

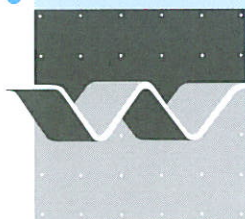
Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIZA

Morfologie en herinrichting

Rapport

augustus 2001



Q2748

wL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

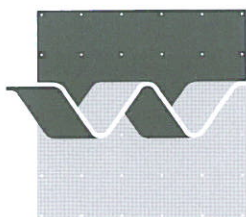
Rijkswaterstaat RIZA

Morfologie en herinrichting

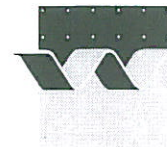
Erik Mosselman, Hermjan Barneveld en Huib de Vriend

Rapport

augustus 2001



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA Postbus 9072, 6800 ED Arnhem					
TITEL:	Morfologie en herinrichting					
SAMENVATTING:	<p>Langs verschillende wegen wordt onderzocht welke <i>morfologische kennis en instrumentarium</i> nodig zijn om <i>herinrichtingsplannen van uiterwaarden</i> langs de Nederlandse Rijntakken te ontwerpen en te toetsen. De nadruk ligt op bovenrivieren.</p> <p>De resultaten worden vertaald in een eerste opzet voor een <i>methodiek voor effectbepaling</i> en een <i>programming voor verder onderzoek</i>.</p> <p>Geconcludeerd wordt dat de belangrijkste leemten in kennis en instrumentarium gelieerd zijn aan de volgende onderwerpen:</p> <p>(1) <i>Effect van herinrichting op de morfologie van het zomerbed na een hoogwater</i>. Aspecten daarvan zijn de uitwisseling van water en sediment tussen zomer- en winterbed, het transport van sediment over steile hellingen (drempels, kribben, kades), de interacties tussen vegetatie en sediment en de tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen (duinen). Hier is behoefte aan monitoring, procesonderzoek en 2-DH modellering.</p> <p>(2) <i>Grootschalige effectbepaling van herinrichting op grote schaal</i>. Aspecten daarvan zijn de veranderingen in het stroomgebied en in de wateren waarin de Rijntakken uitmonden, de interacties tussen zomer- en winterbed en de werking en het gedrag van riviersplitsingen. Op dit schaalniveau vormen 1-D modellen het geëigende instrumentarium, maar vergt nader onderzoek naar relevante onderliggende processen ook onderzoek op kleinere schaal met bijbehorend gereedschap.</p> <p>(3) <i>Kennismanagement</i>. Aspecten daarvan zijn de implementatie in de organisatie, het omgaan met onzekerheid, het voor andere categorieën gebruikers toegankelijk maken en houden van kennis en informatie en het overdragen van kennis van de ene naar de andere categorie gereedschappen.</p> <p>Tijdens de afsluitende workshop in Rossum is ervoor gepleit om niet zozeer morfologische effecten in algemene zin te voorspellen, maar vooral de relevante morfologische effecten op kritieke plaatsen in de rivier. Daarvoor zou men voor elke hoofdfunctie van de rivier eerst een <i>kaart van morfologische kansen en risico's</i> moeten opstellen. Technieken van inverse modellering kunnen daarbij van pas komen.</p>					
REFERENTIES:	Overeenkomst RIZA nummer RI-3153, augustus 2000					
VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING	
1.0	dr.ir. E. Mosselman	28 november 2000		prof.dr.ir. H.J. de Vriend	prof.ir. E. van Beek	
2.0	dr.ir. E. Mosselman	31 mei 2001		prof.dr.ir. H.J. de Vriend	prof.ir. E. van Beek	
2.1	dr.ir. E. Mosselman	27 augustus 2001		prof.dr.ir. H.J. de Vriend	mr.drs. P.C.G. Glas	
PROJECTNUMMER:		Q2748				
TREFWOORDEN:		Rijntakken, uiterwaarden, morfologie, herinrichting				
INHOUD:	TEKST	TABELLEN	FIGUREN	APPENDICES		
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF	

Inhoud

1 Inleiding	1-1
1.1 Aanleiding	1-1
1.2 Doelstelling	1-2
1.3 Organisatie	1-2
1.4 Aanpak	1-3
1.5 Voornaamste conclusies en aanbevelingen	1-4
2 Interviews met deskundigen.....	2-1
2.1 Inleiding	2-1
2.2 Implementatie in de organisatie	2-1
2.2.1 Inleiding	2-1
2.2.2 Vertaling van beleid in concrete richtlijnen	2-3
2.2.3 Samenhang tussen herinrichtingsplannen	2-3
2.2.4 Lerende organisatie	2-4
2.3 Omgaan met onzekerheid	2-5
2.4 Morfologische processen	2-5
3 Functies, processen en schalen	3-1
3.1 Inleiding	3-1
3.2 Functies	3-1
3.3 Inrichtingsvragen	3-2
3.4 Morfologische verschijnselen	3-7
3.5 Onderliggende processen en schalen	3-7
3.6 Conclusies	3-11
4 Methodiek voor effectbepaling	4-1

4.1 Inleiding	4-1
4.2 Algemene ontwerpproces	4-1
4.2.1 Opzet	4-1
4.2.2 Relatie met BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken	4-3
4.2.3 Schaalniveaus	4-4
4.3 Ontwerpmethodiek morfologische aspecten	4-5
4.4 Conclusies	4-9
5 Beschikbare kennis en instrumentarium	5-1
5.1 Productaanbod	5-1
5.1.1 Bestaand meetinstrumentarium	5-1
5.1.2 Huidig modelinstrumentarium	5-2
5.1.3 Huidige geschiktheid van meet- en modelinstrumentarium	5-6
5.2 Kennisaanbod	5-9
5.2.1 Algemeen	5-9
5.2.2 Waterbeweging	5-9
5.2.3 Sedimentbeweging	5-10
5.2.4 Morfologie op meso- en macroschaal	5-11
5.2.5 Grootschalige morfologie	5-12
5.2.6 Interacties met constructies	5-12
5.2.7 Kennis in Duitsland	5-13
6 Onderzoeksprogrammering	6-1
6.1 Behoeft productontwikkeling	6-1
6.2 Nieuw te ontwikkelen kennis	6-2
6.2.1 Kennisontwikkelingsbehoefte	6-2
6.2.2 Bijdrage aan rivierkundig kennispotentieel	6-2
6.3 Onderzoeksplanning	6-4
6.3.1 Ratio onderzoeksprogrammering	6-4
6.3.2 Ontwikkelingskaders en financieringsbronnen	6-6
6.3.3 Opstelling globaal onderzoeksplan	6-7
6.4 Kennismanagement	6-7
7 Literatuurverwijzingen	7-1

Bijlagen

A000 Vragen bij interviews	A-1
B000 Afleiding van relatie voor morfologische tijdschalen	B-1
C000 Terminologie rond modellen.....	C-1
D000 Discussie van stellingen tijdens workshop in Rossum.....	D-1

I Inleiding

I.1 Aanleiding

Rivierverruiming is een veelbelovende maatregel voor duurzame veiligheid tegen overstromingen, die tevens kansen biedt voor herstel en ontwikkeling van riviergebonden natuur. Dit is in het project Ruimte voor Rijntakken nader onderzocht. Herinrichting van uiterwaarden is een van de manieren om rivieren te verruimen. Hierbij wordt een deel van de uiterwaarden afgegraven, zodat over het jaar gezien meer water door het winterbed stroomt. Dit zet morfologische ontwikkelingen in gang die de veiligheid, de bevaarbaarheid en de natuur beïnvloeden. Op termijn kunnen die ontwikkelingen ook de aanvankelijke positieve effecten van de herinrichting teniet doen. De morfologische consequenties van herinrichting vormen derhalve een belangrijk aspect.

Het project Ruimte voor Rijntakken is afgesloten met een advies dat voornamelijk is gebaseerd op *beleidsanalytische studies* met behulp van eendimensionale modellen (het IVR-instrumentarium). De volgende stap betreft planvorming op uiterwaardniveau waarbij ruimtelijke (tweedimensionale) aspecten een rol spelen en in rekening gebracht moeten worden. Bij rivierkundige analyses in dit *ontwerpproces* zal derhalve mogelijk een ander instrumentarium ingezet moeten worden.

Tegen deze achtergrond heeft Rijkswaterstaat RIZA het project “Morfologie en herinrichting” geformuleerd (Sieben, 2000a). Een deel van dat project is uitbesteed aan WL | Delft Hydraulics (WL) met als onderaannemers HKV lijn in water (HKV) en Technische Universiteit Delft (TUD). De resultaten van die opdracht worden hier gerapporteerd. Ze behelzen de inventarisatie en ordening van kennisbehoeften en kennis aan de hand van interviews met deskundigen en een workshop.

De opdracht is uitgevoerd in de periode augustus 2000 - mei 2001. Ze is bij Rijkswaterstaat bekend onder nummer RI-3153 en bij WL | Delft Hydraulics onder nummer Q2748.

De werkzaamheden verliepen min of meer parallel aan een verkennende studie voor de herinrichting van de Heesseltsche Waarden (Sieben, 2001a) en het opstellen van praktische wenken voor natuurontwikkeling bij de herinrichting van uiterwaarden (H. Wolters et al, 2000). Hoewel deze activiteiten sterk onderling verwant waren, is binnen de opdracht niet gepoogd om ze te integreren.

1.2 Doelstelling

De opdracht richt zich op de beantwoording van de volgende vragen:

- Wat is er nodig op het gebied van morfologische kennis en instrumentarium om herinrichtingsplannen te ontwerpen en te toetsen ?
- Welke methodiek dient gevolgd te worden bij het ontwerpen en het toetsen van herinrichtingsplannen ?

Het gaat daarbij om de herinrichting van uiterwaarden langs de Nederlandse Rijntakken. De beperking tot herinrichtingsplannen houdt in dat andere behoeften aan morfologische kennis en instrumentarium hier niet aan de orde zijn. Bij die andere behoeften kan men bijvoorbeeld denken aan kennis en instrumentarium voor de optimalisatie van baggerstrategieën of de aanpassing van kribben.

1.3 Organisatie

WL was het penvoerend bureau in de samenwerking met HKV en TUD. De opdracht werd uitgevoerd door Erik Mosselman (WL), Kees Sloff (WL), Hermjan Barneveld (HKV) en Huib de Vriend (TUD). Erik Mosselman was de projectleider. Huib de Vriend verzorgde naast een eigen inhoudelijke bijdrage ook de review van de totale rapportage.

Vanuit RIZA waren Arjan Sieben en Ralph Schielen intensief bij de uitvoering van de opdracht betrokken. Arjan Sieben was de projectbegeleider.

De inbreng van een brede adviesgroep van deskundigen vormde een wezenlijk onderdeel van de opdracht. Tabel 1.1 geeft de samenstelling van deze groep. De deskundigen zijn in het najaar van 2000 geïnterviewd en namen in de zomer van 2001 deel aan een workshop waarin de resultaten werden bediscussieerd. Een enkeling kon door drukke werkzaamheden niet aan een interviewsessie of de workshop deelnemen en volstond met een schriftelijke bijdrage.

Hoewel ook deskundigen van de Zuid-Hollandse benedenrivieren geïnterviewd zijn, kan geconstateerd worden dat in de uitwerking de nadruk heeft gelegen op de bovenrivieren. Dit komt onder meer tot uitdrukking in de oordeelsvorming over kennisbehoeften ten aanzien van slib. Voor bovenrivieren wordt geconcludeerd dat een onderzoeksprogramma naar de opslibbing van uiterwaarden niet nodig is voor de beoordeling van herinrichtingsprojecten. Deskundigen van de benedenrivieren kennen juist wel een belangrijke rol toe aan de erosie en sedimentatie van slib.

Tabel 1.1: Samenstelling van geraadpleegde adviesgroep.

Naam	Organisatie
Rijn van Dixhoorn Hendrik Havinga Roelof Smedes Marco Taal Fred Tank	Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland - ANSR (Arnhem)
Kees Polman	Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland - ANBC (Arnhem)
Frank Kok Rob Lambermont	Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland - ANSP (Arnhem)
Jaap Goudriaan Anne Wijbenga	Rijkswaterstaat Directie Limburg (Maastricht)
Karin Luursema	Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland - APS (Rotterdam)
Piter Hiddema Patrick Pieters Henk Jagt	Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland - APV (Rotterdam)
Koos Kamsteeg	Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland - Dienstkring Maas en Merwede (Dordrecht)
Mark Franssen	Rijkswaterstaat Bouwdienst (Utrecht)
Luc Jans	Rijkswaterstaat RIZA - IHO (Lelystad)
Marjolein van Wijngaarden	Rijkswaterstaat RIZA - WST (Dordrecht)
Wilfried ten Brinke Klaas-Jan Douben Margriet Schoor Max Schropp Wim Silva Emiel van Velzen	Rijkswaterstaat RIZA - WSR (Arnhem)
Nathalie Asselman Gerrit Klaassen	WL Delft Hydraulics - Zoetwatersystemen (Delft) WL Delft Hydraulics - Zoetwatersystemen (Delft)

1.4 Aanpak

Er zijn drie verschillende wegen gevolgd om de behoeften aan morfologische kennis en instrumentarium te inventariseren en te ordenen:

1. Interviews met deskundigen (Hoofdstuk 2);
2. Beschouwing van functies, morfologische verschijnselen, onderliggende processen en bijbehorende schalen (Hoofdstuk 3);
3. Ontwerp van een methodiek voor morfologische effectbepaling (Hoofdstuk 4).

Daarbij is met vrucht gebruik gemaakt van soortgelijke inventarisaties in een studie naar de werking en de invloed van kribben (Douben & Sieben, 2000) en een definitiestudie voor onderzoek naar de morfologische dynamiek van de Westerschelde (Stive et al, 1998).

De resultaten uit de drie wegen overlappen elkaar gedeeltelijk en vullen elkaar aan. Tegenover de aldus geïdentificeerde behoeften staan de reeds beschikbare kennis en instrumentarium. Die worden in Hoofdstuk 5 geïnventariseerd.

Uit de confrontatie tussen wat nodig is en wat beschikbaar is volgen de huidige leemten in kennis en instrumentarium. Op basis hiervan wordt in Hoofdstuk 6 een globaal onderzoeksprogramma voor rivierdynamica opgesteld.

Op 3 juli 2001 zijn de resultaten in een workshop te Rossum met de adviesgroep bediscussieerd. Bijlage D bevat de reacties van de adviesgroep op stellingen die tijdens de workshops werden voorgelegd. Daarnaast leidde de workshop ook tot een verdere verdieping van de voornaamste conclusies en aanbevelingen (Paragraaf 1.5).

1.5 Voornaamste conclusies en aanbevelingen

Dit rapport legt diverse leemten bloot in de kennis en het instrumentarium voor morfologische effectbepaling bij de herinrichting van uiterwaarden. Er is echter geen objectieve methode aan te geven die uit deze leemten eenduidig een prioritering afleidt voor verdere ontwikkeling. Toch heeft zich gaandeweg bij de uitvoerders van de opdracht een beeld gevormd van wat nu de meest belangrijke leemten zijn. Die leemten betreffen drie onderwerpen:

1. **Effect van herinrichting op de morfologie van het zomerbed na een hoogwater** (meso- en macroschaal in Tabellen 3.8 en 6.1). Aspecten daarvan zijn de uitwisseling van water en sediment tussen zomer- en winterbed, het transport van sediment over steile hellingen (drempels, kribben, kades), de interacties tussen vegetatie en sediment en de tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen (duinen). Hier is behoefte aan monitoring, procesonderzoek en 2-DH modellering (met Delft2D-Rivieren, een subsysteem van Delft3D).
2. **Grootschalige effectbepaling van herinrichting op grote schaal** (megaschaal in Tabel 3.8). Aspecten daarvan zijn de veranderingen in het stroomgebied en de wateren waarin de Rijntakken uitmonden (behoefte aan data), de interacties tussen zomer- en winterbed en de werking en het gedrag van riviersplitsingen (Subparagraaf 5.2.5). Op dit schaalniveau vormen 1-D modellen (SOBEK) het geëigende instrumentarium, maar vergt de nadere studie van relevante onderliggende processen (interacties zomerbed-winterbed, splitsingen) ook onderzoek op kleinere schaal met bijbehorend gereedschap.
3. **Kennismanagement**. Aspecten daarvan zijn de implementatie in de organisatie (vertaling van beleid in concrete richtlijnen, afstemming tussen verschillende herinrichtingsprojecten, leren van ervaringen: zie Paragraaf 2.2), het omgaan met onzekerheid (Paragraaf 2.3), het voor andere categorieën gebruikers toegankelijk maken en houden van kennis en informatie (Paragraaf 6.4) en het overdragen van kennis van de ene naar de andere categorie gereedschappen (Paragraaf 6.4).

Tijdens de workshop in Rossum is expliciet gediscussieerd over de vraag of de resultaten van kennisontwikkeling niet te laat beschikbaar komen voor de in de komende 10 à 15 jaar uit te voeren herinrichtingsprojecten, in samenhang met de vraag of herinrichting nu niet al verantwoord kan worden ontworpen. Algemeen onderschreef men dat het nooit te laat is voor kennisontwikkeling en dat de problematiek van het inrichten van uiterwaarden ook in de verdere toekomst van belang zal zijn. Het idee dat Nederland na de uitvoering van bepaalde omvangrijke projecten af zou zijn is in het verleden al vaker gelogenstraft. Men vond echter ook dat men op dit moment herinrichting reeds verantwoord kan ontwerpen. De

kennisleemten geven geen aanleiding om de uitvoering van herinrichting uit te stellen. Wel bergen ze het risico in zich dat de kosten hoger uitvallen of dat de mogelijkheden niet optimaal worden benut.

Tijdens de workshop is er tevens voor gepleit om niet zozeer morfologische effecten in algemene zin te voorspellen, maar vooral de relevante morfologische effecten op kritieke plaatsen in de rivier. Daarvoor zou men voor elke hoofdfunctie van de rivier eerst een kaart van morfologische kansen en risico's moeten opstellen. Deze geeft een overzicht van de mate waarin morfologische veranderingen ergens leiden tot potentieel functieverlies of juist versterking van de hoofdfunctie. Bij de vervaardiging van deze kaarten kunnen technieken van inverse modellering van pas komen.

2 Interviews met deskundigen

2.1 Inleiding

De leden van de adviesgroep zijn in het najaar van 2000 geïnterviewd. Ter voorbereiding ontvingen zij:

- een lijst met vragen en stellingen (Bijlage A);
- een eerste aanzet tot de rapportage;
- visies op rivierkunde in de 21ste eeuw namens RIZA, WL, Alterra en rivierbeheerders.

De vragen en stellingen in Bijlage A waren vooral bedoeld als katalysator. De verschillende antwoorden en reacties worden hier niet in detail gerapporteerd. De visies op rivierkunde namens RIZA, WL en Alterra zijn inmiddels ook in een NCR-publicatie verschenen (Wolters & Martejn, 2000).

In de oorspronkelijke opzet van deze opdracht werden vooral vragen en kennisleemten verondersteld op het gebied van de morfologische processen zelf. De interviews maakten echter duidelijk dat er ook belangrijke vragen zijn over de wijze waarop men de kennis van morfologische processen bij het ontwerp en de toetsing van herinrichting van uiterwaarden toepast. Deze vragen betreffen de implementatie in de organisatie en het omgaan met onzekerheid. De volgende twee paragrafen gaan hier nader op in. Vervolgens komen de oorspronkelijk bedoelde vragen ten aanzien van de morfologische processen zelf aan de orde.

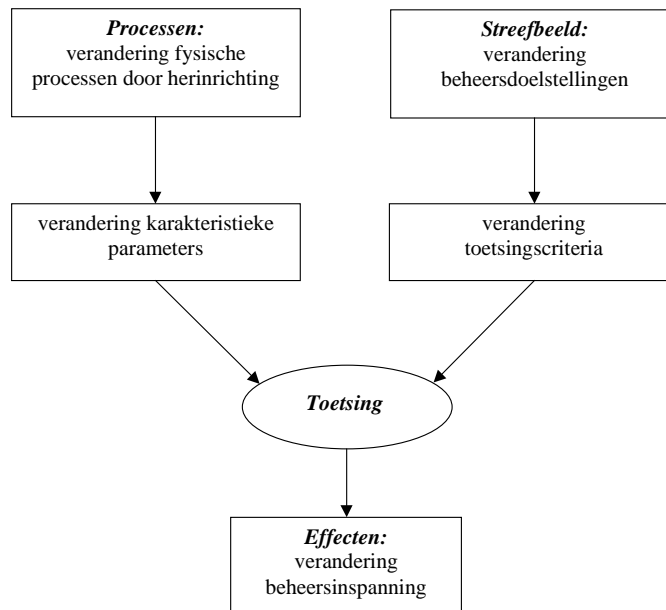
2.2 Implementatie in de organisatie

2.2.1 Inleiding

De in deze opdracht beschouwde morfologische kennis en instrumentarium dient het ontwerp en de toetsing van herinrichtingsplannen op uiterwaardniveau. Tabel 2.1 laat zien dat dit binnen Rijkswaterstaat op het terrein ligt van zowel de regionale directies als de dienstkringen. Een deel van het werk wordt daarbij in de praktijk uitbesteed aan ontwerp-bureaus zonder beheerstaak. Figuur 2.1, ontleend aan Sieben (2001a), laat zien hoe herinrichting en gewijzigde beheersdoelstellingen het rivierbeheer beïnvloeden.

Tabel 2.1: Organisatie rond beleid, inrichting en beheer van uiterwaarden.

Instantie	Taken	Product	Wijze van toetsing
Rijksoverheid	beleid	<ul style="list-style-type: none"> • Beheersplan Rijkswateren 	-
Regionale directies RWS (Oost Nederland, Limburg, Zuid-Holland)	beleid ontwerp beheer	<ul style="list-style-type: none"> • streefbeelden • functionele eisen (b.v. vaarwegklasse VA) • technische eisen (b.v. vaarprofiel van 170 m × 2,80 m bij OLR) • voorschriften 	Aan de hand van berekeningen: <ul style="list-style-type: none"> • RvR-instrumentarium • grootschalige effectbepaling
Dienstringen RWS	ontwerp beheer	<ul style="list-style-type: none"> • toetsing op technische eisen • vergunningen 	Aan de hand van monitoring: <ul style="list-style-type: none"> • technische eisen
Ontwerpbureaus	ontwerp	<ul style="list-style-type: none"> • ontwerp 	



Figuur 2.1 Bepaling van effecten van herinrichting op rivierbeheer (naar Sieben, 2001a).

Bij de implementatie van een methodiek van morfologische effectbepaling dienen zich binnen de organisatie twee problemen aan. Het eerste probleem betreft de vertaling van beleid in concrete richtlijnen voor ontwerp en beheer. Het tweede probleem betreft de beoordeling van herinrichtingsplannen in samenhang met de omgeving, als onderdeel van een groter geheel. Deze problemen worden hieronder nader besproken. Tenslotte volgen ook nog enkele opmerkingen over het leerproces van de organisatie op basis van de ervaring die met de herinrichting van uiterwaarden wordt opgedaan.

2.2.2 Vertaling van beleid in concrete richtlijnen

Rivierverruiming door middel van herinrichting van uiterwaarden kan men niet los zien van de huidige beleidswens om rivieren minder strak te beteugelen. Bij het ontwerp zal men rekening moeten houden met een beheer waarin men concreet inhoud geeft aan de gewenste grotere vrijheid. Dit komt neer op een richtlijn om zo min mogelijk in te grijpen, opdat de natuur zoveel mogelijk haar gang kan gaan. Deze richtlijn is echter voor dienstkringen om de volgende redenen niet eenvoudig toe te passen:

- Een dienstkring beschikt niet over geavanceerde computermodellen om op basis van monitoringresultaten een door begroeiing of sedimentatie gewijzigde situatie te beoordelen. Beslissingen worden aan de veilige kant genomen, hetgeen leidt tot vaker of zwaarder ingrijpen.
- Bepaalde ongewenste ontwikkelingen zijn wellicht ook te beïnvloeden door actief gebruik te maken van levende natuur (aanplant op kribben, “sturen met groen”). Hiervoor is thans echter niet voldoende kennis voorhanden.
- De eenmalige aanlegkosten van een forse ingreep worden financieel positiever gewaardeerd dan de continue onderhoudskosten van regelmatig met zachte hand bijsturen.
- Dienstkringen zien zich in de confrontatie met het publiek gedwongen om het “goede voorbeeld” te geven. Het is moeilijk om van een boer te eisen dat hij op zijn terrein in de uiterwaarden vegetatie kapt, wanneer de dienstkring zelf in de buurt vegetatie laat staan.

Deze problemen verdienen aandacht bij de methodiek voor morfologische effectbepaling. Wellicht vergen ze ook het ontwikkelen van bepaalde morfologische kennis en instrumentarium.

Vermeldenswaardig is in dit verband de thans lopende voorbeeldstudie voor de Heesseltsche Waarden, waarin RIZA poogt om beleid te vertalen in concrete beheerseisen aan de hand van representatieve parameters voor streefbeelden en fysische processen (Figuur 2.1).

2.2.3 Samenhang tussen herinrichtingsplannen

Momenteel staan langs de Nederlandse Rijntakken circa vijftig herinrichtingsprojecten op stapel, elk met een eigen projectleider. De projectleider heeft binnen gegeven randvoorwaarden nog enige vrijheid om zijn of haar plan te optimaliseren. Dat zijn onvermijdelijk slechts deelloptimalisaties. Uitbesteding aan externe ontwerp bureaus zonder beheerstaak werkt nog verder in de hand dat men de samenhang met andere herinrichtingsprojecten uit het oog verliest.

Door meerdere herinrichtingsplannen in samenhang te bezien, kan men de inrichting op rivierniveau of zelfs stroomgebiedniveau optimaliseren. Bovendien is de grootschalige effectbepaling voor een serie herinrichtingsprojecten anders dan voor een enkel herinrichtingsproject. Zo kan men bijvoorbeeld de aanzandingen in het zomerbed ten gevolge van een enkele korte nevengeul goed schatten zonder rekening te houden met de veranderingen in het rivierverhang. Die veranderingen in het rivierverhang hebben echter niet te verwaarlozen grootschalige effecten wanneer men op meerdere plaatsen langs de rivier nevengeulen aanlegt.

Tijdens de interviews werd als oplossing voorgesteld om vanuit de regionale directie een stuurgroep in te stellen. Deze stuurgroep beoordeelt de afzonderlijke herinrichtingsplannen en stemt die waar nodig op elkaar af. Zij is dan ook verantwoordelijk voor de grootschalige effectbepaling.

Verder werd tijdens de interviews geadviseerd om de verschillende herinrichtingsprojecten gefaseerd uit te voeren. Monitoring, modellering en evaluatie van de eerste projecten leiden dan tot een verbetering van morfologische kennis en instrumentarium die latere projecten ten goede kan komen.

2.2.4 Lerende organisatie

Monitoring, modellering en evaluatie van herinrichtingsprojecten worden deels gemotiveerd vanuit een leerproces. De gedachte is dat morfologische consequenties van herinrichtingsprojecten zo gaandeweg steeds beter te voorspellen zijn. Een van de geïnterviewden heeft zich echter zeer kritisch over deze gedachte uitgelaten. Zijn ervaring is dat personeel verloop voorkomt dat duurzame kennis wordt opgebouwd. Daardoor vindt de organisatie herhaaldelijk opnieuw het wiel uit. Modelontwikkeling heeft daarbij zelfs een negatieve invloed, omdat nieuwe medewerkers door de beschikbaarheid van wiskundige modellen eerder blindvaren op de uitkomsten van die modellen, zonder te vertrouwen op eigen “boerenverstand”. Deze kritiek wordt niet door iedereen gedeeld, maar toont mogelijk wel reële zwakke plekken in de implementatie van kennis en instrumentarium binnen de organisatie. Hier liggen vragen en kennisleemten op het gebied van adequaat kennismanagement.

Overigens vonden meerdere geïnterviewden dat op dit moment de rol van modellen bij het ontwerp te dominant is. Men stelt ongegrond veel vertrouwen in modelresultaten. Omdat dezelfde geïnterviewden het nut van modellen op zich verder niet betwistten, lijkt dit vooral een kritiek op de wijze waarop men nu in de organisatie met de modellen omgaat. Bij de interpretatie van modelresultaten dient men aan de hand van een deskundigenoordeel rekening te houden met de volgende punten:

- Modellen produceren vaak slechts een enkel getal waar feitelijk sprake is van een onzekerheidsband. Juiste interpretatie is een aspect van het “omgaan met onzekerheid” dat in de volgende paragraaf aan de orde komt.
- Modellen zijn schematisaties van de werkelijkheid en bevatten niet alle details en fysische processen die in het veld een rol spelen.

Tijdens de interviews werd ook de wens geuit om meetgegevens en de ervaringen uit reeds uitgevoerde herinrichtingsprojecten¹ op een toegankelijke wijze voor het nageslacht vast te leggen. Ook dit kan men zien als een kwestie van kennismanagement ten behoeve van een optimaal lerende organisatie.

¹ Thans reeds uitgevoerde herinrichting: Boven-Rijn: Millingerwaard; Waal: Klompenwaard, Afferden en Deest, Beneden-Leeuwen, Stiftse Waard, Opijnen, Gamerensche Waard; Nederrijn: Driel, Blauwe Kamer; IJssel: Duursche Waarden, Koppelerwaard; Maas: Keent, Hemelrijkse Waard, Hochter Bampd, specie-wingebieden, Koningssteen, Roer (Wasserverband), Niers (Niersverband); buitenland: zie Vanhemelrijk & Paalvast (1997).

2.3 Omgaan met onzekerheid

Tijdens de interviews werd veelvuldig een kennisleemte geconstateerd ten aanzien van het omgaan met onzekerheid. De volgende facetten zijn naar voren gebracht:

- Veel van de morfologische processen in de Nederlandse Rijntakken zijn nog zeer slecht bekend. Voorbeelden zijn de voortgaande algehele bodemdaling en de verdeling van sediment over de takken van een riviersplitsing (zie Paragraaf 2.4).
- Momenteel staan langs de Nederlandse Rijntakken circa vijftig herinrichtingsprojecten op stapel. Het hele rivierengebied gaat als het ware op de schop. Voor kennis van de gevolgen van een dergelijke grootschalige ingreep kan niet op ervaring worden teruggegrepen.
- Er is behoefte aan probabilistische methoden om onzekerheidsmarges te kwantificeren².
- Er is behoefte aan methoden om onzekere resultaten op een effectieve manier te presenteren. Dit blijkt vooral een probleem bij de presentatie van Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW), waar vaak nauwkeurigheden in de orde van centimeters of millimeters worden verwacht. Bij de presentatie van Minst Gepeilde Diepten (MGD) is het wel een aanvaard gebruik om alleen over decimeters te praten.
- Herinrichtingsplannen moeten zo ontworpen worden dat men ze eenvoudig kan aanpassen aan veranderende eisen of omstandigheden (geen-spijtonwerp, anticiperend beheer). Nauwkeurige voorspellingen van morfologische effecten zijn niet zo belangrijk wanneer het ontwerp robuust en flexibel is. Onzekerheden in het effect op de hoogwaterstanden zijn te ondervangen door de rivier extra te verruimen.
- Waterstanden zijn in de vlakkere benedenrivieren nauwkeuriger te voorspellen dan in de steilere bovenrivieren. Dit verschil zou ervoor kunnen pleiten om te werken met relatieve in plaats van absolute kwantificeringen van de onzekerheden in de waterstanden.
- Bij morfologische processen op kleinere schalen kan men een grotere onzekerheid accepteren dan bij morfologische processen op grotere schalen, omdat men bij de processen op kleinere schalen gemakkelijker kan ingrijpen en bijsturen. Onzekerheden met betrekking tot riviersplitsingen zijn daarom voor aftakkingen van nevengeulen minder problematisch dan voor grote splitsingen als de Pannerdense Kop.

2.4 Morfologische processen

De Tabellen 2.2 tot en met 2.5 geven een overzicht van de leemten in morfologische kennis en instrumentarium die tijdens de interviews naar voren werden gebracht. Tabel 2.2 betreft onderwerpen waarvan een behoefte aan onderzoek breed werd onderschreven. Tabel 2.3 betreft onderwerpen waarbij slechts sommigen behoefte aan onderzoek zagen. Tabel 2.4 betreft enkele concrete vragen waarbij voor de beantwoording naar verwachting met een kort onderzoek kan worden volstaan. Tabel 2.5 betreft onderwerpen waarvoor geconcludeerd werd dat er in de context van herinrichting geen behoefte is aan een onderzoeksprogramma. Dit laatste betekent overigens niet dat men deze onderwerpen in de effectbepaling kan veronachtzamen.

² Een van de geïnterviewden was overigens van mening dat men vaak kan volstaan met gevoeligheidsonderzoek.

Tabel 2.2: Tijdens interviews genoemde leemten waarvoor de behoefte aan onderzoek breed onderschreven wordt.

Onderwerp	Toelichting en kanttekeningen
Beddingvormen en alluviale ruwheid	<ul style="list-style-type: none"> Ruimtelijke variaties in bodemruwheid beïnvloeden de ligging van geulen en banken De noodzaak om na een hoogwater op de Midden-Waal te baggeren hangt in belangrijke mate samen met de beddingvormen die op de gemiddelde ligging van een ondiepte gesuperponeerd zijn
Transport van gegraadeerd sediment	<ul style="list-style-type: none"> Ruimtelijke variaties in korrelgrootte van sediment op rivierbodem beïnvloeden de ligging van geulen en banken
Invloed van scheepvaart op sedimenttransport en morfologie	<ul style="list-style-type: none"> Bijvoorbeeld: welke gevolgen heeft scheepvaart voor de duurzaamheid van herinrichtingsprojecten (invloed van retourstroom op nevengeulen)
Bodemligging in ondiepe bochtovergangen (“crossings”)	<ul style="list-style-type: none"> Bochtovergangen zijn maatgevend voor de bevaarbaarheid.
Riviersplitsingen	<ul style="list-style-type: none"> De MHW-afvoerdeling over de verschillende riviertakken is feitelijk onbekend. De verdeling van sedimenttransport over de takken van een riviersplitsing is notoir slecht bekend. Eindimensionale modellering is inherent onzeker. Men motiveert nader onderzoek naar riviersplitsingen ook wel op basis van de aftakkingen van nevengeulen. Een tegenargument is echter dat men in nevengeulen gemakkelijk kan ingrijpen en bijsturen. Kennis vooraf is dan minder belangrijk, en een verrassingselement wordt hier zelfs positief beoordeeld (“vrije natuur”).
Voortgaande algehele bodemdaling	<ul style="list-style-type: none"> In het spraakgebruik wordt deze bodemdaling ook wel “<i>autonome bodemdaling</i>” genoemd. Aannemelijk is echter dat de daling veroorzaakt wordt door externe veranderingen, waaraan de Rijntakken zich vertraagd, op zeer grote tijdschaal, aanpassen. Mogelijke oorzaken: normalisering, verruiming van het Noordelijk Deltabekken, mijnzakkingen in het Ruhrgebied, veranderingen in het stroomgebied bovenstrooms, klimaatveranderingen. Bijdragen van afzonderlijke oorzaken niet kwantitatief bekend. Toekomstige bodemdaling eveneens onbekend. Herinrichting van uiterwaarden zal de bodemdaling beïnvloeden.
Uiteenrafeling van gemeten fenomenen naar afzonderlijke bijdragen	<ul style="list-style-type: none"> De bodemligging op een bepaalde locatie is het resultaat van verschillende processen op verschillende schalen. Bij de ontwikkeling van instrumentarium voor de optimalisatie van baggerstrategieën is het belang gebleken van het kwantificeren van wat elk proces bijdraagt
Sturen met groen	<ul style="list-style-type: none"> Thans is er weinig kennis van mogelijkheden om morfologische ontwikkelingen te beïnvloeden door actief gebruik te maken van de levende natuur
Probabilistische technieken	<ul style="list-style-type: none"> Omgaan met onzekerheid (zie Paragraaf 2.3): kwantificering en presentatie van onzekerheidsmarge.
Adequaat kennismanagement	<ul style="list-style-type: none"> Leren van monitoring, modellering en evaluatie van in uitvoering genomen herinrichtingsprojecten (zie Paragraaf 2.2)

Tabel 2.3: Tijdens interviews genoemde leemten waarvoor slechts sommigen een behoefte aan onderzoek zien.

Onderwerp	Toelichting en kanttekeningen
Morfologische ontwikkeling van nevengeulen	<ul style="list-style-type: none"> Thans worden nevengeulen nog vrij conservatief ontworpen (max. 3% onttrekking van debiet aan zomerbed, stroomsnelheid circa 0,3 m/s bij gemiddelde afvoer). Omdat men ongewenste ontwikkelingen gemakkelijk kan bijsturen of stoppen, wordt kennis vooraf minder belangrijk geacht. Met betere kennis en instrumentarium zou men wellicht echter minder conservatief kunnen ontwerpen en meer ruimte kunnen laten voor natuurlijke processen
Invloed van vegetatie op sedimentatie	<ul style="list-style-type: none"> Processen zijn medebepalend voor de ontwikkeling van de bodemligging in uiterwaarden
Zetting en klink van uiterwaarden	<ul style="list-style-type: none"> Processen zijn medebepalend voor de ontwikkeling van de bodemligging in uiterwaarden

Tabel 2.4: Tijdens interviews genoemde leemten die naar verwachting met een kort onderzoek gevuld kunnen worden.

Onderwerp	Toelichting en kanttekeningen
Noodzaak om afvoer en sedimenttransport door nevengeulen te reguleren	<ul style="list-style-type: none"> Vraag: Is het nodig om de afvoer en het sedimenttransport door nevengeulen te reguleren (bijvoorbeeld door middel van inlaatconstructies en zandvangen) ?
Definitie van belijning van kribkoppen	<ul style="list-style-type: none"> Vraag: Dient men bij de aanleg van kribkoppen onder een flauwere helling uit te gaan van de normaallijn of van de begrenzing van de vaargeul ?
Oevererosie en achterloopsheid	<ul style="list-style-type: none"> Vraag: Wanneer zijn oevererosie en achterloopsheid bij kribben een probleem ?

Tabel 2.5: Tijdens interviews genoemde leemten waarvoor geconcludeerd wordt dat er in de context van herinrichting geen behoefte is aan een onderzoeksprogramma.

Onderwerp	Toelichting en kanttekeningen
Slib	<ul style="list-style-type: none"> In principe is slib van belang voor substraatvorming voor vegetatie en op lange tijdschaal voor de hoogteligging van uiterwaarden. Belangrijke kennisleemten betreffen: (1) flocculatie in zoet water (door invloed van organisch materiaal), (2) bovenstroomse toevoer van slib Gedetailleerde voorspelling van substraatvorming en de daarmee samenhangende verdeling van vegetatie is niet nodig. Men kan gemakkelijk in de vegetatie-ontwikkeling ingrijpen en deze bijsturen. Een verrassingselement wordt hier zelfs positief beoordeeld ("vrije natuur"). Twee geïnterviewden die uiterwaardsedimentatie uitgebreid bestudeerd hebben (Nathalie Asselman en Gerrit Klaassen) oordelen dat de bijbehorende tijdschaal voor de Rijntakken dermate groot is, dat nader onderzoek naar de opslibbing van uiterwaarden niet nodig is voor de beoordeling van herinrichtingsmaatregelen Thans blijft naar schatting 10% van het door de Rijn aangevoerde slib op de uiterwaarden achter. Door grootschalige herinrichting van de uiterwaarden zou dit 20% kunnen worden Slib is van belang in verband met verontreinigingen, niet voor morfologie
Uitwisselingsprocessen met kribvakken	<ul style="list-style-type: none"> Kwantitatieve informatie is slechts globaal benodigd.

3 Functies, processen en schalen

3.1 Inleiding

Behoeften aan morfologische kennis en instrumentarium worden hier afgeleid uit ontwerp- en toetsingsvragen ten aanzien van de hoofdfuncties van de rivier. Dit leidt tot een analyse van de relevante morfologische verschijnselen en de processen die aan deze verschijnselen ten grondslag liggen.

3.2 Functies

Hier worden alleen de hoofdfuncties van een rivier beschouwd: veiligheid, scheepvaart en natuur. Andere functies, zoals landbouw en recreatie, komen niet aan de orde.

Tabel 3.1 geeft aan welke functies verschillende onderdelen van de rivier vervullen voor de hoofdfuncties “Veiligheid” en “Scheepvaart”. Voor de hoofdfunctie “Natuur” bleek het niet goed mogelijk om op een soortgelijke manier functies toe te kennen aan onderdelen van de rivier. Voor de natuur zijn ecologische functies van belang als foerage, voortplanting en migratie. De bijbehorende rivieronderdelen hangen echter af van de biologische soorten. In Tabel 3.1 is daarom voor de natuurfunctie alleen een relatie gelegd tussen rivieronderdelen en habitats of ecotopen.

Tabel 3.1: Hoofdfuncties van onderdelen van een rivier.

Onderdeel van rivier		Hoofdfuncties		
		Veiligheid (functies)	Scheepvaart (functies)	Natuur (habitats of ecotopen)
zomerbed	hoofdgeul	afvoer van water, sediment en ijs	bieden van vaarweg	vishabitat
	bank, ondiepte	-		vishabitat
kribzone	krib	voorkoming ijssdammen	vergroting vaardiepte	hard substraat
	kribvak	-	ondersteuning van werking van kribben (goede neervorming)	stromingsluwte
	strand	-	-	voedselarme ruigte
	oever	-	-	steilrand, overgang van nat naar droog
winterbed	uiterwaard	afvoer van water	-	struweel, bos
	oeverwal	-	-	voedselarme ruigte
	rivierduin	-	-	
	nevengeul	afvoer van water	-	vishabitat
	strang, hoogwater- geul	afvoer van water	-	habitat voor aquatische vegetatie, vogels, amfibieën

Onderdeel van rivier		Hoofdfuncties		
		Veiligheid (functies)	Scheepvaart (functies)	Natuur (habitats of ecotopen)
winterbed (vervolg)	gors	-	-	
	moeras	afvoer van water (geldt voor moeras met waterplanten, niet voor rietmoeras)	-	habitat voor aquatische vegetatie, vogels, amfibieën
	plas	afvoer van water	-	habitat voor aquatische vegetatie, vogels, amfibieën
	zomerkade		vergroting vaardiepte, vermindering van hinderlijke dwarsstromen	-
	bandijk	kering van hoge waterstanden	-	-

3.3 Inrichtingsvragen

Analoog aan het werk van Kleijberg et al (2000) worden hier inrichtingsvragen geformuleerd en vertaald naar behoeften aan informatie over morfologische verschijnselen. De vragen ten aanzien van veiligheid staan in Tabel 3.2, die ten aanzien van scheepvaart in Tabel 3.3 en die ten aanzien van natuur in Tabel 3.4. Sieben (2001a) werkt dergelijke vragen overigens nog meer in detail uit binnen een verkenning voor de Heesseltsche Waarden langs de Waal.

De hamvraag is uiteindelijk wat de kosten zullen zijn van beheer en onderhoud van een uiterwaard na herinrichting. Die kosten hangen sterk samen met de hoeveelheden en de snelheden van erosie en sedimentatie. De morfologische ontwikkelingen worden hier echter niet in kosten vertaald.

In de tabellen worden de volgende afkortingen gehanteerd:

- MHW = Maatgevend Hoog Water
- NVT = niet van toepassing
- OLR = Overeengekomen Lage Rivierstand (bovenrivieren)
- OLW = Overeengekomen Lage Waterstand (benedenrivieren)

De tabellen bevatten getallen voor de gewenste nauwkeurigheid waarmee morfologische verschijnselen en hun effecten op veiligheid, scheepvaart en natuur voorspeld zouden moeten worden. Deze getallen gelden voor de Waal. In de overige Rijntakken gelden andere waarden. Voor de vaststelling van de getallen is gebruik gemaakt van Barneveld & Vermeer (1994), Duits & van Noortwijk (1999), en Kok et al (1996).

Aanvankelijk was het de bedoeling om uit deze gewenste nauwkeurigheden systematisch af te leiden met welke nauwkeurigheden allerlei grootheden gemeten en gemodelleerd zouden moeten worden. Een dergelijke afleiding blijkt echter bij nader inzien om de volgende redenen niet mogelijk:

- Verschillende combinaties van onnauwkeurigheden in invoerparameters leiden tot een zelfde onnauwkeurigheid in morfologische effecten. Daarom is geen eenduidige objectieve afleiding mogelijk.
- De relaties tussen onderliggende morfologische processen en morfologische effecten zijn niet allemaal voldoende goed bekend om er een dergelijke systematische afleiding op te baseren.

Bovendien bleek dat er onder de geïnterviewde deskundigen geen overeenstemming bestaat over de gewenste nauwkeurigheden. De in Tabel 3.2 genoemde gewenste nauwkeurigheden van MHW-afvoeren en MHW-waterstanden vormen daarom een compromis. De volgende opvattingen van geïnterviewde deskundigen zijn representatief voor de verschillen:

- *Opvatting 1: MHW-waterstanden tot op 0,001 m nauwkeurig.* Motivering: verschillende MHW-verlagende maatregelen worden onderling vergeleken in termen van millimeters. Dan moeten die waterstanden, of op zijn minst de waterstandsverschillen, ook met een nauwkeurigheid van 1 mm bepaald kunnen worden.
- *Opvatting 2: MHW-waterstanden tot op 0,1 m nauwkeurig.* Motivering: 0,1 m komt overeen met de meetnauwkeurigheid. Het streven naar een hogere nauwkeurigheid is ongewenst, omdat dat leidt tot buitensporig grote inspanningen op het gebied van meten en modelleren. Onzekerheden in het effect op de hoogwaterstanden zijn te ondervangen door overdimensionering.

Tabel 3.2: Relatie tussen morfologische verschijnselen en inrichtingsvragen ten aanzien van veiligheid.

Inrichtingsvraag	Grootheid		Invloed van morfologie	
	Omschrijving	Gewenste nauwkeurigheid	Verschijnsel	Gewenste nauwkeurigheid
Hoe veranderen langs de rivier de MHW-waterstanden bij de bandijken ?	MHW-afvoer	30 m ³ /s	-	NVT
	waterverdeling op splitsingen (Pannerdense Kop, IJsselkop; voor Merwedese minder belangrijk)	30 m ³ /s	verandering in bodemtopografie en hydraulische ruwheid	
	waterstanden bij MHW	in absolute zin 0,1 m, als waterstandsverschil 0,01 m	aanzanding	in absolute zin 0,2 m gemiddeld over beddingvormen, als bodemliggingsverschil 0,05 m ³
			vergroting hydraulische ruwheid door beddingvormen	10% voor waarde van Nikuradse ⁴
Blijft de uiterwaard intact in een 100 m brede strook langs de bandijken (50 m brede strook indien deze een minstens 0,75 m dikke kleilaag bevat) ?	erosie van strook langs bandijk		bodemerosie	0,5 m bodemerosie
			oevererosie	5 m oevererosie per hoogwater
Treedt geen overschrijding op van toelaatbare hydraulische en morfologische belastingen op bandijken en oever- en bodembeschermingen ?	stroomsnelheid	0,2 m/s	ontwikkeling van bodemtopografie	0,25 m
			oevererosie	5 m per hoogwater
			ontwikkeling van hydraulische ruwheid	
	ontgrondingsdiepte	1 m	bodemerosie	1 m

³ Op basis van Kok et al (1996) en een schatting van de effectiviteit van een over korte afstand langs de rivier toegepaste maatregel (verloop van stuwkromme).

⁴ Duits & van Noortwijk (1999), Tabel 10.15.

⁵ Duits & van Noortwijk (1999), Tabellen 4.3, 4.4 en 10.16.

Tabel 3.3: Relatie tussen morfologische verschijnselen en inrichtingsvragen ten aanzien van scheepvaart.

Inrichtingsvraag	Grootheid		Invloed van morfologie	
	Omschrijving	Gewenste nauwkeurigheid	Verschijsel	Gewenste nauwkeurigheid
Wat is het benodigde baggerwerk om over een bepaalde vaarbaanbreedte (Waal: 170 m) een bepaalde waterdiepte (Waal: 2,80 m) te garanderen bij een afvoer die gedurende 5% van de tijd wordt onderschreden (OLR) ?	waterdiepte bij OLR-afvoer (Zuid-Holland: OLW-afvoer)	0,1 m	ontwikkeling van bodemtopografie	0,1 m
Krijgt het alignement van de vaargeul geen scherpe bochten of knikken ?	boogstraal van vaargeul	10 m	ontwikkeling van bodemtopografie	0,2 m
Treden geen hinderlijke dwarsstromen op ?	stroomsnelheid en stroomrichting (in samenhang met gradiënten in die grootheden en zichtbaarheid voor de schipper)	snelheid 0,1 m/s gemiddeld over traject, richting 10°	ontwikkeling van bodemtopografie	0,5 m
			oevererosie	5 m per hoogwater
			ontwikkeling van hydraulische ruwheid	factor 2 verandering
Worden de zichtlijnen belemmerd ?				

Elke in Tabel 3.4 aangegeven vraag ten aanzien van de natuur is wel door iemand als relevant aangemerkt. Niet iedere ecooloog afzonderlijk onderschreef echter dat alle vragen relevant zijn. Er waren verschillende opvattingen, die zijn terug te voeren tot verschillende visies op de waardering van natuur. Bij de waardering kan men uitgaan van:

- integriteit, ongereptheid (beoordeling op basis van de tijdsduur waarin men het systeem zonder ingrijpen zijn gang kan laten gaan)
- abiotische condities (beoordeling op basis van areaal van fysiotopen of ecotopen)
- soortenrijkdom (beoordeling van mogelijkheden voor levensvatbare populaties van doelsoorten, beoordeling op basis van areaal aan ecotopen die een ecologische schatkamer vormen)
- cultuurlandschap van de negentiende eeuw (beoordeling op LNC-waarden, thans niet meer gangbaar)

Een selectie of een synthese van natuurvisies viel buiten het kader van deze opdracht.

Bij een beoordeling van inrichtingsmaatregelen op natuureffecten speelt ook de relatie tussen morfologie en bodemkwaliteit een rol. Erosie van vervuilde grond kan ongewenst zijn.

Een van de geïnterviewde ecologen merkte op dat extreme situaties of “rampen” voor de natuur positief beoordeeld kunnen worden, omdat ze mogelijkheden geven voor verjonging (kolonisatie door pioniersoorten, “terugzetten” van de successie). Een morfologisch weinig duurzame inrichting kan zo in ecologische zin juist duurzaam zijn (b.v. een natuurlijke bochtafsnijding tijdens een hoogwater).

Tabel 3.4: Relatie tussen morfologische verschijnselen en inrichtingsvragen ten aanzien van natuur.

Inrichtingsvraag	Grootheid		Invloed van morfologie	
	Omschrijving	Gewenste nauwkeurigheid	Verschijsel	Gewenste nauwkeurigheid
Verschaft de rivier voor doelsoorten (vis, vogels, amfibieën) mogelijkheden voor de vestiging van levensvatbare populaties op basis van de beschikbaarheid van habitats en de ruimtelijke samenhang van habitats en leefgebieden ?				
Wat is de lengte aan steile oevers ?	lengte van steile oevers	25%	oevererosie	5 m/jaar
Wat is het areaal van de verschillende ecotopen (bos, struweel, voedselarme ruigte, strangen, hoogwatergeulen, gorzen, zoetwatergetijdgebied, slibafzetting, slikken, zandplaten, moeras, plassen, hard substraat)	areaal van ecotopen	25%	hoogteligging	0,25 m
			erosie, sedimentatie	0,2 m/jaar
			substraatvorming	
Wat is het areaal aan ecotopen die een ecologische schatkamer vormen ?	areaal van nevengeulen en geïsoleerde strangen	25%	erosie, sedimentatie	0,2 m/jaar
Hoe lang kan men de uiterwaard vrij laten ontwikkelen zonder in te grijpen ?	duur van periode waarbinnen men niet ingrijpt ⁶	25%		

⁶ Deze duur kan men eventueel relatief definiëren ten opzichte van een relevante ecologische tijdschaal, zoals die van de ontwikkeling van een ooibos of de levenscyclus van een organisme.

3.4 Morfologische verschijnselen

Tabel 3.5 geeft een overzicht van de morfologische verschijnselen die in verschillende onderdelen van de rivier optreden. De tabel bevat tevens de grootheden die de verschijnselen karakteriseren.

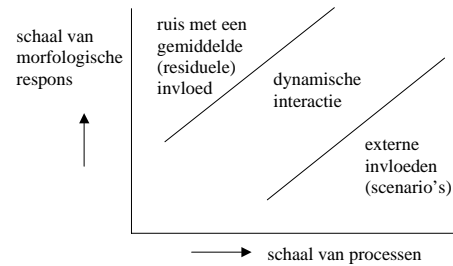
Tabel 3.5: Morfologische verschijnselen.

Onderdeel	Morfologisch verschijnsel	Grootheid	Gewenste nauwkeurigheid	
			vertikaal	horizontaal
zomerbed	beddingvormen	bodempogografie		
	ontgrondingskuilen	bodempogografie	0,5 m	5 m
	banken, bochtprofielen, ondiepe bochtovergangen ("crossings")	bodempogografie	0,1 - 0,25 m	2,5 - 5 m
	bodemlengteprofiel	bodempogografie	0,05 m	
	interactie met kribvakken	stroomsnelheden stroomrichtingen sedimenttransporten	0,3 m/s 5° - 10° 100%	
	interactie met uiterwaarden	stroomsnelheden stroomrichtingen sedimenttransporten	0,3 m/s 5° - 10° 100%	
kribzone	kribvakbodem	bodempogografie	0,1 m	5 m
	oevererosie, achterloopsheid	oeverlijn	0,1 m	5 m
winterbed inclusief nevengeulen	erosie en sedimentatie van zand, sedimentatie van slib	bodempogografie sedimenttransporten	0,1 m 100%	5 m
	consolidatie, zetting, klink	bodempogografie	0,1 m 100%	
	substraatvorming: segregatie van sediment (uitzeving, afpleistering, zand-slibinteracties)	bodemsamenstelling (korrelgrootte, uitzeving) bodemgelaagdheid		
	oevererosie	oeverlijn		5 m

3.5 Onderliggende processen en schalen

Naast de grootheden voor de morfologische *verschijnselen* in Tabel 3.5 zijn er nog de grootheden voor de *processen* die aan de morfologische verschijnselen ten grondslag liggen. Men kan het belang van de verschillende onderliggende processen voor de verschillende morfologische verschijnselen afleiden uit een vergelijking van de karakteristieke schalen waarop de processen en de verschijnselen zich afspelen. Figuur 3.1 geeft het principe hiervan weer (naar de Vriend, 1991).

Processen die op beduidend kleinere schalen afspelen vormen voor een morfologisch verschijnsel een soort ruis waarvan alleen de gemiddelde of residuele invloeden van belang zijn. Die gemiddelde invloeden kunnen door eenvoudige parameters worden weergegeven. Turbulente fluctuaties van de stroming vormen het klassieke voorbeeld van dergelijke kleinschalige processen. Een ander voorbeeld is de invloed van scheepsgolven op oevererosie. Omdat de orbitaalbeweging van scheepsgolven zich op beduidend kleinere schalen afspeelt, beschrijft men de voor oevererosie relevante gemiddelde invloed met behulp van eenvoudige parameters als golfhoogte en golfperiode.



Figuur 3.1: Relatie tussen schalen van morfologische verschijnselen en onderliggende processen.

Processen die zich op beduidend grotere schalen afspelen vormen voor een morfologisch verschijnsel een externe invloed. Een voorbeeld is de wijziging van het afvoerregime ten gevolge van klimaatveranderingen. Bij morfologische voorspellingen hanteert men voor dergelijke externe invloeden scenario's.

Dynamische interacties zijn mogelijk wanneer de schalen van verschijnselen en onderliggende processen elkaar benaderen. Alleen dan is een gedetailleerde beschouwing van de onderliggende processen zinvol.

Gewoonlijk onderscheidt RIZA de volgende schaalniveaus voor de Rijn: stroomgebiedschaal, Rijntakkenschaal, riviertrajectschaal en uiterwaardschaal. Uit de morfologische verschijnselen en processen volgen echter schaalniveaus die hiervan enigszins afwijken: mega-, macro-, meso- en microschaal. Tabel 3.6 geeft een overzicht van de morfologische schaalniveaus en de bijbehorende schaalniveaus van RIZA. De tijdschaal is daarbij berekend met behulp van de formule

$$T = \left(0,2 \cdot 10^6 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/2}\right) \frac{L}{h^{3/2}} = \left(2,4 \text{ dag} \cdot \text{m}^{1/2}\right) \frac{L}{h^{3/2}} \quad (3.1)$$

Bijlage B geeft de afleiding van deze formule. Er valt uit af te lezen dat verschijnselen op grotere ruimteschalen zich ook op grotere tijdschalen voltrekken. Tevens valt af te lezen dat de tijdschaal bij hogere afvoeren, wanneer de waterdiepten groter zijn, afneemt, omdat de grotere sedimenttransporten dan de processen versnellen.

De analyse in deze paragraaf wordt gebaseerd op de morfologische schaalniveaus. De rest van het rapport sluit echter zoveel mogelijk aan bij de gangbare schaalniveaus van RIZA.

Grootschalige morfologische ontwikkelingen kunnen de randvoorwaarden van het systeem beïnvloeden. Zo hebben ze een invloed op de algehele bodemdaling, die in modellen als

bovenstroomse randvoorwaarde wordt opgelegd. Ook kunnen ze een aanpassing van het stuwprogramma van de Nederrijn en het spuiregim van de Haringvlietssluisen noodzakelijk maken.

Tabel 3.6 Schalen van morfologische verschijnselen (met representatieve waarden voor de Waal).

Morfologische schaal	Karakteristieke lengteschaal L			Verschijnselen	Karakteristieke tijdschaal I T	Relatie met gangbaar schaalniveau (RIZA)
	Omschrijving	Symbool	Waarde (a) h = 2,5 m (b) h = 5 m (c) h = 10 m			
micro	dikte viskeuze sublaag, voor zandrivieren ook korrelgrootte van sediment	δ, D	1 mm	ribbels	seconden - minuten	-
meso	waterdiepte	h	(a) 2,5 m (b) 5 m (c) 10 m	duinen, lokale ontgroningen, kribvlammen, oevererosie	uren - dagen	uiterwaard
macro	normaalbreedte tussen kribkoppen	B	250 m	banken, bochtprofielen, ondiepten door uitwisseling met winterbed tijdens hoogwaters, oevererosie, achterloopsheid	weken - maanden	uiterwaard, riviertraject
mega	lengte waarover verval gelijk is aan waterdiepte	h/i	(a) 25 km (b) 50 km (c) 100 km	grootschalige morfologische ontwikkeling, bodemlengteprofiel, geometrie riviersplitsingen, sedimenthuishouding Noordzeekust, Waddenzee, Delta-gebied en IJsselmeer	jaren - decennia	Rijntakken

De relatie tussen morfologische verschijnselen en onderliggende processen is in Tabel 3.7 nader uitgewerkt. Daarin zijn de velden waarin leemten in kennis en instrumentarium verwacht kunnen worden geaccentueerd op basis van de volgende overwegingen:

1. Morfologische verschijnselen op microschaal zijn voor het rivierbeheer niet relevant;
2. Herinrichting van uiterwaarden zal niet leiden tot veranderingen in de invloeden van getijwerking, zeespiegelrijzing, scheepsgolven, sedimentopwerveling door scheepvaart, bewegingen van de ondergrond en ijsvorming. Deze processen blijven voor morfologische effectbepaling van belang, maar bijbehorende leemten in kennis en instrumentarium zijn hier niet relevant;
3. Het opvullen van leemten in kennis en instrumentarium is slechts zinvol voor de processen die dynamische interacties hebben met relevante morfologische verschijnselen.

Tabel 3.7 Relatie tussen morfologische verschijnselen en onderliggende processen, met relevantie voor herinrichting van uiterwaarden (Ext = externe invloed, Dyn = dynamische interactie, Gem = gemiddelde invloed, R = relevant, NR = niet relevant).

Onderliggend proces		Morfologisch verschijnsel			
Omschrijving	Tijdschaal	microschaal (seconden - minuten)	mesoschaal (uren - dagen)	macroschaal (weken - maanden)	megaschaal (jaren - decennia)
		ribbels	duinen, lokale ontgroningen, kribvlammen, oevererosie	banken, bochtprofielen, ondiepten door uitwisseling met winterbed tijdens hoogwaters, oevererosie, achterloopsheid	grootschalige morfologische ontwikkeling, bodemlengteprofiel, geometrie riviersplitsingen, sedimenthuishouding delta, kust en zee
Rivierafvoer:					
• afvoerregime	jaren	Ext, NR	Ext, R	Ext, R	Dyn, R
• hoogwaters	dagen	Ext, NR	Dyn, R	Gem, R	Gem, R
• verdeling over splitsingen	dagen - jaren	Ext, NR	Dyn, R	Dyn, R	Dyn, R
• verdeling over zomer- en winterbed	dagen - jaren	Ext, NR	Dyn, R	Dyn, R	Dyn, R
Invloed uit zee:					
• getijdewerking	uren - dagen	Ext, NR	Dyn, NR	Gem, NR	Gem, NR
• zeespiegelrijzing	jaren	Ext, NR	Ext, NR	Ext, NR	Dyn, NR
Scheepvaart:					
• scheepsgolven	seconden	Dyn, NR	Gem, NR	Gem, NR	Gem, NR
• retourstroming	minuten	Dyn, NR	Gem, R	Gem, R	Gem, R
• opwerveling van sediment	seconden	Dyn, NR	Gem, NR	Gem, NR	Gem, NR
Toevoer en afvoer van sediment:					
• door rivierafvoer	jaren	Ext, NR	Ext, R	Ext, R	Dyn, R
• door oevererosie	uren - dagen	Ext, NR	Dyn, R	Gem, R	Gem, R
• door erosie van winterbed	weken	Ext, NR	Ext, R	Dyn, R	Gem, R
• door baggerwerk	dagen	Ext, NR	Dyn, R	Gem, R	Gem, R (mogelijk scenario's)
• door wind (eolisch)	jaren	Ext, NR	Ext, R	Ext, R	Dyn, R
Bewegingen van de ondergrond:					
• isostatische bodemdaling	jaren	Ext, NR	Ext, NR	Ext, NR	Dyn, NR
• mijnzakkingen	jaren	Ext, NR	Ext, NR	Ext, NR	Dyn, NR
IJsvorming	dagen	Ext, NR	Dyn, NR	Gem, NR	Gem, NR

3.6 Conclusies

Uit de hoofdfuncties van de rivier en bijbehorende inrichtingsvragen zijn relevante morfologische verschijnselen afgeleid. Op basis hiervan wordt in Hoofdstuk 4 een methodiek ontworpen voor morfologische effectbepaling.

Als zelfstandig resultaat leidt de analyse in Tabel 3.7 daarnaast tot een identificatie van behoeften aan kennis en instrumentarium met betrekking tot interacties tussen morfologische verschijnselen en onderliggende processen. Deze behoeften worden in Tabel 3.8 samengevat. Het gaat daarbij niet noodzakelijk om een selectie van onderwerpen met hoge prioriteit, maar om een selectie van onderwerpen waarbij complexe interacties een voorname rol spelen.

Tabel 3.8 Identificatie van behoeften aan kennis en instrumentarium op basis van interacties tussen morfologische verschijnselen en onderliggende processen.

Schaal		Toepassing van beoogde kennis en instrumentarium	Onderwerp
naam	tijd <i>ruimtelijk schaalniveau</i>		
meso	uren-dagen <i>uiterwaard (enkel inrichtingsproject)</i>	ontwerp toetsing	<ul style="list-style-type: none"> • tijdsafhankelijke variaties in beddingvormen, ontgrondingskuilen en kribvlammen ten gevolge van afvoervariaties tijdens en na hoogwaters, in wisselwerking met invloed op waterverdelingen over splitsingen en over zomer- en winterbed • toevoer van sediment door oevererosie en afvoer van sediment door baggerwerk
macro	weken-maanden <i>uiterwaard, riviertraject (enkel inrichtingsproject of aantal aaneengesloten inrichtingsprojecten)</i>	ontwerp toetsing	<ul style="list-style-type: none"> • banken, bochtprofielen, ondiepten door uitwisseling met winterbed, oevererosie en achterloopsheid in wisselwerking met invloed op waterverdelingen over splitsingen en over zomer- en winterbed • toevoer van sediment door erosie van winterbed
mega	jaren-decennia <i>Rijntakken (grootschalige herinrichting)</i>	verkenning toetsing	<ul style="list-style-type: none"> • invloed van afvoerhydrograaf, waterverdeling op splitsingen, uitwisseling van water tussen zomer- en winterbed, toevoer van sediment uit stroomgebied en eolisch sedimenttransport op grootschalige morfologische ontwikkeling van de Rijntakken en sedimenthuishouding Noordzeekust, Waddenzee, Deltagebied en IJsselmeer

4 Methodiek voor effectbepaling

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een globale methodiek opgezet voor bepaling van de morfologische effecten van herinrichtingsprojecten. Deze methodiek moet passen binnen het totale ontwerpproces, waarin naast morfologie uiteraard ook andere aspecten een rol spelen. Daarbij gaat het om de beantwoording van de volgende vragen:

1. **Wat ?** - Welke morfologische effecten moet men bepalen en met welke nauwkeurigheid ?
2. **Wanneer ?** - Op welk moment in het ontwerpproces wil men de wat-vraag beantwoorden ?
3. **Hoe ?** - Welke methodiek wordt gevolgd voor het beantwoorden van de wat-vraag ?
4. **Waarmee ?** - Welk gereedschap is nodig of gewenst ? Is dat beschikbaar ?

De **waarom**-vraag komt overeen met de inrichtingsvragen in Paragraaf 3.3.

4.2 Algemene ontwerpproces

4.2.1 Opzet

Op basis van verschillende herinrichtingsprojecten die reeds in voorbereiding, in uitvoering of voltooid zijn, is binnen Rijkswaterstaat het ontwerpproces gestructureerd. Daarbij is aansluiting gezocht met de MER-methodiek. Voorbeelden hiervan zijn beschreven ten behoeve van de herinrichtingsplannen Rosandepolder (van der Meulen, 1998), Rijnwaarden (Sieben, 2000b) en Heesseltsche Waarden (Collignon-Havinga, 2000).

Uitgaande van een visie voor een riviersysteem geeft Tabel 4.1 een mogelijke fasering van herinrichtingsprojecten aan. Voor de Rijntakken volgt de huidige visie uit IVR/RVR.

Tabel 4.1: Fasering herinrichtingsprojecten; activiteiten en producten.

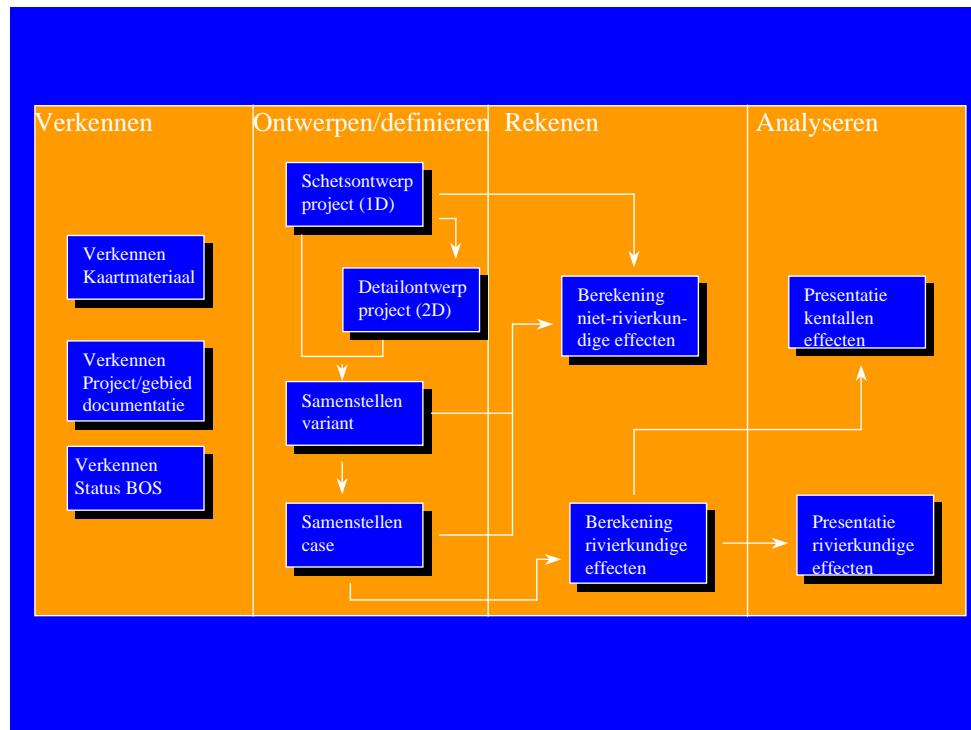
No	Fase / Sub-fase	Activiteiten	Producten
VERKENNING			
1	Initiatief	<ul style="list-style-type: none"> • start project • globale resultaat-omschrijving = concretisering ideeën 	<ul style="list-style-type: none"> • projectaanpak • projectorganisatie • communicatieplan
PLANSTUDIE			
2	Definitie	<ul style="list-style-type: none"> • grondige analyse probleem en doelen • projecteren grootschalige visie op uiterwaard • beschrijving activiteiten en mogelijke 	<ul style="list-style-type: none"> • eerste opzet programma van eisen (PVE) • projectplan met achtergrond, probleemstelling, doel, gewenste

No	Fase / Sub-fase	Activiteiten	Producten
		inrichtingsvarianten <ul style="list-style-type: none"> • beschrijving toetsingscriteria 	kwaliteit, randvoorwaarden, planning, organisatie, menskracht, communicatie en risico's
3 3.a	Ontwerp - <i>Afbakening</i>	<ul style="list-style-type: none"> • definiëren van doelstellingen en randvoorwaarden = afbakening project • verdere uitwerking programma van eisen • formuleren beoordelingscriteria 	<ul style="list-style-type: none"> • programma van eisen • beoordelingskader
3.b	- <i>Verkenning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • globale inventarisatie projectgebied (karakteristieken) en aangeven kennisleemten • inventarisatie processen • eventueel veldwerk • bepalen oplossingsruimte • effectiviteit van enkelvoudige maatregelen 	<ul style="list-style-type: none"> • inventarisatierapport • verkenning effectiviteit maatregelen • schetsen principe-oplossingen
3.c	- <i>Visievorming</i>	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkelen extreme inrichtingsvarianten = hoekpunten oplossingsruimte • verhelderen knelpunten en beschrijven effecten • verkenning effecten op schaal van Rijntakken 	<ul style="list-style-type: none"> • rapportage met effectiviteit en knelpunten van extreme inrichtingsvarianten
3.d	- <i>Synthese / Ontwerp</i>	<ul style="list-style-type: none"> • op basis van enkelvoudige maatregelen en extreme varianten: samenstellen en analyseren van inrichtingsvarianten • rivierkundige toetsing van varianten (waaronder nul-alternatief) • bepalen effecten op milieu en andere functies (b.v. scheepvaart) • kostenraming • vergelijking en beoordeling varianten en keuze • definitieve rivierkundige toetsing inclusief toetsing op schaal van Rijntakken 	<ul style="list-style-type: none"> • rapportage van opzet, analyse, beoordeling en keuze van inrichtingsvarianten • herinrichtingsplan
3.e	- <i>Afronding</i>	<ul style="list-style-type: none"> • rapportage • terugkoppeling 	<ul style="list-style-type: none"> • eindrapport ontwerp herinrichtingsplan
4	Ontwerp van monitoring, beheer en onderhoud	<ul style="list-style-type: none"> • definitie te monitoren parameters • vaststelling interventiegrenzen • optimalisatie monitoring en onderhoud • afstemming met plannen monitoring en beheer op schaal van Rijntakken 	<ul style="list-style-type: none"> • beheer en onderhoudsplan
5	Vorbereiding uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • voorbereiden en opstellen vergunningsaanvragen • milieuhygiënisch en fysisch onderzoek • gekozen alternatief vertalen in uitvoeringsgereed plan • gedetailleerde kostenraming 	<ul style="list-style-type: none"> • plan voorbereiding uitvoering inclusief kostenraming
REALISATIE			
6	Uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • daadwerkelijke aanleg 	<ul style="list-style-type: none"> • heringericht riviertraject

No	Fase / Sub-fase	Activiteiten	Producten
7	Monitoring, beheer en evaluatie ⁷	<ul style="list-style-type: none"> • volgen en onderhouden • afstemming met monitoring en beheer op schaal van Rijntakken • evaluatie ontwikkeling project: (1) hoe gedraagt project zich ?, (2) hoe hebben ontwerpmethodiek inclusief instrumenten voorspeld ? • aandachtspunt: leren uit inrichtingsplannen in binnen- en buitenland 	<ul style="list-style-type: none"> • riviertraject dat voldoet aan gestelde (maar mogelijk wijzigende) doelstellingen voor diverse functies
8	Communicatie	<i>parallel aan alle andere fasen</i> <ul style="list-style-type: none"> • informatiebijeenkomsten • schrijven voorlichtingsmateriaal 	<ul style="list-style-type: none"> • nieuwsbrieven • internetsite

4.2.2 Relatie met BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken

Het is de verwachting dat het “BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken” bij de herinrichtingsprojecten een prominente plaats zal innemen. Dit gereedschap biedt de mogelijkheid voor “Verkenning” (onder andere inventarisatie gebiedsinformatie), “Ontwerp” (zowel een- als tweedimensionaal), “Rekenen” (zowel rivierkundige als niet-rivierkundige effecten) en “Analyse” (presentatie van resultaten). Figuur 4.1 geeft het bijbehorende concept stroomschema.



Figuur 4.1: Concept stroomschema BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken.

⁷ Evaluatie is van groot belang voor latere herinrichtingsplannen (“lerende organisatie” volgens Subparagraaf 2.2.4).

Gezien deze verwachte prominente plaats, lijkt het nuttig om te kijken hoe dit (voorlopige, nog niet vastgestelde) stroomschema van BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken zich verhoudt tot de in de voorgaande subparagraaf geschetste ontwerpfasering. Het blijkt dat het stroomschema en de ontwerpfasering niet geheel identiek zijn ten aanzien van het ontwerp-proces. Tabel 4.2 laat echter zien dat ze ook niet met elkaar in tegenspraak zijn. Het stroomschema komt erop neer dat de sub-fasen van Fase 3 (Ontwerp) in Tabel 4.1 tijdens het ontwerp-proces een aantal malen doorlopen worden, met toenemend detail van ontwerp en berekeningen.

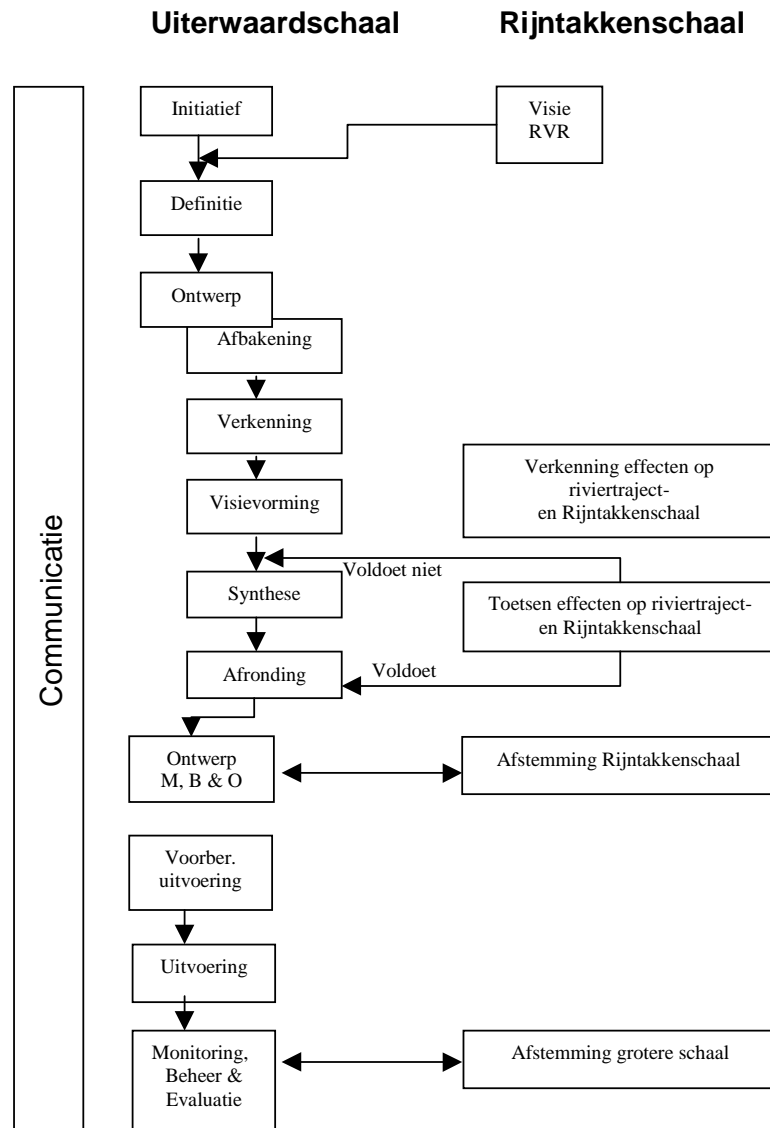
Tabel 4.2: Vergelijking methodiek met BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken.

Fase BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken	Sub-fase binnen Fase 3 (Ontwerp) volgens Tabel 4.1
Verkennen <ul style="list-style-type: none"> • verkennen kaartmateriaal • verkennen projectgebied, documentatie • verkennen status BOS 	3.b Verkenning
Ontwerpen / definiëren <ul style="list-style-type: none"> • schetsontwerp project (1-D) • detailontwerp project (2-DH) • samenstellen variant en <i>case</i> (ontwerp en randvoorwaarden) 	3.c Visievorming 3.d Synthese
Rekenen <ul style="list-style-type: none"> • niet-rivierkundige effecten • rivierkundige effecten 	3.b Verkenning 3.c Visievorming 3.d Synthese
Analyseren <ul style="list-style-type: none"> • presentatie kentallen effecten • presentatie rivierkundige effecten 	3.b Verkenning 3.c Visievorming 3.d Synthese 3.e Afronding

4.2.3 Schaalniveaus

Zowel bij BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken als bij de hier voorgestelde methodiek kan nog worden opgemerkt dat de verschillende schaalniveaus op verschillende momenten in het ontwerp-proces relevant zijn, waarbij ook per schaalniveau de aandachtspunten verschillen. Zo wordt bijvoorbeeld de veiligheid op de Rijntakkenschaal afgelezen aan de MHW-standen, terwijl deze op de uiterwaardschaal tevens wordt gerelateerd aan de stabiliteit van dijken. Op Rijntakkenschaal speelt verder de afvoerverdeling over de diverse Rijntakken een belangrijke rol, terwijl die op uiterwaardschaal veel minder relevant kan zijn. Duidelijk moge dan ook zijn dat per schaalniveau de vragen, gewenste nauwkeurigheid, methodiek en gereedschappen zullen verschillen.

In Figuur 4.2 is het ontwerp-proces geschetst, met daarin de relaties tussen de verschillende schaalniveaus. Hierbij verdient de organisatie van de afstemming aandacht. Gedacht kan worden aan een organisatie waarbij het ontwerp van de herinrichting van één of meerdere uiterwaarden wordt verzorgd door een *projectgroep*. Op het niveau van de Rijntakkenschaal wordt de afstemming tussen de diverse herinrichtingsplannen gecoördineerd door een *stuurgroep*. Deze controleert op basis van informatie vanuit de diverse projectgroepen of de doelstellingen voor grootschalige herinrichting van de Rijntakken worden gerealiseerd binnen het daarvoor gestelde programma van eisen.



Figuur 4.2: Ontwerpproces en relatie met schaalniveaus.

4.3 Ontwerpmethodiek morfologische aspecten

De plaats van morfologische effectbepaling binnen het ontwerpproces is uitgewerkt in Tabel 4.3. De wat-vragen zijn afgeleid uit Hoofdstuk 3. Daarbij zijn de kernwoorden cursief en vet afgedrukt. Succesvolle toepassing van de gereedschappen in de laatste kolom (waarmeevraag) vereist dat deze gereedschappen goed zijn geijkt. Daarvoor zijn mogelijk aanvullende metingen nodig (b.v. stroombeelden, afvoerverdelingen, vegetatiekaarten). Een dubbel vraagteken (??) in de laatste kolom geeft weer dat het nodig geachte instrumentarium nog niet voorhanden is.

Tabel 4.3: Morfologische aspecten en gereedschappen in het ontwerpproces.

No	Fase / Sub-fase	Wat ?	Hoe ? Waarmee ?
VERKENNING			
1	Initiatief	-	-
PLANSTUDIE			
2	Definitie	<ul style="list-style-type: none"> • beschrijving (<i>morfologische aandachtspunten</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: grove inschatting op basis van beheersvragen • waarmee: vuistregels
3 3.a	Ontwerp - <i>Afbakening</i>	<ul style="list-style-type: none"> • opstellen <i>toetsingscriteria</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: locatie-afhankelijke interpretatie van basiscriteria
3.b	- <i>Verkenning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>inventarisatie</i> historische, huidige en toekomstige relevante morfologische processen; karakterisering door parameters; indeling in zones of secties en tijdschalen 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: op basis van processen in Hoofdstuk 3, lokale invulling door deskundigenoordeel • waarmee: proceskennis, metingen, kaarten (ook historische), luchtfoto's, geologische profielen
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>indicatie</i> hydraulische en morfologische effecten per sectie van individuele maatregelen⁸ en bijbehorende tijdschalen⁹, zoals (a) aanzanding of erosie hoofdgeul, (b) beddingvormen hoofdgeul, (c) aanslibbing, aanzanding en erosie uiterwaard en nevengeul 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: identificatie trends uit metingen en berekeningen; globale inschatting effecten (bodemontwikkeling, waterstandsveranderingen, oevererosie, ontstaan van banken) met vuistregels en analytische relaties, indien gewenst ook met 1-D morfologische berekeningen en 2-DH hydraulische berekeningen • waarmee: vuistregels (b.v. oevererosie), analytische relaties (b.v. karakteristieke lengteschalen λ_w, λ_s), indien gewenst SOBEK, WAQUA
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>implicaties</i> morfologische effecten voor beheer 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: schatting omvang en frequentie van onderhoudsinspanningen
3.c	- <i>Visievorming</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>hydraulische parameters</i> extreme varianten 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: 2-DH bepaling afvoerdeling zomerbed-winterbed, stroombeelden, waterstanden, stroomsnelheden, schuifspanningen • waarmee: WAQUA
		<ul style="list-style-type: none"> • schatting <i>morfologische consequenties</i>: (a) uiterwaard (b.v. aanzanding, oevererosie, horizontale en verticale stabiliteit nevengeul), (b) zomerbed (breedtegemiddeld: lokaal en grotere schaal, inclusief effecten hoogwaters en daaropvolgend herstel), (c) beddingvormen zomerbed (toetsing invloed ontwerp op afmetingen en 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: (a) interpretatie van 2-DH waterbewegingsberekeningen ter identificatie van erosie- en sedimentatiegebieden, oevererosie, snelheden van erosie en sedimentatie, (b) 1-D morfologische berekening met gevoeligheidsanalyse sedimentverdeling op aftakpunt nevengeul, (c) 2-DH modellering tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen • waarmee: (a) WAQUA, vuistregels voor

⁸ Gedacht kan worden aan uiterwaardverlaging, nevengeul, hoogwatergeul, dijkverlegging, vegetatieontwikkeling. Deze maatregelen en hun effecten vormen als het ware de ingrediënten voor inrichtingsvarianten (sub-fasen 3.c en 3.d).

⁹ Sieben (2001a) stelt bijvoorbeeld de volgende vragen en bijbehorende tijdschalen: (1) bodemligging vaarweg (1 jaar - na hoogwater), (2) bodemligging nevengeul (5 jaar - onderhoudsfrequentie), (3) oevers en bodemligging van plassen (25 jaar), (4) bodemligging uiterwaard (100 jaar).

¹⁰ Eerste analyses (Sieben, 2001b) en initiële monitoringsresultaten suggereren dat de invloed van herinrichting van uiterwaarden op groeisnelheid en afmetingen van beddingvormen gering is.

No	Fase / Sub-fase	Wat ?	Hoe ? Waarmee ?
		groeisnelheden) ¹⁰	aanslibbing, aanzanding, erosie, stabiliteit nevengeul, (b) SOBEM, (c) vuistregels, ?? modelconcepten, ?? 2-DH implementatie
3.d	- <i>Synthese / Ontwerp</i>	<ul style="list-style-type: none"> • hydraulische effecten en gevoeligheden 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: 2-DH hydraulische berekeningen voor bepaling van afvoerdeling zomerbed-winterbed, stroombeelden, waterstanden, stroomsnelheden, schuifspanningen, inclusief gevoeligheids- of nauwkeurighedsanalyse morfologische ontwikkeling uiterwaard, nevengeul, hydraulische ruwheid (vegetatiepatronen, beddingvormen) • waarmee: WAQUA
		<ul style="list-style-type: none"> • 2-DH bodemveranderingen in zomer- en winterbed 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: 2-DH morfologische berekeningen voor bodemveranderingen (zomerbed, winterbed, nevengeul), beddingvormen (effect ruwheid), kribvakken (kribvlammen), rekening houdend met retourstroming en oevererosieproducten; gevoeligheids- of nauwkeurighedsanalyse (vegetatie, sedimentverdeling, etc.); tijdschalen hoogwater en hydrologisch jaar; bandbreedte van morfologische veranderingen • waarmee: Delft3D-MOR, met: ?? sedimentverdeling (b.v. hellings-effecten), ?? interacties tussen vegetatie en sediment, ?? beddingvormen, ?? oevererosie, ?? probabilistische of stochastische toepassing
		<ul style="list-style-type: none"> • morfologische risico-kaart zomer- en winterbed 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: identificatie risico-locaties op basis van 2-DH berekeningen, karakteristieken ondergrond (dikte lagen, korrelgrootte) en aanwezigheid infrastructuur (oeverbeschermingen, dijken) • waarmee: GIS
		<ul style="list-style-type: none"> • check erosie langs bandijk: verificatie dat hier geen erosie optreedt 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: schatting erosie uiterwaardoppervlak in 50 of 100 m brede strook langs bandijk uit 2-DH berekening van stroomsnelheden (schuifspanningen) • waarmee: WAQUA, ?? erosiemodel
		<ul style="list-style-type: none"> • hydraulische en morfologische belastingen op infrastructuur 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: verifieer stabiliteit oever- en bodembeschermingen op basis van stroomsnelheden, schatting oevererosie en bodemontwikkeling (denk aan ondermijning oeververdediging en ontgrondingskuilen) • waarmee: formules (stabiliteit van bescherming, ontwikkeling van

Toetsing van het effect op beddingvormen zou dan achterwege kunnen blijven, maar zonder definitief uitsluitsel wordt de toetsing vooralsnog in de tabel gehandhaafd, aangezien beddingvormen van groot belang zijn voor de MHW-standen en het beschikbare vaarprofiel.

No	Fase / Sub-fase	Wat ?	Hoe ? Waarmee ?
			ontgrondingskuilen), oevererosie-modellen, Delft3D-MOR
		<ul style="list-style-type: none"> • effect op <i>beddingvormen</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: bepaling tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen • waarmee: ??
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>langjarige en grootschalige morfologische toetsing</i> (individuele project en combinatie met andere projecten) 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: 1-D morfologische berekeningen met aandacht voor bandbreedte bodemontwikkeling • waarmee: SOBEK, met ?? probabilistische of stochastische toepassing
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>toetsing MHW</i> gedurende gehele zichtduur 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: 2-DH mathematisch model • waarmee: WAQUA, met uit SOBEK-berekeningen afgeleide bodemveranderingen
3.e	- Afronding	-	-
4	Ontwerp van monitoring, beheer en onderhoud	<ul style="list-style-type: none"> • bepaling <i>interventieniveaus en interventiefrequenties</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: (1) op basis van hydraulische (MHW, stabiliteit, dwarsstromen), ecologische (herstelcapaciteit natuur) en morfologische (b.v. bodemdaling) analyses uit ontwerpfasen schatten wanneer interventieniveaus worden bereikt, (2) afschatting mogelijkheden voor beïnvloeding van morfologische processen (b.v. hoe effectief is sedimentinstroom naar nevengeul te wijzigen en hoe beïnvloedt men die ?) • waarmee: (1) WAQUA, (2) WAQUA en Delft3D-MOR
5	Vorbereiding uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • <i>optimalisering uitvoeringsvolgorde</i> meerdere ingrepen of locaties (voornamelijk op niveau van Rijntakkenschaal) 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: schatting van effecten op veiligheid (MHW-standen), scheepvaart (ondiepten en dwarsstromen) en natuur (sedimentlasten, mate van verstoring) op basis van vuistregels en morfologische berekeningen • waarmee: vuistregels, SOBEK, Delft3D-MOR
REALISATIE			
6	Uitvoering	-	-
7	Monitoring, beheer en evaluatie	<ul style="list-style-type: none"> • <i>controle gemeten effecten</i> (morfologisch en hydraulisch); verbetering instrumentarium 	<ul style="list-style-type: none"> • hoe: (1) monitoring van (i) morfologie zomerbed, kribvakken, uiterwaarden en nevengeulen, (ii) waterstandsontwikkeling, (iii) stromingspatronen, (iv) vegetatie, (2) controle of gemeten effecten overeenkomen met verwachtingen uit ontwerpfasen, (3) controle-berekeningen MHW • waarmee: (1) meetinstrumentarium conform monitoringplan, (2) SOBEK, WAQUA, Delft3D-MOR, (3) WAQUA
8	Communicatie	-	-

Het wordt als vanzelfsprekend beschouwd dat de morfologische effectbepaling wordt uitgevoerd door of onder supervisie van ervaren en oordeelkundige riviermorfologen. Modellen vormen immers slechts een hulpmiddel die de beoordeling door deskundigen kunnen ondersteunen, maar niet kunnen vervangen. Op verzoek van de opdrachtgever wordt

hier nog eens gewaarschuwd voor klassieke scheve schaatsen die in de praktijk nog wel eens gereden worden:

- Begrippen als “dominante” of “bedvormende” afvoer dient men niet of slechts met groot en duidelijk omschreven voorbehoud toe te passen. De bodemligging die zich onder een variërende afvoer vormt, laat zich niet exact reproduceren onder een constante afvoer, hoe men die constante afvoer ook kiest;
- Een aanpak dient probleem-georiënteerd te zijn, niet gereedschap-georiënteerd. Gereedschap is niet meer dan een hulpmiddel in de handen van een riviermorfoloog (de Vries, Klaassen & Struikma, 1990);
- De beschikbaarheid van veldgegevens is een belangrijk aspect van een evenwichtige aanpak. Een gebrek aan veldgegevens laat zich niet compenseren door geavanceerde en verfijnde modellen (de Vries, Klaassen & Struikma, 1990).

Tenslotte kan opgemerkt worden dat de geschetste ontwerpmethodiek een eerste opzet is. Op basis van ervaring met het daadwerkelijke ontwerp, de uitvoering en de monitoring van herinrichtingsprojecten kan de methodiek worden bijgesteld. Het kan bijvoorbeeld zijn dat onverwacht morfologische effecten blijken op te treden die in de huidige ontwerpmethodiek niet worden beschouwd. Anderzijds kan de ervaring aanleiding geven om onderdelen van de aangegeven morfologische effectbepaling in het vervolg achterwege te laten. Tijdens de workshop in Rossum is voorgesteld om criteria te formuleren voor de noodzaak van morfologische effectbepaling. Een criterium zou bijvoorbeeld de overstromingsfrequentie kunnen zijn. Blijft deze na herinrichting laag, dan heeft de herinrichting weinig invloed op de morfologie van het zomerbed en zou effectbepaling achterwege kunnen blijven.

4.4 Conclusies

Uit Tabel 4.3 blijken de volgende tekortkomingen in het beschikbare instrumentarium:

- modelconcepten voor tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen onder variërende afvoeren en ruimtelijke variaties;
- model voor schatting van uiterwaarderosie in 50 of 100 m brede stroken langs de bandijken;
- SOBEK: probabilistische of stochastische toepassingen;
- Delft3D-MOR: sedimentverdeling zomerbed-winterbed en op inlaatpunten van nevengeulen, sedimenttransport over steile hellingen (drempels, kribben, kades), interacties tussen vegetatie en sediment, tijdsafhankelijke ontwikkeling van beddingvormen, oevererosie en probabilistische of stochastische toepassingen.

Het volgende hoofdstuk plaatst deze geconstateerde tekortkomingen binnen een completer overzicht van beschikbare kennis en instrumentarium. Daarbij worden ook de in de Hoofdstukken 2 en 3 onderkende leemten in kennis en instrumentarium verwerkt. Op basis hiervan wordt in Hoofdstuk 6 een globaal onderzoeksprogramma voor rivierdynamica opgesteld.

5 Beschikbare kennis en instrumentarium

5.1 Productaanbod

5.1.1 Bestaand meetinstrumentarium

Tabel 5.1 geeft een overzicht van het bestaande meetinstrumentarium. Hierin is:

ADCP = Acoustic Doppler Current Profiler (gebaseerd op Doppler-effect van geluid)

AZTM = Akoestische Zand Transport Meter (gebaseerd op uitdoving en verstrooiing van geluid)

BTMA = Bodem Transport Meter Arnhem

Tabel 5.1: Bestaand meetinstrumentarium.

Verschijnselen	Grootheid	Meetmethode
hydraulica	stroomsnelheid	Ott-molens
		ADCP (3-D stroming in verticale vlak van raaien)
	stroomrichting (stroombeeld)	ADCP (3-D stroming in verticale vlak van raaien)
		HF radar (stroombeelden aan wateroppervlak)
	topografie van wateroppervlak (verhangen)	peilschalen
		verhanglijnen over boten
laseraltimetrie		
radaraltimetrie		
sediment-transport	bodemtransport	BTMA II
		HS
		single-beam sonar (dune tracking of gedrag van gebaggerde sleuf)
		multi-beam sonar (dune tracking of gedrag van gebaggerde sleuf)
	zwevend transport van bodemmateriaal	Delftse fles
		ADCP (concentraties)
		AZTM (concentraties)
spoeltransport	Delftse fles	
	ADCP (concentraties)	
bodem in zomerbed en kribzone	bodemtopografie (ook voor ruwheid)	single-beam sonar
		multi-beam sonar dwars
		multi-beam sonar langs
	bodemsamenstelling (korrelgrootte, uitzeving)	RoxAnn
		MEDUSA
	bodemgelaagdheid	seismisch in combinatie met boorprofielen
slibdikte met ISAC		
bodem in winterbed	bodemtopografie (hoogte, ruwheid)	laseraltimetrie
	bodemsamenstelling	boorprofielen met laboratoriumanalyse
	bodemgelaagdheid	seismisch in combinatie met boorprofielen
	winterbed-sedimentatie	slibmatten
	radiometrische datering (^{137}Cs)	

Verschijnselen	Grootheid	Meetmethode
vegetatie	vegetatieruwheid	laseraltimetrie
oeverligging	oeverligging	DGPS (snelle opname)
		luchtfoto's (vorm oeverafslag)
		high-resolution stereography (vorm en kubering van oeverafslag)

5.1.2 Huidig modelinstrumentarium

De eerste schatting van het effect van een herinrichtingsmaatregel zal gewoonlijk gebaseerd worden op een nuldimensionale beschouwing van de waterbeweging in een samengesteld dwarsprofiel. Dit leidt tot een overschatting van het effect van de maatregel, omdat men hierbij stuweffecten en morfologische veranderingen verwaarloost.

Tabel 5.2 geeft een overzicht van het huidige modelinstrumentarium. Het betreft hier alleen methoden die op kennis van fysische processen zijn gebaseerd, omdat het instrumentarium gebruikt moet worden voor de bepaling van het effect van, mogelijk drastische, ingrepen. Extrapolatie of volledige empirie schieten dan te kort. Binnen een op fysische proceskennis gebaseerde methode kan men overigens nog wel gebruik maken van empirische relaties, zoals sedimenttransportformules. Buiten beschouwing blijven echter de volledig empirische methoden zoals regiemvergelijkingen en neurale netwerken. In termen van de definitiestudie voor onderzoek naar de morfologische dynamiek van de Westerschelde (Stive et al, 1998) houdt deze afbakening in dat proces-georiënteerde modelleertechnieken worden verkozen boven data-georiënteerde modelleertechnieken.

Tabel 5.2 vermeldt tevens de tekortkomingen van de verschillende modellen. Het gaat daarbij om de fundamentele of inherente tekortkomingen, dus niet om de nog ontbrekende functionaliteit.

Tabel 5.2 maakt onderscheid tussen *generieke* vuistregels voor relaties tussen vorm en proces in het algemeen en *specifieke* vuistregels voor relaties tussen maatregelen en effecten in de Rijntakken. Voorbeelden van generieke vuistregels zijn:

- Oevererosie treedt op langs de buitenbocht van een rivier;
- Een nevengeul die uit een binnenbocht aftakt zandt sneller aan dan een nevengeul die uit een buitenbocht aftakt (Bulle-effect);
- Boven een (per rivier verschillende) kritieke waarde voor de sinusiteit kan een meanderbocht door natuurlijke processen worden afgesneden;
- Als twee riviertakken rond een eiland in lengte verschillen, zal de kortste tak groeien ten koste van de langere tak;
- Zand wordt op uiterwaarden afgezet in de zones waar water uit het zomerbed het winterbed instroomt en in zones aan het einde van een binnenbocht.

Voorbeelden van specifieke vuistregels zijn:

- Een nevengeul mag tijdens gemiddelde afvoer hooguit 3% van de afvoer aan het zomerbed onttrekken. Deze vuistregel is afgeleid uit het eveneens in Tabel 5.2 genoemde analytische model voor bodemlengteprofielen en een maximaal toelaatbare verhoging van de gemiddelde bodemligging in het zomerbed.

- De stroomsnelheid in een nevengeul moet tijdens gemiddelde afvoer ongeveer 0,3 m/s bedragen. Deze vuistregel volgt uit een overweging dat gedurende een groot deel van het jaar geen zandtransport in de nevengeul mag optreden.
- De uiterwaarden langs de Rijntakken slibben op met een snelheid van 2 mm/jaar. Op verlaagde uiterwaarden bedraagt de snelheid van opslibbing 10 à 20 mm/jaar.
- Na verwijdering van een zomerkade wordt tijdens hoogwaters zand op de uiterwaard afgezet in de zone waar het water uit het zomerbed het winterbed instroomt. Deze afzettingen vinden plaats binnen 50 m van het zomerbed als de uiterwaard niet uitzonderlijk laag is.

Het op zich populaire model SEDREDGE is bewust uit Tabel 5.2 weggelaten. WL | Delft Hydraulics adviseert om dit model niet meer te gebruiken maar in voorkomende gevallen Delft2D-Rivieren toe te passen.

Bijlage C geeft een nadere toelichting op de terminologie rond modellen.

Tabel 5.2: Huidig modelinstrumentarium en inherente tekortkomingen.

Model			Resultaten	Inherente tekortkomingen
omschrijving	dimensie en schaal	operationele vorm		
model voor waterbeweging in samengesteld dwarsprofiel	0-D meso (uiterwaard)	analytisch, formules (algebraïsch)	effect van maatregel op waterstanden	overschatting van effect door verwaarlozing van stuweffecten en morfologische veranderingen
generieke vuistregels voor relaties tussen vorm en proces	0-D macro (uiterwaard, traject)	woorden	locatie van oevererosie, ontwikkeling van riviertakken	geen kwantitatieve informatie
specifieke vuistregels voor relaties tussen maatregelen en effecten	0-D meso, macro (uiterwaard, traject)	woorden, formules (algebraïsch)	verlaging van MHW-standen en aanzanding in zomerbed door rivierverruiming	kwantitatieve informatie is slechts een benadering en leidt tot een conservatief ontwerp
formules voor lokale ontgrondingen	0-D meso (uiterwaard)	formules (algebraïsch, transcendentiaal)	diepte, lengte en tijdsafhankelijke ontwikkeling van lokale ontgrondingskuilen	
oevererosiemodel	0-D meso (uiterwaard)	numeriek: BEM	vervorming oeverprofiel in dwarsdoorsneden	
analytisch model voor bodemlengteprofielen	0-D mega (Rijntakken)	analytisch, formules (algebraïsch)	evenwichtsligging van lengteprofiel van zomerbed	onbekende sedimentverdeling op riviersplitsingen
				geen ruimtelijke patronen (2-DH)
				transport niet beïnvloed door versnellende, vertragende of spiraalvor-

Model			Resultaten	Inherente tekortkomingen
omschrijving	dimensie en schaal	operationele vorm		
				mige stromingen (3-D)
kwalitatief analytisch model voor initiële respons van bodemlengteprofielen	1-DH mega (Rijntakken)	grafisch	initiële erosie en sedimentatie van zomerbed na ingreep	onbekende sedimentverdeling op riviersplitsingen
				geen ruimtelijke patronen (2-DH)
				transport niet beïnvloed door versnellende, vertragende of spiraalvormige stromingen (3-D)
axiaalsymmetrisch model	1-DH meso (uiterwaard)	analytisch	evenwichtsligging van dwarsprofiel van bochten in zomerbed	geen dynamische effecten ten gevolge van situatie bovenstrooms (doorschot Struiksma et al, 1985)
lineair 1-D model	1-DH mega (Rijntakken)	analytisch	kenmerkende tijdschalen van morfologische respons, onderscheid tussen diffusiekarakter en golfkarakter	onbekende sedimentverdeling op riviersplitsingen
				geen ruimtelijke patronen (2-DH)
				transport niet beïnvloed door versnellende, vertragende of spiraalvormige stromingen (3-D)
geïntegreerd hydraulisch-morfologisch 1-D model	1-DH mega (Rijntakken)	numeriek: SOBEK	tijdsafhankelijke ontwikkeling van lengteprofiel en sediment-samenstelling (gegradeerd sediment) van zomerbed, researchversie met uiterwaardsedimentatie	sedimentverdeling op riviersplitsingen
				geen ruimtelijke patronen (2-DH)
				transport niet beïnvloed door versnellende, vertragende of spiraalvormige stromingen (3-D)
lineair 2-D model	2-DH macro (uiterwaard, traject)	analytisch	lengte, ruimtelijke demping, groeisnelheid, stabiliteit en migratie van banken, met bijbehorend morfologisch karakter: overkritisch gedempte banken, onderkritisch gedempte banken, wandelende alternerende banken, eilanden, vlechtende geulen	geen niet-lineaire effecten
				transport niet beïnvloed door versnellende of vertragende stromingen (3-D), wel door geparametriseerde effecten van spiraalstroming
zwak niet-lineair 2-D model	2-DH macro (uiterwaard, traject)	analytisch	hoogte van banken	geldig voor erg klein parameterbereik
geïntegreerd hydraulisch-morfologisch 2-D model	2-DH macro (uiterwaard, traject)	numeriek: Delft2D-Rivieren (≈ Delft3D-MOR)	tijdafhankelijke ontwikkeling van bodemtopografie en sedimentsamenstelling (gegradeerd sediment)	transport niet beïnvloed door versnellende of vertragende stromingen (3-D), wel door geparametriseerde effecten van spiraalstroming

Model			Resultaten	Inherente tekortkomingen
omschrijving	dimensie en schaal	operationele vorm		
				ijking van 2-DH stroming op basis van enkele gemeten lokale waterstanden legt de bijdragen van hydraulische ruwheid, horizontale turbulente viscositeit en spiraalstroomconvectie aan stromingsweerstand niet ondubbelzinnig vast
2-DV model voor stroming en zwevend sedimenttransport	2-DV meso (uiterwaard)	numeriek: SUTRENCH	tijdafhankelijke ontwikkeling van bodemtopografie (gebaggerde geul)	geen ruimtelijke patronen in horizontale vlak
2-DV model voor lokale ontgroningen	2-DV meso (uiterwaard)	numeriek: DUCT-SUSTRA	tijdafhankelijke ontwikkeling van bodemtopografie (ontgrondingskuil)	geen ruimtelijke patronen in horizontale vlak
geïntegreerd semi 3-D model voor waterbeweging en sedimenttransport	semi 3-D macro (uiterwaard, traject)	numeriek: Delft3D-FLOW, Delft3D-SED	sedimenttransport en initiële erosie en sedimentatie	transport niet beïnvloed door versnellende of vertragende stromingen (3-D), wel door geparametriseerde effecten van spiraalstroming ijking van 2-DH stroming op basis van enkele gemeten lokale waterstanden legt de bijdragen van hydraulische ruwheid, horizontale turbulente viscositeit en spiraalstroomconvectie aan stromingsweerstand niet ondubbelzinnig vast
vertrokken schaalmodel	2-DH macro (uiterwaard, traject)	fysiek	tijdafhankelijke ontwikkeling van bodemtopografie	schaaleffecten
3-D model voor stroming en zwevend transport	3-D meso (uiterwaard)	numeriek: CFX	gedetailleerde stroming en zwevend sedimenttransport	voor grote gebieden zeer grote rekestijden, omdat horizontale afmetingen van rekenrooster een fractie van de waterdiepte moeten zijn
onvertrokken schaalmodel	3-D meso (uiterwaard)	fysiek	lokale ontgroningen	schaaleffecten

Veel specifieke kennis over het morfologische gedrag van de rivier bevindt zich in de hoofden van riviermeesters, kantonniers en opzichters van dienstkringen. Deze kennis zou

men ook tot het bestaande modelinstrumentarium kunnen rekenen. Op dit moment spelen riviermeesters, kantonniers en opzichters geen formele rol in het voorspellen van morfologische effecten. Hun kennis en ervaring is ook niet vastgelegd in kennisbanken of formele beslisregels. Deze kennis is daarmee moeilijker toegankelijk en gaat ook gemakkelijker verloren.

Relevant is tenslotte nog de keuze tussen een numeriek computermodel of een fysiek schaalmodel. In het algemeen kan men stellen dat computermodellen gebruikt worden voor grotere gebieden dan schaalmodellen. Computermodellen geven dan meer het globale gedrag weer, terwijl schaalmodellen meer gedetailleerde informatie leveren (Jansen et al, 1979, p.249). Doordat computers echter steeds krachtiger worden, breidt het toepassingsgebied van computermodellen zich meer en meer uit naar detailverschijnselen. Op dit moment zijn de ontwikkeling van het bodemlengteprofiel van een rivier en de scheve ligging van de bodem in een rivierbocht typische vraagstukken waarvoor men computermodellen gebruikt, terwijl men schaalmodellen toepast voor 3-D stroombeelden, ontgrondingen bij constructies en sedimentuitwisseling tussen rivieren en havens. Soms past men een hybride modellering toe, waarbij een computermodel van een groter gebied de randvoorwaarden levert voor een schaalmodel. Ook computermodellen met een verschillende mate van detail kunnen zo gecombineerd worden (“nesting”).

Voor complexe problemen waarbij verschillende processen een rol spelen, zijn computermodellen in theorie krachtiger, omdat in schaalmodellen de schaal effecten dan meestal niet meer in de hand te houden zijn. Voor veel processen en verschijnselen zijn er echter nog geen goede beschrijvingen in computermodellen ingebouwd, zodat schaalmodellen het in de praktijk ook voor complexe problemen nog vaak zullen winnen van computermodellen.

De Vries et al (1990) en de Vries (1993) noemen verder de beschikbaarheid van laboratoriumfaciliteiten en software, de benodigde nauwkeurigheid, de met de beschikbare prototype-gegevens haalbare nauwkeurigheid, de ervaring met bepaalde typen modellen en de kosten als punten die de keuze tussen schaalmodellen en computermodellen bepalen. In Nederland zijn faciliteiten en ervaring nog voor beide typen modellen aanwezig.

5.1.3 Huidige geschiktheid van meet- en modelinstrumentarium

De overzichten van het productaanbod in de vorige subparagrafen zijn vooral gericht op de algemene functionaliteit, minder op de mate waarin de instrumenten voorzien in de vraag ten aanzien van de morfologische effecten van herinrichting. Ook de infrastructuur die nodig is voor een doelmatige inzet van het instrumentarium blijft buiten beschouwing. Daarom worden de instrumenten in Tabel 5.3 nog eens vanuit deze gezichtspunten bekeken. Hierbij moet worden aangetekend dat deze tabel uitsluitend de gereedschappen betreft die direct worden ingezet bij de bepaling van morfologische effecten van herinrichting. Onderzoeksgereedschappen, zoals laboratoriumfaciliteiten, zijn hier niet vermeld.

Tabel 5.3: Geschiktheid gereedschappen en beschikbaarheid infrastructuur.

Gereedschap	Gebruiksdoel	Fase	Operationaliteit	
globale kennis riviergedrag	algemeen perspectief op realiteitsgehalte van initiatief	1	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> respons laagwaterbed uiterwaarden, nevengeulen grootschalige respons Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> impliciete ervaringskennis tekstboeken, rapporten leidraad rivierinrichting 	+ ± ± + ± -
gegevens / GIS	onderbouwende informatie hydraulisch-morfologisch gedrag	alle	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> monitoringsgegevens morfologie 	+
	inventarisatie processen, karakterisering, logische indeling	3b	<ul style="list-style-type: none"> procesgegevens normale situaties procesgegevens extreme situaties 	+ ±
	identificatie risico-locaties	3d	<ul style="list-style-type: none"> geologische gegevens Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> dataverwerkingssystemen centrale databank operationeel GIS-systeem 	? + + +
vuistregels	morfologische aandachtspunten	2	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> generiek specifiek overig (onder andere kosten) Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> impliciete ervaringskennis tekstboeken, rapporten leidraad rivierinrichting 	+ + ? + ± -
	hydr-morf effecten van maatregelen	3b		
	consequenties voor uiterwaarden	3c		
	consequenties voor beddingvormen	3c		
	belasting, stabiliteit constructies	3d		
	effecten uitvoeringsfasen	5		
indicatoren	inventarisatie relevante processen	3b	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> hydr.-morfologische processen hydr.-morfologische respons beheer en onderhoud Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> overeengekomen definities bepalingsmethoden normstelling 	± ± ? ? - -
	hydr-morf effecten van maatregelen	3b		
	interventieniveaus en -frequenties	4		
	monitoring en evaluatie voor B&O	7		
empirische verbanden	inventarisatie huidige situatie	3b	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> hoogwatergolven sedimenttransport, beddingvormen lange-termijn effecten morfologie Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> duur- en betrekkinglijnen transport- en ruwheidsvoorspellers leidraad rivierinrichting 	+ ± - + ± -
	gedrag beddingvormen	3c		
schaalmodellen	respons in complexe situaties	3d		
	lokale ontgroning constructies	3d		
analytische modellen	hydr-morf effecten van maatregelen	3b	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> hoogwatergolven (lineair) evenwicht lengteprofiel axiaalsymmetrisch bochtprofiel morfologie lengteprofiel bankenmodel (lineair) Beschikbaarheid infrastructuur:	+ + + + +
	belasting, stabiliteit constructies	3d		

Gereedschap	Gebruiksdoel	Fase	Operationaliteit	
			<ul style="list-style-type: none"> • tekstboeken, dictaten • formule-bestand op CD-rom • leidraad rivierinrichting 	+ ? -
1-D numerieke modellen (SOBEK)	hydr-morf effecten van maatregelen	3b	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> • deterministische toepassingen • IVR-instrumentarium • probabilistische toepassingen • morfologie splitsingspunten • dynamische ruwheid • gegradeerd sediment • systematische confrontatie met data Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> • gebruiksklare software • ervaren toepassers • gevalideerde modellen Rijntakken • operationele Monte-Carlo schil • gevalideerde splitsingspuntrelatie • gevalideerde ruweidsvoorspeller • SOBEK-graded • inverse modellering 	+ + - ± ± ?
	consequenties laagwaterbed	3c		
	langjarige en grootschalige toetsing	3d		
	toetsing MHW volledige zichtduur	3d		
	optimalisatie uitvoeringsvolgorde	5		
	confrontatie gemeten ⇔ voorspeld	7		
2-DH waterbewegingsmodellen (WAQUA)	hydraulische effecten maatregelen	3b	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> • hoogwaterberekeningen • ruwheid vegetatie, etc. • dynamische ruwheid • sedimentbeweging • verkenning lange-termijn effecten • systematische confrontatie met data Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> • gebruiksklare software • ervaren en deskundige toepassers • gevalideerde modellen Rijntakken • gevalideerde ruweidsvoorspeller • sedimenttransport-module • bodemschematisatie uit SOBEK • inverse modellering 	+ ± ? ? ? ?
	afvoerverdeling, stroombeelden, etc. in extreme condities	3c		
	hydraulische effecten ontwerpfasen	3d		
	interventieniveaus en -frequenties	4		
	mogelijkheden beïnvloeding	4		
	confrontatie gemeten ⇔ voorspeld	7		
	controle-berekeningen MHW	3d,7		
2-DH / 3D morfologische modellen (Delft3D-MOR)	morfologische effecten ontwerpfasen	3d	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> • geforceerde morfologische respons • vrij morfologisch gedrag • lokale morfologische respons • systematische confrontatie met data • onzekerheidsanalyse Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> • gebruiksklare software • ervaren en deskundige toepassers • gevalideerde modellen Rijntakken • inverse modellering • probabilistische toepassing 	+ ± ± ? -
	belasting, stabiliteit constructies	3d		
	mogelijkheden beïnvloeding	4		
	optimalisatie uitvoeringsvolgorde	5		
	confrontatie gemeten ⇔ voorspeld	7		
meetsystemen: meetcampagnes	huidige processen	3	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> • proces-gerichte campagnes • hoogwater-campagnes Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> • meettechnieken lokaal • meettechnieken synoptisch 	+ + + ±
	waterstandsontwikkeling bij HW	7		
	stromingspatronen, ook bij HW	7		

Gereedschap	Gebruiksdoel	Fase	Operationaliteit	
			<ul style="list-style-type: none"> • meetfaciliteiten + staf • campagneplannen 	+ ?
meetsystemen: monitoring	morfologie	7	Gereedheid voor gebruiksdoelen: <ul style="list-style-type: none"> • monitoring normale condities • monitoring hoogwatercondities • vegetatie-monitoring Beschikbaarheid infrastructuur: <ul style="list-style-type: none"> • meettechnieken lokaal • meettechnieken synoptisch • meetfaciliteiten + staf • monitoringplan 	+ ? ? + ± + ?
	vegetatie	7		

5.2 Kennisaanbod

5.2.1 Algemeen

Het aanbod van generieke kennis resideert in de hoofden van mensen (impliciete kennis) en in formele kennisdragers, zoals databanken, leidraden, regels, empirische verbanden en modellen (expliciete kennis). De meeste van deze kennisdragers zijn in het geval van de Nederlandse rivieren tamelijk goed ontwikkeld, met uitzondering wellicht van leerboeken (we werken nog steeds met Jansen et al, 1979) en een leidraad rivierinrichting. Bijna per definitie is de toetsing van die kennis onder extreme omstandigheden echter mager, waardoor voorspellingen voor maatgevende condities met flinke onzekerheden behept zijn. Het inzichtelijk maken en kwantificeren van deze onzekerheden is een nog slechts gedeeltelijk ontgonnen terrein.

Binnen het fysische domein stoelt generieke rivier(waterbouw)kundige kennis op kennis van de waterbeweging, de sedimentbeweging, de morfologie en de interactie met constructies.

5.2.2 Waterbeweging

Voor het voorspellen van de globale waterbeweging (waterstanden, debietverdeling, gemiddelde stroomsnelheden) zijn krachtige hulpmiddelen beschikbaar, in de vorm van operationele en voor zover mogelijk gevalideerde 1-D (SOBEK) en 2-DH (WAQUA) modellen van de Nederlandse rivieren. De voorspellende waarde van deze modellen wordt vooral beperkt door onzekerheden in het voorspelde afvoerproces en in de ruwheid van het laagwaterbed, de uiterwaarden en obstakels (b.v. kribben). Deze ruwheden zijn alle drie dynamisch, in die zin dat ze afhankelijk zijn van de lokale hydraulische condities en dus in feite via een dynamische ruwheidsmodule in het model moeten worden meegenomen in plaats van als externe invoerparameter.

In het verlengde van deze ruwheidsmodellering ligt de vraag hoe de effecten van lokale fenomenen (b.v. grootschalige wervels) en ingrepen (b.v. kribverlaging of vegetatiebeheer) vertaald kunnen worden naar globale modellen (b.v. een 1-D SOBEK-model). De weg van

aggregatie van resultaten van kleinschaliger modellen of metingen is daarbij nog onvoldoende verkend.

De kennis van de waterbeweging op uiterwaardschaal of mesoschaal (kribvakken, menglagen, overgang laagwaterbed-uiteerwaard) is nog volop in ontwikkeling. Large Eddy Simulation (LES), 3-D turbulentie-gemiddelde stromingsberekeningen en zelfs Direct Numerical Simulation (DNS) zijn daarbij welkome onderzoekshulpmiddelen. De software voor deze typen modellen is gereed voor gebruik, het wachten is op gelegenheden voor systematische confrontatie met experimenten en metingen in praktijksituaties.

In de praktijk van de hoogwaterberekeningen (b.v. ter bepaling van MHW-standen) is er nog weinig aandacht voor de vraag welke eigenschappen van de rivier (knelpunten, ruwheidscomponenten, ruimte voor berging, etc.) bepalend zijn voor het MHW-niveau op een bepaalde locatie. Inverse modellering, het hulpmiddel bij uitstek voor het beantwoorden van dit type vragen, wordt in dit kader nog nauwelijks toegepast. Toch zou een beheerder dienen te weten wat de kritieke elementen in “zijn” rivier zijn, ook als de meest voor de hand liggende knelpunten zijn opgeheven, en hoe hij de rivier het best “in vorm” kan houden voor het verwerken van een maatgevend hoogwater.

5.2.3 Sedimentbeweging

De gebruikelijke globale sedimenttransportmodellen (bodemtransport, totaaltransport, bodemrandvoorwaarde voor suspensie-concentratie) beschrijven het transport als betref het een quasi-uniforme, quasi-stationaire situatie, dat wil zeggen gemiddeld over turbulentie, grootschalige structuren in de waterbeweging, beddingvormen, korrelgroottevariaties, etc. Zulke transportmodellen zijn dan ook moeilijk aan directe transportmetingen in de praktijk te toetsen. Niet alleen is de meettechniek onnauwkeurig en is er zelden sprake van een globaal uniforme situatie, er zijn ook grote aantallen metingen nodig om bovengenoemde, kleinschalige variaties uit te kunnen middelen. In plaats van deze directe toetsing neemt men daarom veelal zijn toevlucht tot toetsing aan gegevens uit gootexperimenten (onder stationaire en globaal uniforme condities) en afregeling aan de hand van globale riviereigenschappen (b.v. verhang). Als gevolg van deze gebrekkige toetsing zijn de huidige transportmodellen behept met een grote onnauwkeurigheidsmarge (afgezien nog van de onzekerheid in de invoerparameters).

Naarmate er meer kennisvragen in de richting van instationaire, niet-uniforme situaties gaan (sedimentuitwisseling met kribvakken, uitwisseling met uiterwaarden, sedimentverdeling bij splitsingspunten), zal er meer aandacht besteed moeten worden aan de beschrijving van het transport op micro- en mesoschaal. De intrinsieke koppeling tussen transport en beddingvormen vereist, dat beide in onderling verband worden onderzocht. Het aanbod van generieke kennis op dit punt is nog uiterst beperkt, maar recente ontwikkelingen in de waterbewegingsmodellering (onder andere DNS met sediment) bieden hier nieuwe perspectieven.

De niet-uniformiteit op deze schaalniveaus betreft ook de korrelgrootte. Het transport van gegradeerd materiaal zal beschreven moeten worden, inclusief effecten als korrelblootstelling (*hiding / exposure*), ruimtelijke segregatie (horizontaal en vertikaal), invloed op beddingvormen en ruwheid, etc. In het geval van de de benedenrivieren is verder ook het

effect van het voorkomen van zand-slibmengsels aan de orde (b.v. het effect op de erodeerbaarheid). Het huidige onderzoek op dit gebied levert veel nieuwe proceskennis op, maar deze is nog niet vertaald in robuuste modelconcepten.

5.2.4 Morfologie op meso- en macroschaal

Een alluviale rivier vertoont in principe twee typen morfologisch gedrag:

1. geforceerd gedrag, opgelegd door externe factoren (b.v. kribvlammen, ontgrondingskuilen, bodemligging rond bochten, “autonome” bodemdaling);
2. vrij gedrag, dat niet is terug te voeren tot externe factoren (b.v. duinen, alternerende banken, meanderen en vlechten).

De huidige kennis richt zich van oudsher op het geforceerde gedrag. Op macro- en megaschaal is deze kennis vastgelegd in modelsystemen (SOBEK, Delft3D-MOR), die, mits in handen van deskundige gebruikers en goed afgeregeld, bevredigende resultaten opleveren. Op basis van dergelijke modellen, in combinatie met onderzoek van monitoringsgegevens, begint ook een beeld te ontstaan van de tijdschalen die met dit type morfologische respons samenhangen. Daarmee ontstaat ook inzicht in de rol van afvoervariaties hierbij. Inzicht *a priori* in de rol van afvoervariaties is van belang, omdat een probabilistische benadering via Monte-Carlo simulatie zeer rekenintensief is en op dit moment eigenlijk alleen doenlijk met 1-D modellen. Zolang er geen goede alternatieven voor Monte-Carlo simulatie beschikbaar zijn, moet men alleen een probabilistische benadering kiezen als er gereede aanleiding is om aan te nemen dat afvoervariaties (en eventuele andere onzekerheidsbronnen) van belang zijn voor de uit dergelijke studies te trekken conclusies.

Op lokale schaal is de kennis met betrekking tot geforceerd morfologisch gedrag vooral neergelegd in empirische formules voor ontgrondingskuilen en oevererosie, maar nog veel minder in voorspellende modellen. Recent onderzoek naar waterbeweging en sedimenttransport in kribvakken levert hoopgevende resultaten, maar is nog niet toe aan voorspellende modellering.

Het operationele kennisaanbod op het gebied van het vrije morfologische gedrag is aanmerkelijk geringer. Er bestaat een solide theoretische basis (onder andere via de Nederlandse en Italiaanse “scholen” in de morfodynamische stabiliteitsanalyse), die getoetst is aan laboratoriumexperimenten, maar veel minder aan praktijksituaties.

De ontwikkeling van een theoretisch duingroei-model (DUGRO) is destijds stopgezet, maar zou op basis van de destijds verkregen meetgegevens, recente multibeam-data en nieuwe ontwikkelingen in de modellering van complexe turbulente stroming weer kunnen worden opgepakt (zie Paragraaf 5.2.3). Kennis met betrekking tot de ontwikkeling van beddingvormen als functie van de hydraulische omstandigheden is vooral van belang uit een oogpunt van resulterende effecten op ruwheid en sedimenttransport. Daarbij moet worden opgemerkt, dat onder normale afvoercondities de scheepvaart grote invloed kan uitoefenen op de ontwikkeling van beddingvormen. Wellicht is dat de reden waarom de beddingvormen in de Waal niet voldoen aan de bekende empirische relaties tussen duinhoogte en waterdiepte.

De ontwikkeling van kennis met betrekking tot vrij gedrag op grotere schaal stopt momenteel, omdat alternerende banken en vrije meanders op dit moment in de Nederlandse rivieren niet of nauwelijks voorkomen, waardoor er geen prototype-gegevens zijn waaraan modellen zouden kunnen worden getoetst. Omdat bij een andere inrichting van de rivieren de situatie zou kunnen veranderen, moet men toch alert blijven op de mogelijkheid van voorkomen van met name alternerende banken. Het theoretische kennisaanbod op dit punt is momenteel voldoende. In Boertien-2 (Waterloopkundig Laboratorium, 1994) is dit vertaald naar indicatoren, die ook ten grondslag liggen aan het rivierclassificatie-diagram van Schoor et al (1999). Aanvullende stappen voor de vertaling naar praktische indicatoren moeten echter nog gezet worden.

5.2.5 Grootschalige morfologie

De “autonome” bodemdaling na de normalisatiewerken in de negentiende eeuw heeft geleerd, dat de grootschalige morfologische respons op het geheel van inrichtingsmaatregelen de nodige aandacht behoeft. De daarvoor benodigde proceskennis is grotendeels aanwezig, met name waar het gaat om het lengteprofiel van het laagwaterbed in een riviertak. De voorspelling van de randvoorwaarden (afvoer, bovenstroomse sedimentaanvoer, laterale bronnen en putten, benedenstroomse waterstanden en waterbeweging) gaat echter gepaard met grote onzekerheden. Kennis, *know-how* en instrumenten voor het zichtbaar maken en kwantificeren van de rol van deze en andere onzekerheden in de lange-termijn voorspelling van de morfologische respons zijn nog onvoldoende ontwikkeld.

De verdeling van de sedimentstroom over de riviertakken is van belang voor de langjarige morfologische ontwikkeling, en daarmee voor de ontwikkeling van de waterverdeling over de takken, de afvoercapaciteit en de grootschalige onderhoudsbehoefte per tak. De huidige kennis op dit punt is onvoldoende, ook waar het gaat om scheiding naar korrelgrootte en om de vertaling naar splitsingspuntrelaties in 1-D modellen.

De recente hoogwaters in de Rijntakken hebben laten zien, dat de sedimentflux naar de uiterwaarden aanzienlijk kan zijn. Sediment dat in de uiterwaarden wordt vastgelegd, wordt onttrokken aan de rivier (zand) of aan de sedimentafvoer benedenstrooms (slib). Bij toename van de frequentie van overstromen van de uiterwaarden, bijvoorbeeld door waardverlaging, kan deze onttrekking merkbare gevolgen hebben voor de grootschalige morfologie, bijvoorbeeld via het globale bodemverhang. De huidige kennis met betrekking tot processen van uitwisseling, erosie, depositie en vastlegging (vegetatie!) in de uiterwaarden zal moeten worden uitgebreid om hierover kwantitatieve uitspraken te kunnen doen.

5.2.6 Interacties met constructies

Er is sprake van een wederzijdse invloed tussen constructies en de rivier. De krachten op een constructie en de morfologie er omheen worden bepaald door stromings- en transportprocessen in de rivier, maar deze worden op hun beurt beïnvloed door de constructie. Als constructies op grote schaal aanwezig zijn, zoals kribben, zal er ook een grootschalig effect zijn.

Kennis met betrekking tot de waterbeweging rond constructies is volop in ontwikkeling (b.v. in het kader van kribvakonderzoek), maar moet nog neerslaan in praktisch bruikbare hulpmiddelen. De kennis met betrekking tot sedimenttransport en morfologie rond constructies moet verder worden uitgebouwd.

5.2.7 Kennis in Duitsland

Hoewel dit eigenlijk geen onderdeel van de opdracht was, werd tijdens de interviews ook gevraagd naar ingangen om relevante kennis in Duitsland te ontsluiten. Dit leverde de volgende informatie, zonder pretentie van volledigheid:

- Project IRMA-Sponge. Pieter Brolsma van Rijkswaterstaat-HK zit in Stuurgroep IRMA (Europese subsidieregeling voor rivierverruiming). IRMA-secretariaat Jaqueline Lamén. Coördinator namens NCR: Ad van Os. Projectleider cyclische verjonging van uiterwaarden bij WL: Harm Duél. Samenwerking met Aueninstituut van Wereldnatuurfonds in Rastatt en Technische Universiteit Stuttgart.
- Veel morfologisch onderzoek wordt momenteel verricht in het kader van het Verbundprojekt “Morphodynamik der Elbe”.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. Bijvoorbeeld Emil Gölz, Benno Dröge.
- Universiteit Karlsruhe. Directeur Theodor Rehbock-Laboratorium: Franz Nestmann. Onderzoek naar transport van gegradeerd sediment: Andreas Dittrich.
- De universiteiten van Hannover en Karlsruhe verrichten onderzoek naar kribben.
- Internationale Hydrologische Commissie van de Rijn: CHR. Contactpersoon bij RIZA: Emiel van Velzen.
- Handboek over natuurherstel langs rivieren door Klaus Kern (1994).
- Landgebruik in relatie tot erosie (sedimentproductie) is voorwerp van studie binnen LUCIFS, Des Walling. Contactpersoon bij WL: Nathalie Asselman. In Duitsland is veel gemeten, maar de metingen zijn niet of nauwelijks geanalyseerd.
- Jens Reuber van Rijkswaterstaat Directie Limburg en Tillmann Baur van WL zijn beiden verbonden geweest aan de Technische Hogeschool van Aken, Vakgroep Waterbouwkunde en Waterbeheer. Deze vakgroep is ook betrokken bij rivierkundig onderzoek.
- Inventarisatie van natuurontwikkelingsprojecten langs onder meer rivieren in Duitsland: Vanhemelrijk & Paalvast (1997).

6 Onderzoeksprogrammering

6.1 Behoeft productontwikkeling

Vergelijking van vraag (Hoofdstukken 2, 3 en 4) en aanbod (Hoofdstuk 5) leert, dat er behoefte is aan productontwikkeling op de volgende punten:

- algemene rivierkundige kennis beter vastleggen en toegankelijk maken, b.v. via een Leidraad Rivierinrichting;
- GIS verder integreren in monitoring, beheer en onderhoud;
- het gebruik van indicatoren bij inrichting, monitoring, beheer en onderhoud van rivieren verder ontwikkelen en invoeren;
- specifieke vuistregels afleiden (b.v. marginale verwerkingscapaciteit van extra hoogwaterafvoer per Rijntak) en eenvoudige gedragsmodellen uit data en modelresultaten (b.v. met behulp van neurale netwerken) systematisch onderzoeken en uitwerken;
- methoden voor onzekerheidsanalyse en probabilistische voorspelling van riviergedrag op diverse ruimte- en tijdschalen ontwikkelen en implementeren;
- het 1-D morfologische modelinstrumentarium (SOBEK) verder ontwikkelen op het punt van splitsingspuntrelaties;
- het 1-D en 2-D instrumentarium verder ontwikkelen op de punten dynamische ruwheid en gegradeerd sediment;
- het 2-D instrumentarium verder ontwikkelen (zo nodig in richting 3-D) ten behoeve van beschrijving en voorspelling van lokale effecten van constructies en ingrepen;
- methoden voor systematische confrontatie van modelresultaten en meetgegevens (objectieve vergelijking, systematische calibratie, data-assimilatie) operationeel maken en implementeren;
- methoden voor gevoeligheidsonderzoek (b.v. inverse modellering) en globale optimalisatie (b.v. genetische algoritmen) operationeel maken en implementeren;
- synoptische meet- en monitoringstechnieken (van onder meer stroombeelden en sedimentconcentraties) verder ontwikkelen en implementeren;
- plannen voor meetcampagnes en monitoringprogramma's onder normale en hoogwatercondities concretiseren en operationeel maken.

Het moge duidelijk zijn, dat de behoefte aan productontwikkeling niet alleen de operationalisering van geavanceerde hulpmiddelen (b.v. numerieke modellen) betreft, maar ook het beschikbaar en toegankelijk maken van kennis en informatie voor niet-gespecialiseerde gebruikers.

6.2 Nieuw te ontwikkelen kennis

6.2.1 Kennisontwikkelingsbehoefte

Op grond van het voorgaande kan de behoefte aan kennisontwikkeling als volgt worden samengevat.

Tabel 6.1: Behoefte aan kennisontwikkeling (T = theorievorming, V = validatie, P = prototype-toepassing, O = operationalisering, D = disseminatie; de grijstinten geven aan waar het accent ligt).

Onderwerp	Facet	Ontwikkelingsfase				
		T	V	P	O	D
waterbeweging	ruweheidsvoorspelling bodem laagwaterbed					
	ruweheidsvoorspelling uiterwaarden					
	ruweheidsvoorspelling constructies en obstakels					
	vertaling lokaal \Rightarrow globaal					
	lokale stromingspatronen					
	inverse modellering					
sedimentbeweging	globale modellen					
	lokale modellen + beddingvormen					
	sedimentverdeling op splitsingspunten					
	gegradeerd materiaal					
morfologie op meso- en macroschaal	duinvorming					
	lokale ontgroning					
	effecten op macroschaal van inrichtingsmaatregelen					
	tijdschalen van processen op macroschaal					
	vrij gedrag op macroschaal					
grootschalige morfologie	onzekerheden in voorspellingen					
	sedimentverdeling op splitsingspunten					
	interactie met uiterwaarden					
interactie met constructies	lokale ontgroning bij constructies					
	sedimentuitwisseling kribvakken					
	grootschalige effecten					

De inschatting van de ontwikkelingsfasen waarop het accent moet komen te liggen is sterk afhankelijk van het gekozen perspectief (korte-termijn product-gericht of lange-termijn strategisch gericht).

6.2.2 Bijdrage aan rivierkundig kennispotentieel

Zoals eerder is aangegeven, is voor de diverse fasen van het herinrichtingsproces een hoeveelheid rivierkundige kennis met bijbehorende gereedschappen nodig. Deze kennis is onder te verdelen in de volgende elementen:

- globale rivierkundige kennis (hoe werken rivieren van dit type in het algemeen ?);
- feiten en gegevens;
- specifieke rivierkundige kennis (hoe zitten de Rijntakken in elkaar ?);
- voorspellend vermogen (kwantitatief, inclusief onzekerheden).

Hierbij kunnen de volgende schaalniveaus worden onderscheiden:

- stroomgebied;
- Rijntakken (grootschalige herinrichting);
- riviertraject (aantal aaneengesloten inrichtingsprojecten);
- uiterwaard (enkel inrichtingsproject);
- obstakels en constructies.

De nieuw te ontwikkelen kennis moet vooral bijdragen aan de vergroting van ons voorspellend vermogen. Het expliciet omgaan met onzekerheden is daarbij een tamelijk nieuw en vernieuwend element. In de loop van het onderzoek zullen echter ook nieuwe gegevens worden verzameld en zal er algemene en specifieke rivierkundige kennis ontstaan. Deze moet uiteraard zo goed mogelijk worden “afgevangen”. Voor het daartoe benodigde communicatieproces (vraagarticulatie, vertaling van wetenschappelijke naar praktisch bruikbare kennis, efficiënte overdracht van die kennis, terugmelding en evaluatie van ervaringen) zal expliciet tijd en geld moeten worden uitgetrokken.

Tabel 6.2 laat zien hoe de in Tabel 6.1 aangegeven kennisontwikkeling zal leiden tot uitbreiding van de kennis op elk van de schaalniveaus. Daarbij zijn de riviertrajectschaal en de uiterwaardschaal samengenomen.

Tabel 6.2: Kennisuitbreiding per schaalniveau.

	stroomgebied	Rijntakken	riviertraject uiterwaard	obstakels en constructies
<i>waterbeweging</i>				
ruwheidsvoorspelling	hoogwatergenese	debietverdeling bij extreem hoogwater	MHW-voorspelling, morfologie	effect op weerstand, morfologie
lokaal ⇒ globaal	grootschalige effecten van herinrichting	debietverdeling bij extreem hoogwater, morfologie	effecten kaden, obstakels, kribben, etc.	netto effect op waterstand en morfologie
lokale stromingspatronen		sedimentverdeling splitsingspunt	in- en uitstroming nevengeulen	ontgroning, wervels, neren, effect scheepvaart
inverse modellering	kritische elementen bij hoogwatergenese	kritische elementen voor debietverdeling	kritische elementen voor hoogwaterstanden	vormgeving constructies (?)
<i>sedimentbeweging</i>				
globale modellen	sedimentaansvoer	sedimentverdeling	sedimenthuishouding uiterwaarden, nevengeulen	sedimenthuishouding kribvakken
lokale modellen + beddingvormen			invloed dynamische ruwheid, <i>dune tracking</i>	sedimenttransport bij steile hellingen en obstakels
sedimentverdeling op splitsingspunten		bepalende factoren	sediment-import in nevengeulen	
gegradeerd materiaal	sedimentaansvoer naar korrelgrootte	transportcapaciteit, sedimentverdeling bij splitsingen, <i>downstream fining</i>	afpleistering, dynamische pleisterlagen, sedimentatie in uiterwaarden	afpleistering ontgrondingskuilen, sedimenthuishouding kribvakken, sortering door beddingvormen

	stroomgebied	Rijntakken	riviertraject uiterwaard	obstakels en constructies
<i>morfologie op meso- en macroschaal</i>				
duinvorming	zie dynamische ruwheid	zie dynamische ruwheid	netto effecten op stromingsweerstand en sedimenttransport	groei, migratie, demping, sedimentsoortering, invloed scheepvaart
lokale ontgroning			sedimentatie en erosie bij koppen van nevengeulen	ontgroning bij constructies, morfologie rond kribben
effecten op macroschaal van inrichtingsmaatregelen		effecten op vaargeul-onderhoud	morfologische ontwikkeling nevengeulen, effectiviteit van vaargeulonderhoud	
tijdschalen van processen op macroschaal	monitoringsprogramma	monitoringsprogramma	kader beheers- en onderhoudsmaatregelen	
vrij gedrag op macroschaal		meanderen, vlechten	alternerende banken, "vrij-gemaakte" bodemgolven	
<i>grootschalige morfologie</i>				
onzekerheden in voorspellingen	hoogwatergenese, morfologische effecten "vasthouden"	"autonome" bodemdaling en bodemstijging	onzekerheden in MHW-standen onder invloed van onzekerheden morfologie	ontgrondingsdiepte, dynamische ruwheid
sedimentverdeling op splitsingspunten		interactie met morfologie in de takken	morfologie in en rond nevengeulen	
interactie met uiterwaarden		grootschalige sedimenthuishouding, "autonome" effecten van waardverlagen	sedimentuitwisseling laagwaterbed ⇔ uiterwaard, rivierduinvorming	sedimentuitwisseling via kribvakken
<i>interactie met constructies: zie rechterkolom van deze tabel</i>				

We moeten erop toezien dat de nieuw ontwikkelde kennis terecht komt in zoveel mogelijk gereedschappen. Dat wil zeggen dat deze niet alleen verwerkt wordt in Delft3D-MOR, WAQUA of SOBEK, maar ook doorwerkt in bijstelling of betere onderbouwing van de andere gereedschappen.

6.3 Onderzoeksplanning

6.3.1 Ratio onderzoeksprogrammering

In het voorgaande is reeds sprake van verschillende typen kennis:

- feitenkennis (gegevens, systeembeschrijvingen);

- operationele, direct praktisch inzetbare kennis met een relatief nauw toepassingsgebied (*know-how*, empirische kennis, operationele modellen);
- funderende kennis, niet direct operationeel inzetbaar, maar met een breed toepassingsgebied (theorie, proceskennis, onderzoeksmodellen).

De generatie van elk van deze typen kennis heeft haar eigen karakteristieken in termen van tijdschaal, type onderzoeker, benodigde hulpmiddelen, onderzoekscondities, institutionele kaders en financieringskaders. Zo zal de tijdschaal van generatie van feitenkennis ongeveer gelijk zijn aan de duur van de observatieperiode, maar die van nieuwe funderende kennis aan ongeveer de duur van enkele promotietrajecten. Tabel 6.3 is een poging tot karakterisering (uiteraard is de werkelijkheid complexer).

Tabel 6.3: Generatie-karakteristieken van verschillende vormen van kennis.

Karakteristiek	Type kennis		
	feiten en getallen	operationele kennis	funderende kennis
tijdschaal	duur van verschijnsel	enkele jaren	5-10 jaar
type onderzoeker	waarnemer	practicus	theoreticus
hulpmiddelen	gegevens meetapparatuur infrastructuur meetplannen	feiten en getallen funderende kennis modelsystemen	theoretisch kader modeltechnieken laboratoriumfaciliteiten meetgegevens
onderzoekscondities	actiegericht (data binnenhalen als het moment daar is)	nauw contact met onderzoekers en gebruikers	gericht op creatieve vernieuwing en kritische reflectie
institutioneel kader	meetdienst	GTI TWD	universiteit GTI
financieringskader	Rijkswaterstaat	gebruikers (overheid, sector)	kennisprogramma's

Daarnaast moet kennis van de ene categorie naar de andere worden overgedragen, hetgeen als afzonderlijke onderzoeksinspanning moet worden onderkend en behandeld.

Datzelfde geldt voor de overdracht naar de verschillende partijen die kennis gebruiken. Daarbij is sprake van diverse kenniscycli, zoals

universiteit – GTI – specialistisch ingenieursbureau – beleidsadviseur – bestuurder
 universiteit – GTI – ontwerpend ingenieursbureau – ontwerper – bouwer – gebruiker
 universiteit – GTI – TWD – regionale directie / beheerder

waarbij informatie-overdracht in beide richtingen van essentieel belang is. Vanuit de praktijk is er een dringende vraag naar versnelling van deze kenniscycli, dat wil zeggen dat de tijd die verstrijkt tussen het eerste idee en de robuuste toepasbaarheid voor anderen aanmerkelijk verkort wordt.

Vanuit dit perspectief gezien, is het van belang dat bij de onderzoeksprogrammering in het kader van Morfologie en Herinrichting het hele scala van kennisontwikkeling en kennisoverdracht wordt afgedekt en men zich niet concentreert op de ontwikkeling van alleen funderende of operationele kennis.

6.3.2 Ontwikkelingskaders en financieringsbronnen

Kennis op het gebied van waterbeweging en morfologie in de Nederlandse rivieren wordt in Nederland ontwikkeld, verwerkt en overgedragen door

- de universiteiten van Delft, Utrecht en Twente;
- WL | Delft Hydraulics als GTI;
- Rijkswaterstaat-RIZA als TWD;
- Rijkswaterstaat-DWW en Rijkswaterstaat-Bouwdienst voor zover het constructies betreft;
- specialistische ingenieursbureaus (b.v. HKV);
- ontwerpende ingenieursbureaus (b.v. Haskoning);
- projectbureaus, zoals het Bureau Maaswerken;
- regionale directies van Rijkswaterstaat, zoals Oost-Nederland en Limburg.

Daarnaast spelen instituten die zich bezighouden met de geologische ondergrond (TNO-NITG) en vegetatie-ontwikkeling (universiteiten van Nijmegen en Wageningen, Alterra) een rol.

Elk van de bovengenoemde partijen heeft toegang tot andere financieringsbronnen, zodat de totale hoeveelheid beschikbare middelen vrij groot te noemen is. Anderzijds is ook het te bestrijken kennistraject groot en worden niet alle onderdelen van dit traject even goed bedeed. Zo is er vrij veel geld voor fundamenteel onderzoek, maar veel minder voor operationalisering en overdracht van kennis.

Er is geen centraal orgaan dat de onderzoeksactiviteiten van bovengenoemde categorieën van instituten coördineert en aanstuurt. Daarom moet synergie bereikt worden via vrijwillige samenwerking. Voorbeelden daarvan zijn NCR, Delft Cluster en de Morfologische Driehoek. Daarnaast treedt Rijkswaterstaat sturend op via de eigen financieringsstroom. Het lijkt echter niet verstandig het onderzoek op het gebied van de fysische effecten van de herinrichting van de Nederlandse rivieren aan deze ene geldstroom op te hangen, ook al betekent dit dat Rijkswaterstaat dan ook niet de volledige regie over het onderzoek kan claimen. Essentieel voor een goede samenwerking is reciprociteit: als een partij zich openstelt voor coördinatie en aansturing door anderen, mag men in ruil daarvoor ook invloed op de coördinatie en aansturing van het onderzoek van die anderen verwachten.

Voorbeelden van andere geldbronnen die men zou kunnen trachten aan te boren zijn:

- universitaire fondsen (eigen onderzoeksmiddelen universiteiten; tweede geldstroom, via NWO-ALW, STW, de KNAW, etc.);
- Europese onderzoeksprogramma's (ook: stimuleringsprogramma's Midden- en Kleinbedrijf);
- nationale onderzoeksprogramma's (onder andere Delft Cluster, Habiforum);
- WL speurwerksubsidie, met name voor software-operationalisering;
- WL doelsubsidies Rijkswaterstaat en EZ;
- SENTER-subsidies voor kennisoverdracht naar bedrijfsleven;
- CUR-middelen voor leidraad-ontwikkeling;
- DGIS-middelen voor onderzoek naar de inrichting van laaglandrivieren in het buitenland (b.v. China, Bangladesh).

De procedures voor het verkrijgen van deze fondsen zijn soms langdurig (STW: ca. 1 jaar), met soms een lage scoringskans (NWO-ALW: 10%; EU: 5 à 10%), soms ook beperkt toegankelijk (universitaire eerste en tweede geldstroom) en met slechte financiële condities (NWO voor promovendi op technische universiteiten). Anderzijds is er momenteel reeds het nodige onderzoek gaande op dit gebied (zie ook onderzoekprogramma NCR).

6.3.3 Opstelling globaal onderzoeksplan

De opstelling van een onderzoeksplan op hoofdlijnen (wie gaat wat doen, hoe, wanneer en door wie betaald ?) is alleen mogelijk in overleg met alle betrokken partijen. Voorgesteld wordt om daartoe een workshop te organiseren, met deelnemers die voldoende mandaat van hun organisatie hebben om tot besluiten te kunnen komen.

6.4 Kennismanagement

Kennismanagement is uit de interviews in Hoofdstuk 2 als specifiek aandachtspunt naar voren gekomen. Het gaat daarbij primair om het voor andere categorieën gebruikers toegankelijk maken en houden van kennis en informatie, veeleer dan het vastleggen van kennis binnen een gebruikerscategorie (b.v. wetenschappelijke kennis voor andere wetenschappers). Dit betekent dat relevante kennis expliciet gemaakt moet worden, in een vorm die toegankelijk is voor gebruikers uit de beoogde categorieën, en opgeslagen in een vorm die adequaat is voor die gebruikerscategorieën. Afhankelijk van de gebruikersgroep, kan dit schriftelijk materiaal betreffen (handboeken, leidraden, vuistregels), maar ook elektronisch toegankelijke informatie (databanken, internet-sites, numerieke modellen, etc.). Ook het doelbewust overdragen van kennis van de ene naar de andere categorie gereedschappen is een vorm van kennismanagement, omdat daarmee de toegankelijkheid voor gebruikers vergroot wordt.

Een verdere inventarisatie van kennismanagementbehoeften zal in overleg met de potentiële gebruikers tot stand moeten komen.

7 Literatuurverwijzingen

- Barneveld, H.J. & K. Vermeer (1994), Rivierkundige aspecten: evenwichtsbeschouwingen. Integrale Verkenning inrichting Rijntakken, rapport nr. 8.
- Collignon-Havinga, R.J. (2000), Projectplan inrichting Heesseltsche Waarden; Startnotitie. Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, december 2000, eindconcept.
- Douben, N.S.M. & J. Sieben (2000), Verslag en uitwerking kribbenkrans 25 november 1999. WSR memo 2000-018, Rijkswaterstaat RIZA.
- Duits, M.D. & J.M. van Noortwijk (1999), Nauwkeurighedsanalyse Ruimte voor Rijntakken. HKV lijn in water, PR163, april 1999.
- Engelund, F. & E. Hansen (1967), A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen.
- Jansen, P.Ph., L. van Bendegom, J. van den Berg, M. de Vries & A. Zanen (1979), Principles of river engineering; The non-tidal alluvial river. Pitman, London.
- Kern, K. (1994), Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Springer-Verlag.
- Kleijberg, R., A.M. Kruidering, H.J. Verheij, E. Mosselman & P. Bertens (2000), Integraal monitoringsprogramma Zandmaas/Maasroute. ARCADIS Heidemij Advies & WL | Delft Hydraulics, rapport 110502/ZF0/0K5/000101.
- Kok, M., N. Douben, J.M. van Noortwijk & W. Silva (1996), Veiligheid. Integrale Verkenning inrichting Rijntakken, rapport nr. 12.
- Meulen, Y. van der (1998), Projectplan inrichtingsplan Rosandepolder. Projectbeschrijving ON-743, Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, 20 augustus 1998.
- Schoor, M.M., H.P. Wolfert, G.J. Maas, H. Middelkoop & J.J.P. Lambeek (1999), Potential for floodplain rehabilitation based on historical maps and present-day processes along the River Rhine, The Netherlands. In: Floodplains: Interdisciplinary approaches. Eds. S.B. Marriott & J. Alexander, Geological Society, London, Spec. Publ., 163, pp.123-137.
- Sieben, J. (2000a), Morfologie en herinrichting; verkenning naar morfologische effecten door herinrichting. Projectbeschrijving, RIZA, afdeling WSR, 12 mei 2000.
- Sieben, J. (2000b), Effecten Rijnwaarden. Rijkswaterstaat RIZA.
- Sieben, J. (2001a), Herinrichting van Heesseltsche Waarden; Verkenning van morfologische effecten. Werkdocument RIZA (2e concept).
- Sieben, J. (2001b), Verkenning morfologie en herinrichting - relatie veranderingen duinhoogte. Rijkswaterstaat RIZA, WSR memo 2001-007, 19 februari 2001.
- Stive, M.J.F., Z.B. Wang, A.W. van der Weck, H.F.P. van den Boogaard & M.J. Baptist (1998), Definitiestudie morfologische dynamiek Westerschelde. Rapport Z2427, WL | Delft Hydraulics.
- Struikma, N., K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.23, No.1, pp.57-79.
- Vanhemelrijk, J. & P. Paalvast (1997), Inventarisatie van natuurontwikkelingsprojecten langs buitenlandse rivieren. Ecologisch adviesbureau Vanhemelrijk & Ecoconsult, november 1997.
- Vriend, H.J. de (1991), Mathematical modelling and large-scale coastal behaviour. Part 1: Physical processes. J. Hydr. Res., IAHR, Vol.29, No.6, pp.727-740.
- Vries, M. de (1975), A morphological time-scale for rivers. Proc. 16th Congress IAHR, São Paulo (ook Delft Hydraulics Laboratory Publication No.147).
- Vries, M. de, G.J. Klaassen & N. Struikma (1990), On the use of movable-bed models for river problems: a state-of-the-art. Int. J. Sediment Res., Vol.5, No.1., pp.35-47 (also Delft Hydr. Publ. No.441).
- Vries, M. de (1993), Use of models for river problems. Studies and rep. in hydrol. 51, UNESCO, ISBN 92-3-102861-8.
- Waterloopkundig Laboratorium (1994), Onderzoek Watersnood Maas; Deelrapport 6: Morfologische aspecten. Rapport aan Minister van Verkeer en Waterstaat, ISBN 90-802314-2-8.
- Wolters, A.F. & E.C.L. Marteijn (redactie, 2000), De weg van maatschappelijke vraag naar onderzoek. NCR-publicatie 02-2000, ISSN 1568-234X.
- Wolters, H., M. Schoor, M. Platteeuw & J.-W. Bruggenkamp (2000), Natuurontwikkeling in de uiterwaarden; Praktische wenken bij herinrichting. Concept rapport 24 april 2000, RIZA.

A000 Vragen bij interviews

Open vragen

- 1) Wat zijn de belangrijkste ontwerpeisen voor uiterwaardplannen? (nu en in de toekomst)
- 2) Wat is een goede ontwerpfilosofie voor uiterwaardplannen?
- 3) Welke informatiebehoefte (met nadruk op morfodynamica en aanverwante processen) bestaat er ten behoeve van het ontwerp van uiterwaardplannen?
- 4) Welke kennis en kennisontwikkeling is gewenst op het gebied van rivier-morfodynamica? Hierbij gaat het om zowel onderzoek naar de processen als uitbreiding van het modelinstrumentarium.
- 5) Welke kennis en kennisontwikkeling is overbodig op het gebied van rivier-morfodynamica?
- 6) Welke ervaringen zijn er uit reeds uitgevoerde herinrichtingsplannen (Rijn, IJssel, Maaswerken, Duitsland) ?
- 7) Welke ingangen zijn er om buitenlandse ervaringen (vooral Duitsland) te ontsluiten?

Stellingen

Wat vindt u van de volgende stellingen:

- 1) Het is noodzakelijk om de bodemligging in een nevengeul te voorspellen met een onnauwkeurigheid van ten hoogste 0,2 m.
- 2) Gezien de inherente grote onzekerheidsmarges hebben morfologische voorspellingen met rekenmodellen voor beheersvragen geen zin.
- 3) Gezien alle onzekerheden is het beter om een doortimmerd plan op te stellen voor signalering (monitoring) en daaraan gerelateerd ingrijpen dan het tot op de decimeter doorrekenen van morfologische en hydraulische effecten.
- 4) Een simulatie van bodemveranderingen met een morfologisch model geeft meer inzicht in de omvang van het sedimenttransport dan een directe meting van bodemtransporten.
- 5) Schaalmodelonderzoek is uit de tijd en niet meer nodig.
- 6) Slibproblematiek speelt bij herinrichting van uiterwaarden een ondergeschikte rol.
- 7) De gradatie van het bodemmateriaal is essentieel voor een goede effectbepaling.
- 8) De natuurfunctie zal op een drukbevaren rivier als de Waal altijd sluitpost zijn van het ontwerp.

B000 Afleiding van relatie voor morfologische tijdschalen

De karakteristieke morfologische tijdschaal T wordt gedefinieerd als

$$T = \frac{Lh}{bs} \quad (\text{B.1})$$

waarin

- b = mate van niet-lineariteit van sedimenttransportformule (-)
- h = waterdiepte (m)
- L = karakteristieke lengteschaal (m), afhankelijk van beschouwde verschijnsel
- s = sedimenttransport per eenheid van breedte (m^2/s)
- T = karakteristieke tijdschaal (s)

Voor het sedimenttransport is daarbij de formule van Engelund & Hansen (1967) gebruikt, waarvoor de mate van niet-lineariteit b gelijk is aan 5:

$$s = \alpha \frac{0.05}{(1 - \varepsilon)g^{1/2}\Delta^2 D_{50} C^3} u^5 \quad (\text{B.2})$$

waarin

- C = Chézy-coëfficiënt voor hydraulische ruwheid ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)
- D_{50} = mediane korreldiameter van sediment (m)
- g = versnelling ten gevolge van de zwaartekracht (m/s^2)
- u = diepte-gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
- α = calibratiefactor (-)
- Δ = relatieve massadichtheid van sediment onder water (-)
- ε = poriëgehalte (-)

Voor de stroomsnelheid is de formule van Chézy gebruikt

$$u = C\sqrt{hi} \quad (\text{B.3})$$

waarin

- i = rivierverhang (-)

Combinatie van de vergelijkingen (B.1) tot en met (B.3) levert

$$T = \frac{4L(1-\varepsilon)g^{1/2}\Delta^2 D_{50}}{\alpha C^2 h^{3/2} i^{5/2}} \quad (\text{B.4})$$

Met de representatieve waarden $\varepsilon = 0,4$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\Delta = 1,65$, $D_{50} = 1 \text{ mm}$, $\alpha = 0,5$, $C = 45 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en $i = 0,1 \text{ m/km}$ gaat deze formule over in

$$T = \left(202124 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/2}\right) \frac{L}{h^{3/2}} = \left(2,339 \text{ dag} \cdot \text{m}^{1/2}\right) \frac{L}{h^{3/2}} \quad (\text{B.5})$$

Uit deze formule valt af te lezen dat verschijnselen op grotere ruimteschalen zich ook op grotere tijdschalen voltrekken. Tevens valt af te lezen dat de tijdschaal bij hogere afvoeren, wanneer de waterdiepten groter zijn, afneemt, omdat de grotere sedimenttransporten dan de processen versnellen.

Overigens zijn de tijdschalen T volgens de formules in deze bijlage voor grote lengteschalen beduidend kleiner dan de klassieke morfologische tijdschaal T_v volgens de Vries (1975). Dit komt in de eerste plaats doordat de Vries in Formule (B.1) niet de waterdiepte hanteert, maar het verval van de rivier over de karakteristieke lengte L . Daarnaast bevat de morfologische tijdschaal T_v van de Vries nog een factor 3 die voortkomt uit zijn diffusiemodel voor de grootschalige morfologische ontwikkeling van rivieren. De bijbehorende formule luidt:

$$T_v = \frac{3Li}{h} T = \left(60 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/2}\right) \frac{L^2}{h^{5/2}} \quad (\text{B.6})$$

De tijdschaal T is een maat voor het tijdsbestek waarbinnen het bodemlengteprofiel over een lengte L significante veranderingen ondergaat. De tijdschaal T_v is een maat voor de tijd waarbinnen zich 50% voltrekt van de totale lokale morfologische respons op een verandering die op afstand L stroomafwaarts is opgetreden.

C000 Terminologie rond modellen

Morfologische modellen spelen een rol bij de morfologische effectbepaling van de herinrichting van uiterwaarden. Het zijn hulpmiddelen bij het begrijpen en het voorspellen van morfologische veranderingen. Hier worden *proces-georiënteerde* modelleertechnieken verkozen boven *data-georiënteerde* modelleertechnieken (zie ook Stive et al, 1998).

Men kan proces-georiënteerde modellen als volgt onderverdelen:

- *Fysiske* modellen:
 - *schaalmodellen* (maquettes)
 - *analoge* modellen (b.v. elektrische stroom als analogon voor waterstroming)
- *Abstracte* modellen:
 - *woordmodellen* (verbale beschrijvingen)
 - *grafische* modellen (tekeningen van structuren en processen)
 - *wiskundige* modellen (beschrijvingen op basis van wiskundige vergelijkingen)

In het jargon van WL en Rijkswaterstaat gebruikt men vaak de term *fysische* modellen in plaats van *fysiske* modellen. Daarmee bedoelt men dan vrijwel altijd de schaalmodellen. *Wiskundige* of *mathematische* modellen verdeelt men verder naar de manier waarop de wiskundige vergelijkingen worden opgelost. Wanneer men de vergelijkingen sterk vereenvoudigt is vaak een exacte oplossing mogelijk. Deze vereenvoudigde wiskundige modellen noemt men *analytische* modellen. Ze geven in principe de essentie van de processen weer en bieden bovendien de mogelijkheid om *vuistregels* af te leiden. *Numerieke* modellen zijn wiskundige modellen die door discretisatie vertaald zijn in een vorm die berekening met een computer mogelijk maakt. Numerieke modellen worden ook aangeduid als *computermodellen*.

Vuistregels zijn bondige relaties die eenvoudig te onthouden en te gebruiken zijn. In Subparagraaf 5.1.2 wordt onderscheid gemaakt tussen *generieke* vuistregels voor relaties tussen vorm en proces in het algemeen en *specifieke* vuistregels voor relaties tussen maatregelen en effecten in de Rijntakken.

Modellen die de ontwikkeling van bepaalde grootheden in de tijd voorspellen in de vorm van slechts één enkel getal, zijn *deterministisch*. Daar tegenover staan *probabilistische* modellen die deze ontwikkeling voorspellen in de vorm van een band van mogelijke uitkomsten met bijbehorende kansen van optreden.

Wiskundige modellen zijn gebaseerd op wiskundige vergelijkingen. Daarbij kan men verschillende typen onderscheiden:

- *Algebraïsche* vergelijkingen of formules: wiskundige vergelijkingen of formules waarin alleen de basisbewerkingen optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, machtsverheffen en worteltrekken voorkomen. Dit zijn vaak formules die het karakter van een specifieke vuistregel hebben.

- *Transcendentale* vergelijkingen of formules: wiskundige vergelijkingen of formules waarin naast de basisbewerkingen van algebraïsche vergelijkingen ook niet-algebraïsche bewerkingen voorkomen zoals de evaluatie van logaritmen en goniometrische functies.
- *Differentiaalvergelijkingen*: wiskundige vergelijkingen die een functie relateren aan haar afgeleiden. Wanneer alleen afgeleiden naar de tijd of alleen afgeleiden naar één enkele ruimtecoördinaat voorkomen, spreekt men van *gewone* differentiaalvergelijkingen. Komen meerdere afgeleiden voor, dan spreekt men van *partiële* differentiaalvergelijkingen. De modelsystemen SOBEK, WAQUA en Delft3D zijn alle gebaseerd op partiële differentiaalvergelijkingen.

Wiskundige vergelijkingen die uit algemene natuurwetten zijn afgeleid worden *theoretisch* genoemd. Daar tegenover staan de *empirische* vergelijkingen die met behulp van statistische technieken zijn afgeleid uit waarnemingen (metingen). Het woord “empirisch” wordt echter in de praktijk op verschillende manieren gebruikt, en soms ook verward met het woord “analytisch”. Dit wordt in Tabel C.1 nader toegelicht.

Tabel C.1: Gebruik van termen “empirisch” en “analytisch”.

Term		Context		
		toegepaste natuurkunde inclusief riviermorfologie		wetenschapsfilosofie
		officiële betekenis	soms voorkomend officieus woordgebruik	algemene betekenis
empirisch	omschrijving	afgeleid uit waarnemingen, niet uit algemene natuurwetten	synoniem voor “vuistregel”	gerelateerd aan fysische realiteit, gevalideerd
	<i>zijn de Navier-Stokes-vergelijkingen voor vloeistofmechanica empirisch?</i>	<i>nee</i>	<i>nee</i>	<i>ja</i>
analytisch	omschrijving	afgeleid door vereenvoudiging van wiskundig model, ten einde niet-numerieke oplossingstechnieken te kunnen toepassen	in vorm van transcendentale vergelijking of differentiaalvergelijking, ongeacht herkomst	door uiteenrafeling in componenten (Aristoteles), gerelateerd aan anglosaxische stroming met veel aandacht voor wetenschappelijke methode en de rol van taal
	<i>zijn negatief-exponentiële baggerherstelrelaties analytisch?</i>	<i>nee, empirisch</i>	<i>ja</i>	<i>nee</i>

De term *dimensie*, tenslotte, staat voor “grootte” of “afmeting”, maar heeft daarnaast de betekenis van het aantal maten dat nodig is om de afmetingen van een bepaald object in een bepaalde ruimte te beschrijven. Bij wiskundige modellering is het aantal dimensies gelijk aan het aantal ruimtecoördinaten waarnaar partiële afgeleiden voorkomen in de

onderliggende differentiaalvergelijkingen. In numerieke modellen interpreteert men het aantal dimensies vaak als het aantal richtingen waarin het gebruikte rekenrooster langs een roosterlijn meer dan één rekenpunt heeft. Dit aantal is meestal gelijk aan het op partiële afgeleiden gebaseerde aantal dimensies van de onderliggende wiskundige modellen, maar niet altijd. Zijn ze niet gelijk, dan gebruikt men wel halve dimensies om de computermodellen te karakteriseren (b.v. 2½-D voor een numeriek model met rekenpunten in drie richtingen terwijl de onderliggende vergelijkingen slechts partiële afgeleiden naar twee ruimtecoördinaten kennen).

D000 Discussie van stellingen tijdens workshop in Rossum

Tijdens de workshop in Rossum werden de volgende stellingen aan de adviesgroep ter discussie voorgelegd:

- *Stelling 1:* De belangrijkste kennisleemten betreffen de morfologie van het zomerbed na een hoogwater, grootschalige effectbepaling en kennismanagement;
- *Stelling 2:* Nieuwe kennis komt te laat voor RvR en Maaswerken - Met de huidige kennis kan men herinrichting verantwoord ontwerpen;
- *Stelling 3:* Herinrichting zonder monitoring is doodzonde.

De adviesgroep werd in vier discussiegroepen verdeeld, onder voorzitterschap van respectievelijk Koos Kamsteeg, Jos van Alphen, Marco Taal en Hermjan Barneveld. De uitkomsten van de discussies worden gepresenteerd in de Tabellen D.1 tot en met D.3.

Tabel D.1: Reacties op Stelling 1.

<i>Stelling 1: De belangrijkste kennisleemten betreffen de morfologie van het zomerbed na een hoogwater, grootschalige effectbepaling en kennismanagement</i>	
Discussiegroep	Reactie
Groep 1 (Koos Kamsteeg)	Eens met stelling. De zomerbedligging is echter niet alleen van belang <i>na</i> een hoogwater, maar ook en vooral <i>tijdens</i> het hoogwater (beddingvormen onder MHW-omstandigheden). Strikt genomen kan men kennismanagement geen kennisleemte noemen, maar verbetering van kennismanagement is wel nodig.
Groep 2 (Jos van Alphen)	Eens met stelling in licht van planstudie Ruimte voor Rijntakken. De morfologie van het zomerbed na een hoogwater hangt samen met de interacties tussen zomer- en winterbed, die van belang zijn voor optimalisatie van het ontwerp van herinrichting. Voor grootschalige effectbepaling is nu vaak geen kennis voorhanden, terwijl deze kennis gebruikt zou kunnen worden om te bezien of verschillende maatregelen onderling uitwisselbaar zijn of elkaar beïnvloeden. Kennismanagement zou zich moeten richten op het inzichtelijk maken van onzekerheden en het op korte termijn vertalen van bestaande kennis in ontwerprijlijnen. Voor de aanpak van de kennisleemten is een prioritering nodig op basis van een afweging tussen kosten en behaalde meerwaarde (b.v. betere inschatting van risico's of verwijdering van risico's).
Groep 3 (Marco Taal)	Eens met de stelling voor wat betreft grootschalige effectbepaling en kennismanagement. De morfologie van het zomerbed na een hoogwater hangt echter samen met de interacties tussen zomer- en winterbed. Deze interacties zijn analoog aan de processen bij riviersplitsingen, waarvan bekend is dat ze inherent instabiel zijn. Daarom zal altijd beheer en onderhoud nodig zijn, ook als meer kennis beschikbaar is. Voor de interacties tussen zomer- en winterbed verdient het onderscheid tussen bovenrivieren en benedenrivieren aandacht. De grootschalige effectbepaling is ook van belang bij dynamisch of anticiperend rivierbeheer en BOS Inrichting Rivieren - Rijntakken.
Groep 4 (Hermjan Barneveld)	Eens met de stelling. Er ontbreken echter de kennisleemten ten aanzien van veldgegevens en oevererosie. Met betere kennis van oevererosie zou men de voor de stabiliteit van de waterkering aangehouden buffer tussen nevengeul en bandijk kunnen verkleinen.

Tabel D.2: Reacties op Stelling 2.

<i>Stelling 2: Nieuwe kennis komt te laat voor RvR en Maaswerken - Met de huidige kennis kan men herinrichting verantwoord ontwerpen</i>	
Discussiegroep	Reactie
Groep 1 (Koos Kamsteeg)	Oneens met de uitspraak dat nieuwe kennis te laat komt, want het is nooit te laat om te leren. Eens met de uitspraak dat men met de huidige kennis reeds verantwoord kan ontwerpen. Er is wel behoefte aan inzicht in de gevolgen van ontwerpen met de huidige kennis voor, bijvoorbeeld, de kosten van beheer en onderhoud.
Groep 2 (Jos van Alphen)	Eens met de uitspraak dat men met de huidige kennis reeds verantwoord kan ontwerpen. Met de huidige kennis zouden we zelfs veel beter herinrichting moeten kunnen ontwerpen. Dit is een kwestie van kennismanagement: (1) bestaande kennis beter ontsluiten, (2) praktijkervaring in ontwerpfase integreren, (3) onzekerheden expliciteren en voorzieningen daarvoor treffen (reageren op ontwikkelingen), (4) leren van monitoring.
Groep 3 (Marco Taal)	Oneens met de uitspraak dat nieuwe kennis te laat komt. Daarbij is het onderscheid van belang tussen het operationaliseren van bestaande kennis (huidige kennis inbouwen in modelinstrumentarium, duur circa 4 jaar) en het ontwikkelen van nieuwe kennis (duur 10 à 15 jaar). Eens met de uitspraak dat men met de huidige kennis reeds verantwoord kan ontwerpen. Dit is zelfs een effectieve manier om kennis te genereren, door gaande de rit te leren, te monitoren en bij te sturen.
Groep 4 (Hermjan Barneveld)	Oneens met de uitspraak dat nieuwe kennis te laat komt, omdat men nooit klaar is met de rivieren. Ook het idee dat Nederland na de Deltawerken klaar zou zijn is naderhand gelogenstraft. Eens met de uitspraak dat men met de huidige kennis reeds verantwoord kan ontwerpen. De consequentie van kennisleemten is echter dat meer marges en buffers in het ontwerp worden aangehouden. Deze kosten geld.

Tabel D.3: Reacties op Stelling 3.

<i>Stelling 3: Herinrichting zonder monitoring is doodzonde</i>	
Discussiegroep	Reactie
Groep 1 (Koos Kamsteeg)	Eens met de stelling. De monitoring dient wel gericht te zijn op het kwantificeren van de gevolgen van ontwerpen met de huidige kennis voor, bijvoorbeeld, de kosten van beheer en onderhoud.
Groep 2 (Jos van Alphen)	Eens met de stelling. De monitoring dient verschillende doelen: (1) vorming van een lange-termijn verzameling van gegevens, (2) planevaluatie, (3) dagelijks beheer. Door deze doelen gezamenlijk te beschouwen bij de keuze van metingen en locaties wordt synergie bereikt. Dit is bij de Maaswerken uitgevoerd en zou ook bij Ruimte voor Rijntakken uitgevoerd moeten worden.
Groep 3 (Marco Taal)	Eens met de stelling.
Groep 4 (Hermjan Barneveld)	Eens met de stelling. De monitoring dient verschillende doelen: (1) kennisontwikkeling, (2) planevaluatie, (3) dagelijks beheer. Er is behoefte aan centrale coördinatie. Dynamisch rivierbeheer vergt grote inspanningen op het gebied van monitoring.



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

