenvoudige woorden komt die interactie er op neer dat als een van deze drie componenten verandert, die verandering doorwerkt in de andere componenten tot een nieuw evenwicht wordt bereikt. Een voorbeeld: door de normalisaties in het verleden is de vorm van de rivier veranderd, hij is versmald. Dat heeft de waterbeweging veranderd: het is sneller gaan stromen waardoor de bedding is uitgesleten en meer sediment is getransporteerd. Dat heeft de bedding verdiept, met weer effecten op de water- en sedimentbeweging, een interactie die net zo lang doorgaat totdat deze processen elkaar weer in evenwicht houden. Voor de Rijn en Maas kunnen we voor al deze drie componenten voorbeelden van ingrepen noemen die dit evenwicht hebben verstoord of zullen verstoren: de normalisaties voor de morfologie, klimaatverandering voor de waterbeweging, de verstoring van het doorgaand sedimenttransport door dammen. In de praktijk treden meerdere verstoring gelijktijdig op, waardoor het erg lastig is om de ontwikkeling van riviersystemen in de loop van deze eeuw goed in te schatten.

Kennis uit de verschillende onderzoeken van Rivers2Morrow wordt in modellen ingebouwd. Zo wordt die kennis geïntegreerd tot een instrument, het model, waarmee scenario's kunnen worden doorgerekend. Scenario's van verwachte trends in de toekomst, maar ook scenario's van effecten van ingrepen in de rivier. Wetenschappelijke kennis wordt daarmee toepasbaar voor beleidsstudies, verkenningen voor (her)inrichting, en beheer en onderhoud.

Een van de onderzoeken van Rivers2Morrow is gericht op de modellering van het lange-termijn gedrag van laaglandrivieren. Deze modellering is gebaseerd op stochastiek (kansberekening): de waarschijnlijke ontwikkeling van de bodemligging van de rivierbedding wordt berekend als reactie op veranderingen in het waterbeheer (met name de rivierafvoer). De techniek van stochastisch rekenen aan het morfologisch gedrag van rivieren is innovatief. Met deze techniek gaan berekeningen sneller dan de nu gangbare numerieke simulaties. Dat is vooral van groot belang voor simulaties over lange tijdschalen, zoals de grootschalige reactie van een riviertak op ingrepen in het systeem of op de gevolgen van klimaatverandering. Deze stochastische modellering zal zich richten op een tijdschaal van 10 tot 50 jaar. De resultaten adresseren twee hoofdlijnen van de morfodynamica van laaglandrivieren:

- ⇒ De interactie van de bodemligging van het zomerbed en die van het winterbed (de uiterwaarden).
- ⇒ Tweedimensionale riviervraagstukken, zoals de stabiliteit van riviervertakkingen.

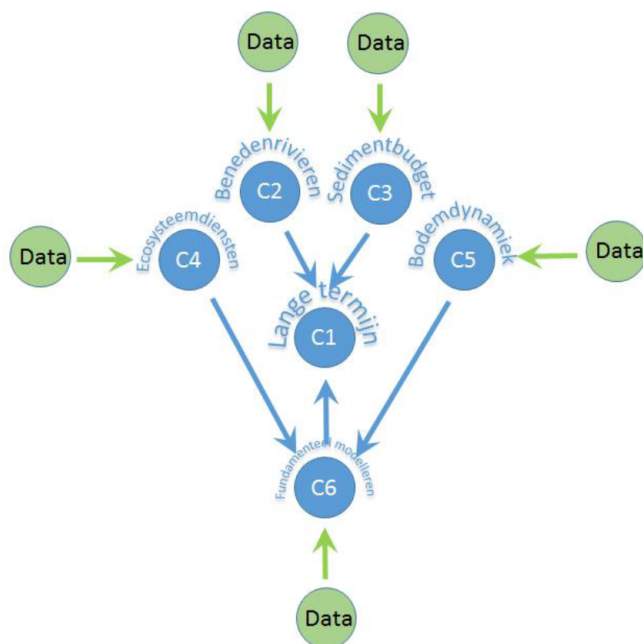
## 2.9. Verbetering kwantificering sedimenttransport laaglandrivieren

### 2.9.1. Beleid en beheer

**Centrale vraag: In hoeverre is ons huidige beleid houdbaar bij een wijzigende aanvoer van sediment onder invloed van klimaatverandering en menselijk ingrijpen?**

In de vorige paragrafen zijn acht onderzoeksthema's toegelicht: zeven die zich richten op deelaspecten van de morfodynamica van de rivier en een gericht op modellen waarin kennis uit de andere thema's wordt geïntegreerd. Al deze thema's hebben data nodig, voor het begrijpen van de processen in de rivier en voor het kalibreren en valideren van formules en modellen. Maar niet alleen het onderzoek, ook het beleid en beheer vragen om data. Voor het beleid zijn monitoring en evaluatie belangrijke onderdelen van de beleidscyclus: je houdt een vinger aan de pols of met het beleid wordt bereikt wat werd beoogd, zodat je kunt bijsturen als dat nodig blijkt. De rivierbeheerder heeft data nodig om zijn besluiten op te baseren. Op basis van bodempeilingen wordt, bijvoorbeeld, bepaald waar moet worden gebaggerd en waar kan worden teruggestort.

Het is slim om de inwinning en verwerking van data zo in te richten dat zowel onderzoekers, beleidsmakers als beheerders hier voor hun eigen taken en verantwoordelijkheden op terug kunnen vallen. Slim inwinnen en verwerken betekent ook: slim meten, met de juiste (state-of-the-art) technieken, zodat veel informatie beschikbaar komt tegen een relatief beperkte inspanning en relatief beperkte kosten.



*Figuur 2. Data over de hoeveelheden grind, zand en slib die de rivieren transporteren zijn direct en indirect essentieel voor beleid en beheer. Indirect omdat die data de verschillende onderzoeken faciliteren waarmee kennis wordt verkregen voor de advisering van beleid en beheer. Direct omdat deze data nodig zijn voor de periodieke monitoring en evaluatie van beleid en beheer.*

## 2.9.2. Onderzoeksdoelstellingen

### Uitvoering: Wageningen Universiteit

**Focus onderzoek: Een zo goed mogelijke kwantificering van het sedimenttransport door zowel verschillende meettechnieken als slimme methoden voor dataverwerking te combineren.**

Data staan aan de basis van alle hiervoor genoemde onderzoeken. Die data moeten voldoende nauwkeurig en betrouwbaar zijn, en de variabiliteit van de betreffende parameters in ruimte en tijd goed beschrijven. Verschillende parameters, zoals zand en slib, hebben verschillende eigenschappen en vragen om verschillende meettechnieken. De kracht van een goede dataset schuilt in de optimale combinatie van verschillende meettechnieken die ieder voor zich een bepaalde parameter het best kunnen detecteren, en die als combinatie de totale sedimentbeweging van laaglandrivieren goed in beeld kunnen brengen.

Maar het gaat niet alleen om meettechnieken, het gaat ook om een slimme interpretatie van ingewonnen data. Zo kan met geluidsgolven zowel de zandconcentratie in het water als de stroomsnelheid van dat water worden berekend, door dezelfde signalen verschillend te interpreteren. Ook kunnen metingen aan beddingvormen worden vertaald in waarden voor de bodemruwheid en in een maat voor het zandtransport over de bodem, omdat die beddingvormen zich verplaatsen en dus een deel van het sedimenttransport invullen.

Binnen dit onderzoeksthema wordt gewerkt aan het beter kwantificeren van het sedimenttransport in laaglandrivieren door zowel de optimale combinatie van meettechnieken als slimme methoden voor dataverwerking te combineren. Dit zal de volgende resultaten opleveren:

- ⇒ Een techniek voor het goed monitoren van zwevend sediment gebaseerd op geluidsgolven (ADCP).
- ⇒ Een methode om op basis van metingen van de bodemligging (met geluidsgolven) het zandtransport over de bodem te berekenen, door gebruik te maken van het feit dat die gemeten bovenste bodemlaag in beweging is.
- ⇒ Een methode om het zandtransport over de rivierbodem te berekenen uit de verplaatsing van bodemvormen (gemeten met multibeam echoloding).
- ⇒ Een procedure om op basis van bovenstaande drie technieken en methodes, en dus op basis van de instrumenten ADCP en multibeam, het totale sedimenttransport door de rivier te kunnen berekenen.

## 2.10. Het onderlinge verband van de onderzoekslijnen

Het onderlinge verband van de negen onderzoekslijnen, en de relatie met de belangrijkste ontwikkelingen in de riviersystemen is samengevat in infographic 2. De infographic belicht drie aspecten van het onderzoeksprogramma. De rechterzijde toont enkele belangrijke ontwikkelingen in de rivieren die tot morfologische ontwikkelingen leiden of hebben geleid waar het onderzoek van Rivers2Morrow zich op richt. Dit deel van de infographic toont ook de stroom van zand en grind van de Bodensee tot Rotterdam, en de bijdrage van slib aan de sedimentfluxen. Linksonder staan de belangrijkste drijvende krachten in de afgelopen 200 jaar, te beginnen met de grootschalige normalisaties en bochtafsnijdingen door Tulla in Duitsland die ook in Nederland effect hadden doordat afvoergolven sneller door de rivier naar Nederland gingen lopen (waardoor ook in Nederland maatregelen moesten worden genomen). Rechtsboven zijn alle onderzoeken in een diagram geplaatst om te illustreren dat ze samen de morfodynamica en de verschillende typen sediment van de Nederlandse rivieren bestrijken.

INFOGRAPHIC 2. Het systeem: de interactie tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie.

## 3. Flankerend onderzoek

Naast het universitaire onderzoek faciliteert *Rivers2Morrow* ook zogenaamd flankerend onderzoek. Dit is enerzijds bedoeld om resultaten uit de onderzoeksthema's van hoofdstuk 2 'gebruiksklaar' te maken, zodat de kennis van de universiteiten naar Rijkswaterstaat en de ingenieursbureaus stroomt. Anderzijds is het bedoeld om ruimte te geven aan spin-off activiteiten van de diverse onderzoeken. In de praktijk zullen de onderzoekers tegen zaken aanlopen, die wellicht onvoldoende bijdragen aan het wetenschappelijke werk, voor de toepassing wel belangrijk kunnen zijn, maar dan nog een verdere uitwerking nodig hebben. Dit kan bijvoorbeeld het uitwerken van een (variant op een) gepubliceerd modelconcept zijn, zodat het ook kan worden toegepast voor beheer en beleid, of extra metingen zodat een hypothese vanuit het werk van de onderzoekers beter onderbouwd kan worden.

### Numeriek Rivierenlab

Rijkswaterstaat, Deltares, HKV en RoyalHaskoningDHV werken samen aan een nieuw initiatief: het Numeriek Rivierenlab. Dit lab is een digitaal platform dat een open source experimenteeromgeving ter beschikking stelt om hydraulisch en morfologisch te modelleren. Het is gebaseerd op de DFLOW-FM model suite van Deltares en Rijkswaterstaat, en bestaat uit een-, twee- en driedimensionale hydraulische en morfologische modellen, gebaseerd op een flexibel rooster. Het idee is dat in deze omgeving, de software en de schematisaties beschikbaar worden gesteld, en dat de Rivers2Morrow onderzoekers (maar in principe ook de rest van de wereld) de modellen voor hun eigen toepassingen kunnen gebruiken. De resultaten dienen dan weer op het platform gedeeld te worden. Op deze manier kan er een gemeenschap ontstaan die actief werkt aan een continue verbetering en uitbreiding van de modellen. Het stimuleren en faciliteren van die gemeenschap via een actieve website en forum behoort ook tot het FO. Een voorbeeld van de toepassing van dit lab is een samenwerking van diverse partijen met het WNF waarbij is gekeken of uiterwaardverlaging kan bijdragen aan het reduceren van de erosie van het zomerbed<sup>ix</sup>.

## Korrelgroottesamenstelling zomerbed

Een andere belangrijke activiteit in het kader van FO is de meetcampagne waarbij de samenstelling van het zomerbed van de rijntakken en de Maas wordt bepaald. Dit gebeurt door per rivierkilometer 4 monsters van de rivierbedding te nemen (om de 500 meter) en deze te zeven om de korrelgrootteverdeling te bepalen. Op deze manier ontstaat er een ruimtelijk beeld van de bovenste laag van het rivierbed, en door deze gegevens te vergelijken met de data van eerdere meetcampagnes (1976, 1984 en 1995) kunnen trends bepaald worden. Dit draagt bij aan de systeemkennis van het rivierensysteem en kan ook weer bijdragen aan de verbetering van de modellen.

## Kleinere onderzoeken

Daarnaast is er een aantal kleinere onderzoeken uitgevoerd die gerelateerd zijn aan de huidige promotieonderzoeken of anderszins opgedane kennis valoriseren:

- Een onderzoek van Deltares naar het gebruik van ADCP metingen om de sedimentconcentratie in de waterkolom te meten. Dit raakt aan het Rivers2Morrow onderzoek dat wordt uitgevoerd aan Wageningen University en Research. Ten behoeve daarvan is een gestandaardiseerd Matlab programma en bijbehorende documentatie ontwikkeld voor twee methoden die uit de ADCP backscatter-gegevens de sedimentconcentratie bepalen; deze methodes zijn toegepast op 2 case studies en nu voor iedereen beschikbaar.
- De ontwikkeling van een afwegingskader voor de ontwikkeling en het beheer van ooibossen, uitgevoerd door het kennisnetwerk Onderzoek en Ontwikkeling Natuur (OBN). In dit kader is ook gekeken naar de kwaliteit van de huidige ooibossen en is een beheer en ontwikkelstrategie opgesteld. In het kader van FO is een bijdrage aan deze OBN-activiteit gegeven. Het onderzoek heeft onder andere geleid tot een website waarin per uiterwaard de geschiktheid voor ooibosontwikkeling is aangegeven ([geodesk.maps.arcgis.com](http://geodesk.maps.arcgis.com)).
- De verbetering van morfologische modellen. Uit de theorie is bekend dat morfologische modellen soms 'slecht gesteld' zijn, in wiskundige zin. Dat betekent dat de oplossingen die uit het model komen fysisch gezien geen enkele betekenis hebben. Dit ligt niet aan het specifieke model maar aan de onderliggende vergelijkingen. Voor berekeningen die bijvoorbeeld voor Rijkswaterstaat gemaakt worden is het uiteraard wel belangrijk dat de uitkomsten van een model ook zinvol zijn. Binnen het RiverCare project is de wetenschappelijke basis gelegd om modellen die slecht gesteld zijn, weer goed gesteld te krijgen. Binnen het FO van Rivers2Morrow is die methode vervolgens geïmplementeerd in Delft3D, het morfologische model dat veel door Rijkswaterstaat gebruikt wordt.

De komende jaren zal er meer flankerend onderzoek worden verricht, met steeds dezelfde doelstelling: bijdragen aan de valorisatie van de opgedane kennis, verrichten van aanvullende monitoringcampagnes en spin off van bestaand onderzoek verder ontwikkelen en geschikt maken voor de beheer- en beleidsdoelstellingen van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

## 4. Adviezen voor beleid en beheer

In infographic 1 zijn het onderzoek en het beleid aan elkaar gespiegeld. In infographic 2 is geïllustreerd hoe de negen onderzoeksthema's zich tot elkaar verhouden en samen een integraal

onderzoeksprogramma vormen, gericht op de belangrijkste morfologische ontwikkelingen in Rijn en Maas. Op basis van deze informatie wordt in infographic 3 aangegeven voor welke onderdelen van beleid en beheer de onderzoeken kennis zullen opleveren en tot welke adviezen dit kan leiden. Ook is aangegeven op welke onderdelen van beleid en beheer het programma Rivers2Morrow zich niet richt.

Zoals in hoofdstuk 1 is gesteld: Het beleid ten aanzien van de rivieren is erop gericht de rivieren zo in te richten en te beheren dat zo veel mogelijk aan de eisen en wensen van de verschillende functies van de rivier wordt voldaan. Die functies zijn samengevat in onderstaande tabel 1.<sup>3</sup> Aan die functies is ook beleid gekoppeld: de woorden 'functie' en 'beleidsthema' kunnen in deze tabel naast elkaar worden gebruikt.

Met het oog op de invulling van het programma Rivers2Morrow is het relevant om te kijken of de functies in onderstaande tabel die in het voorgaande niet expliciet aan bod zijn gekomen, wel een relatie hebben met de onderzoeksdoelstellingen van Rivers2Morrow. Dat is het geval voor delfstofwinning en landbouw (en in beperkte mate, via natuurkwaliteit, voor wonen buitendijks en recreatie). Voor delfstofwinning is deze relatie tweeledig: als het zand steeds meer in de rivier moet blijven (voor tegengaan erosie), is er minder zand voor de bouw; de sedimentatie van slib in, bijvoorbeeld, nevengeulen wordt nu als negatief gezien maar zou ook kansen kunnen bieden als grondstof (rijpen tot klei). Voor de landbouw is de relatie vergelijkbaar als voor natuur: met de daling van de laagwaterstanden in de rivier daalt de grondwaterstand en neemt het risico van verdroging toe.

Voor de vier beleidsthema's waar de focus van Rivers2Morrow met name op gericht is (figuur 1) is die focus in tabel 2 toegelicht. Tot slot zijn voor deze hoofdthema's in tabel 3 beleidsvragen geformuleerd die met het onderzoek van Rivers2Morrow naar verwachting kunnen worden beantwoord.

De informatie uit de tabellen 1 t/m 3 is samengevat in infographic 3. De beleidsvragen in tabel 3 zijn daarvoor compacter geformuleerd.

*Tabel 1. Functies/beleidsthema's i.r.t. de rivieren waar Rivers2Morrow zich wel/niet op richt.*

<b>Functie/beleidsthema</b>	<b>Richt Rivers2Morrow zich hierop?</b>	<b>Is er een relatie met doelstellingen onderzoek Rivers2Morrow?</b>
Waterveiligheid	Ja	Ja: hoofdthema, zie figuur 1
Bevaarbaarheid	Ja	Ja: hoofdthema, zie figuur 1
Waterbeschikbaarheid	Ja	Ja: hoofdthema, zie figuur 1
Natuur en waterkwaliteit	Ja	Ja: hoofdthema, zie figuur 1
Delfstofwinning	Nee	Ja, via slim sedimentmanagement (zand) en kansen voor slib (invangen in uiterwaarden voor grondstof)
Landbouw uiterwaarden	Nee	Ja, via droogte, net als natuur
Wonen buitendijks	Nee	Nee (beperkt via natuurkwaliteiten)

<sup>3</sup> Dit overzicht is opgesteld in het kader van het schrijven van de verhalen van de rivieren, aan de hand van gesprekken met een groot aantal deskundigen.



Recreatie (= ook beleven)	Nee	Nee (beperkt via natuurkwaliteiten; er is ook een relatie met aspecten landschappelijk karakter, stedelijke omgeving (architectuur), cultuurhistorie en identiteit (DNA))
Industriële activiteiten uiterwaarden	Nee	Nee
Energieopwekking	Nee	Nee
Visserij	Nee	Nee

Tabel 2. De focus van Rivers2Morrow ten aanzien van de hoofdthema's van figuur 1.

Beleidsthema	Focus rivers2Morrow
Waterveiligheid	Stabiliteit afvoerverdeling
Bevaarbaarheid	Handhaving gegarandeerde nautische diepte, en dus het voldoen aan internationale verdragen
Waterbeschikbaarheid	Stabiliteit afvoerverdeling; beleidsvragen binnen het Deltaprogramma zoals doorrekenen scenario vaker stuwen Driel om meer water via de IJssel naar het IJsselmeer te krijgen
Natuur en waterkwaliteit	
Morfologie en sedimentmanagement	De invulling van slim sedimentbeheer (zand/slib), inclusief inzicht in de waarde van sediment voor het systeem

Tabel 3. De beleidsvragen die naar verwachting met het onderzoek van Rivers2Morrow kunnen worden beantwoord.

Onderzoeksthema	Te beantwoorden beleidsvragen
Aanvoer en herkomst van fijn sediment uit het stroomgebied van de Rijn	Hoe veranderen de hoeveelheden en kwaliteit van het slib dat in de benedenlopen van Rijn en Maas, en in nevengeulen langs de bovenlopen, moet worden gebaggerd?
Systeemkennis Maas	Welke maatregelen zijn nodig om de verstoorde sedimenthuishouding van de Maas te herstellen en zo een duurzaam en veilig gebruik van de Maas te garanderen?
De water- en sedimentbeweging bij splitsingspunten	Welke aanpassing van het rivierbeheer is nodig om te zorgen dat het beheer goed blijft passen bij een mogelijk veranderende water- en sedimentverdeling?
De dynamiek van de bodemligging van de Rijntakken	Wat is de gewenste ligging van de rivierbodem (de Basis Rivierbodem Ligging), in het licht van de verschillende rivierfuncties: Een hogere bodem van vroeger, de huidige bodem, een nog wat doorgezakte bodem in de toekomst? En hoe kan die worden bereikt?
De dynamiek van de bodemligging van de benedenlopen van Rijn en Maas	Wat zijn de beste maatregelen en strategieën om voor het hele gebied een stabiele bodemligging te waarborgen en lokale erosie tegen te gaan (voor stabiliteit van oevers, constructies, en kabels en leidingen)?
De balans van zand en slib in de benedenlopen van Rijn en Maas	Hoe kan met sedimentbeheer in de benedenlopen van Rijn en Maas de bevaarbaarheid, ecologie, bodemstabiliteit en waterveiligheid op lange termijn worden gewaarborgd?
Dynamiek van beddingvormen en impact	Hoe groot kan het effect zijn van veranderingen in bodemruwheid bij extreem hoge afvoeren op de waterstanden, waar met het

op waterveiligheid en bevaarbaarheid	ontwerp van waterkeringen (dijken) rekening mee moet worden gehouden? Kan een rivierbeheerder al tijdens een afvoergolf inschatten hoe sterk ondieptes in de rivier (mede door ontstaan rivierduinen) toenemen, en zich hier op voorbereiden zodat ondieptes voor de scheepvaart na het weer zakken van het water snel kunnen worden verwijderd?
De modellering van het lange-termijn gedrag van laaglandrivieren	Hoe kan de bodemligging van het zomerbed zich op een tijdschaal van tientallen jaren ontwikkelen bij verschillende ingrepen en scenario's van klimaatverandering? Binnen welke bandbreedte zullen de morfologische veranderingen zich bevinden?
Verbetering kwantificering sedimenttransport laaglandrivieren	N.v.t.

INFOGRAPHIC 3. Beleidsvragen die Rivers2Morrow wil helpen beantwoorden.

## In de komende jaren in te vullen inhoudsopgave

Dit hoofdstuk, Adviezen voor beleid en beheer, zal de komende jaren worden ingevuld als de resultaten uit de onderzoeken van Rivers2Morrow beschikbaar komen. De inhoudsopgave zal worden uitgebreid met een aantal paragrafen onder dit hoofdstuk. Op dit moment (2020) is de inschatting dat de volgende paragrafen kunnen worden ingevuld:

- 4.1. **Slibgehalte Rijnwater: Trends en verwachting gevolgen waterkwaliteit en baggeropgave**
- 4.2. **Systeemkennis Maas: Inzicht verstoring sedimentdynamiek en mogelijkheden herstel**
- 4.3. **Water- en sedimentverdeling splitsingspunten: Inzicht trends en gevolgen voor rivierbeheer**
- 4.4. **Bodemligging Rijntakken: Inzicht trends en mogelijkheden stabilisatie bodemligging zomerbed**
- 4.5. **Bodemligging benedenlopen Rijn en Maas: Inzicht dynamiek en mogelijkheden stabilisatie bodemligging**
- 4.6. **Zand en slib benedenlopen Rijn en Maas: Inzicht sedimentbalans en toepassing sedimentbeheer voor waarborgen rivierfuncties**
- 4.7. **Beddingvormen: Inzicht dynamiek bij verschillende afvoeren en gevolgen waterveiligheid en scheepvaart**
- 4.8. **Modellering: Integratie ontwikkelde kennis**
- 4.9. **Kwantificering sedimenttransport: Meer inzicht door betere technieken en slimmere dataverwerking**

## Referenties

---

- <sup>i</sup> Deltaprogramma (2017)
- <sup>ii</sup> Rivierkundig Beoordelingskader versie 5.0, 4 juni 2019.
- <sup>iii</sup> Frings, R.M. en W.B.M. ten Brinke (2017). Ten reasons to set up sediment budgets for river management. *International Journal of River Basin Management* 16(1): 35-40.
- <sup>iv</sup> Asselman, N., Barneveld, H, Klijn, F. en A. Van Winden (2018). Het verhaal van de Maas.
- <sup>v</sup> Ten Brinke, W. (2013). Fact finding afvoerverdeling Rijntakken. Rapport Blueland Consultancy B13.01.
- <sup>vi</sup> Kleinhans, M.G., Klijn, F., Cohen, K.M. en H. Middelkoop (2013). Wat wil de Rivier zelf eigenlijk? Rapport Universiteit Utrecht en Deltares.
- <sup>vii</sup> Ten Brinke, W. (2019). Effecten morfologische ontwikkelingen op functies Rijn en Maas. Rapport Blueland Consultancy B19.01.
- <sup>viii</sup> Hillebrand, G. en R.M. Frings (2017). Von der Quelle zur Mündung: Die Sedimentbilanz des Rheins im Zeitraum 1991-2010. Rapport CHR/KHR II-22.
- <sup>ix</sup> WWF, ARK, Natuurmonumenten, Vogelbescherming, Landschappen.nl en de Natuur- en Milieufederaties (2019). Ruimte voor Levende Rivieren.