

Morfodynamiek langs de grote rivieren

Inventarisatie van processen en evaluatie van maatregelen

Emiel Kater
Bart Makaske
Gilbert Maas



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

© 2012 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2012/OBN154-RI
Den Haag, 2012

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap
onder vermelding van code 2012/OBN154-RI en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling Emiel Kater, Bart Makaske, Gilbert Maas

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel en Natura 2000. In dit netwerk formuleren onderzoekers en terreinbeheerders samen onderzoeksideeën om tot concrete beheermaatregelen voor natuurherstel te komen.

Morfodynamiek langs de grote rivieren gaat om de invloed van water en wind op erosie en sedimentatie langs de oevers en in de uiterwaarden. Deze landschapsvormende processen zijn belangrijk voor veel habitattypen en soorten. Als delta heeft Nederland een bijzondere verantwoordelijkheid voor natuur langs de grote rivieren. Het gaat om de volgende Natura 2000-gebieden: Gelderse Poort, Grensmaas, uiterwaarden Neder-Rijn, uiterwaarden Waal, Biesbosch, uiterwaarden Lek, uiterwaarden IJssel, en uiterwaarden Zwarte Water & Vecht. In deze gebieden is een grotere morfodynamiek van belang voor een goede staat van instandhouding voor habitattypen zoals slikkige rivieroeveren [H3270], stroomdalgraslanden [H6120], glanshaver- & vossenstaarthooilanden [H6510]. Hiervan profiteren habitat- en vogelrichtlijnsoorten als gaffellibel, zalm, rivierdonderpad, bever, Noordse woelmuis, kwartelkoning, ijsvogel en oeverwaluw.

De afgelopen jaren zijn langs de Nederlandse rivieren veel projecten uitgevoerd in het kader van verschillende beleidsprogramma's van de ministeries van EL&I en I&M: de Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG), de Maaswerken, de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (PKB-RvR) en de Kaderrichtlijn Water (KRW). Het herstel van morfodynamische processen als basis voor natuurherstel speelt hierin een belangrijke rol.

In het OBN onderzoek "Morfodynamiek langs de grote rivieren" is onderzocht wat het effect is van projecten langs de rivieren op morfodynamische processen. Op de CD in de bijlage vindt u de kaart met daarop de resultaten van morfodynamische processen uit het verleden en het heden, de zogenaamde fysiotopten. Op deze digitale kaart kunt u zeer nauwkeurig inzoomen op het gebied waarin u geïnteresseerd bent. In hoofdstuk 6 van dit rapport worden aanbevelingen gedaan hoe morfodynamische processen bevorderd kunnen worden, bijvoorbeeld door zomerkades te verwijderen. Voor al deze maatregelen geldt wel: zonder Rijkswaterstaat is het niet mogelijk om morfodynamische processen in de natuurgebieden langs de grote rivieren te herstellen.

Drs. E.H.T.M. Nijpels

Voorzitter Bosschap

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
1 Inleiding	10
1.1 Achtergrond en probleemstelling	10
1.2 Doelstelling en aanpak	10
1.3 Afbakening	11
1.4 Leeswijzer	11
2 Morfodynamische processen en fysiotoopen	12
2.1 Inleiding	12
2.2 De morfodynamiek van het zomerbed	13
2.3 De morfodynamiek van uiterwaarden en weerden	17
2.4 Fysiotoopen	20
3 Fysiotoopenkartering	27
3.1 Inleiding	27
3.2 Legenda	27
3.3 Databronnen en karteringsmethodiek	28
3.4 Vergelijking van fysiotoopenkaarten	30
4 De actuele morfodynamische processen in tien uiterwaarden en weerden	33
4.1 Inleiding	33
4.2 De Klompenwaard	35
4.3 De Ewijkse Plaat	37
4.4 Amerongse Bovenpolder	39
4.5 De Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost	43
4.6 De Duursche Waarden	45
4.7 De Vreugderijkerwaard	47
4.8 De Rug van Roosteren	49
4.9 De Kerkeweerd	50
4.10 De Kop van den Ouden Wiel	52

4.11	De Mariapolder	55
5	Morfodynamiek per zone	58
5.1	Inleiding	58
5.2	Oeverzone	59
5.3	Nevengeulen en crevasses	65
5.4	Uiterwaard- en weerdvlaktes	70
6	Conclusies en aanbevelingen	72
6.1	Inleiding	72
6.2	Sleutelfactoren en maatregelen die morfodynamiek beïnvloeden	72
6.3	Oeverzone	75
6.4	Nevengeulen en crevasses	76
6.5	Uiterwaard-/weerdvlakte	76
6.6	Getijvlakte	77
	Literatuur	78
Bijlage 1	Beschrijving van riviertrajecten: riviermorfologie, morfodynamiek en kansen voor herstel van fysiotopen	82
	Riviertrajecten van de Maas	84
	Riviertrajecten van de Boven-Rijn en de Waal	88
	Riviertrajecten van het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek	91
	Riviertrajecten van de IJssel	94
	Riviertrajecten van de Merwedens en de Biesbosch	96
Bijlage 2	Inventarisatie van uiterwaardmaatregelen	98

Samenvatting

De morfodynamische processen in het rivierengebied zijn erosie en sedimentatie onder invloed van rivierafvoer, het getij en de wind. Deze processen leiden tot steeds weer veranderende patronen van terreinvormen en wetlands enerzijds, en de daarbij behorende veelheid aan milieugradiënten anderzijds. Daarmee zijn morfodynamische processen mede sturend voor de natuurkwaliteit in het rivierengebied.

In de afgelopen decennia zijn vele projecten in het rivierengebied uitgevoerd waarbij maatregelen zijn genomen om de hoogwaterveiligheid en de kwaliteit van de leefomgeving te verbeteren. Veelal zijn uiterwaarden en weerden hierbij opnieuw ingericht en is het beheer veranderd. In deze studie is geïnventariseerd welke morfodynamische processen in het rivierengebied actief zijn en is onderzocht welk effect rivierprojecten hebben gehad op de morfodynamische processen. Vervolgens zijn kansen voor morfodynamiek geïdentificeerd, die kunnen ontstaan door gerichte maatregelen of aanpassingen van maatregelen.

Morfodynamische processen worden in deze studie gekoppeld aan fysiotopten. Dit zijn ruimtelijke eenheden met bepaalde hydrodynamische, geomorfologische en sedimentaire kenmerken. Fysiotopten kunnen het product zijn van morfodynamische processen in het verleden (die momenteel niet meer actief zijn), of in een evenwicht zijn met huidige morfodynamische processen. In deze studie zijn fysiotopten van de uiterwaarden en weerden langs de Rijntakken en Maas gekarteerd. De fysiotoptenkaart (bijgevoegd op CD) geeft zowel inactieve als morfodynamisch actieve fysiotopten weer, zodat de huidige morfodynamiek op uiterwaard-/weerdniveau kan worden overzien.

De inventarisatie van morfodynamische processen in deze studie, omvatte naast kartering van fysiotopten, ook veldwerk in tien geselecteerde uiterwaarden/weerden. In Tabel 5.1 is een overzicht van alle in het veld vastgestelde morfodynamische processen gegeven. In de geselecteerde uiterwaarden/weerden zijn tevens (recent) uitgevoerde maatregelen geëvalueerd, qua effecten op morfodynamiek. De geëvalueerde maatregelen zijn onder meer: uiterwaardverlaging, aanleg van langsdammen, het uitdiepen van strangen, het aanleggen van nevengeulen, het verwijderen van de oeververdediging en het verwijderen of doorlatend maken van kades. Op basis van fysiotoptenkartering en veldwerk zijn kansen voor de toekomst geïdentificeerd. Deze kunnen positief worden beïnvloed door maatregelen die ingrijpen op een aantal morfodynamiek bepalende sleutelfactoren.

De volgende sleutelfactoren voor morfodynamiek in de uiterwaarden/weerden van de Nederlandse rivieren kunnen worden onderscheiden: (1) de afstand tot het zomerbed; (2) de inundatieduur en -frequentie; (3) de breedte/diepte-verhouding van de aangrenzende bedding; (4) de inrichting van de oeverzone (m.b.t. kribben en oeververdediging).

De morfodynamiek in de overstromingsvlakte kan beïnvloed worden door maatregelen die op deze vier factoren ingrijpen.

De huidige morfodynamiek in de uiterwaarden/weerden bestaat hoofdzakelijk uit: (1) zandige oeverwalvorming, (2) slibafzetting in de uiterwaard/weerd en (3) de geleidelijke opvulling van strangen, kronkelwaardgeulen en depressies. Lokale processen zijn de vorming van (4) rivierduinen, (5) crevasses en (6) afslagoevers.

Morfodynamische processen in de oeverzone vinden zowel bij hoge als bij lage afvoeren plaats. Het processencomplex dat het transport van sediment van het zomerbed naar de oeverzone verzorgt is bij lage afvoeren echter anders dan bij hoge afvoeren. Bij lage afvoeren speelt golfwerking door scheepvaart en eolisch transport een belangrijke rol in de keten van transportprocessen. Bij hoogwater is er een directer transport van zomerbed naar de oeverzone. De hoeveelheid tijdens hoogwater afgezet sediment in de oeverzone neemt sterk af met toenemende afstand tot het zomerbed. In deze studie is het processencomplex in de oeverzone en de relatie hiervan met de inrichting van de oeverzone schematisch uitgewerkt. Vastgesteld is dat er per riviertak grote verschillen bestaan.

Uiterwaard-/weerdgeulen omvatten aangelegde nevengeulen en spontaan ontwikkelde crevasse(-achtige) geulen. De morfodynamiek van de huidige nevengeulen is gering, omdat om redenen van bevaarbaarheid van de hoofdgeul en hoogwaterveiligheid maar beperkte stroomsnelheid en afvoer in de nevengeulen wordt toegestaan. Sedimentatie van slib is daarom momenteel het dominante proces. Indien gewenst is door een andere aanleg van inlaatwerken een hogere afvoer en stroomsnelheid, en derhalve meer morfodynamiek, eenvoudig te realiseren. Crevasses vormen zich spontaan op een aantal plaatsen waar voldoende verhang dwars over de oever aanwezig is. Verlaging van uiterwaarden, het aanleggen van plassen of het uitdiepen van strangen achter de oeverzone kan gunstige condities voor crevassevorming creëren.

In de uiterwaard- en weerdvlaktes is langzame opslibbing het dominante morfodynamische proces. In deze studie is geen systematisch veldonderzoek gedaan naar patronen en snelheden van dit proces. Wel is gebruik gemaakt van eerder verricht veldonderzoek met slibmatten in drie van de tien geselecteerde projectgebieden. Uit de slibmatmetingen is geconcludeerd dat de hoeveelheid sediment die per hoogwater buiten de oeverzone wordt afgezet voornamelijk wordt bepaald door (1) de inundatiefrequentie, (2) de overstromingsduur en (3) de waterdiepte. Op lage plaatsen (zoals afgesloten strangen) waar het water lang blijft staan bezinkt al het in de waterkolom aanwezige slib.

De huidige morfodynamiek langs de grote Nederlandse rivieren concentreert zich vooral in de oeverzone. Hier vinden zowel bij hoogwater als bij laagwater belangrijke morfodynamische processen plaats. Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek in de oeverzone te bevorderen zijn:

1. het verwijderen harde oeververdediging;
2. het verwijderen/doorbreken van kribvak-afsluitende langsdammen;
3. het zodanig wijzigen van het stuwbeheer dat meer variabiliteit in waterstanden ontstaat;
4. het lokaal verwijderen van vegetatie om verstuiving te bevorderen;
5. het verjongen van de oeverzone door afgraving.

De vormgeving van kribben is van grote invloed op de morfodynamiek in de oeverzone. Er is meer onderzoek nodig om inzicht te krijgen in hoe een veranderde vormgeving van kribben zal ingrijpen op het morfodynamisch processencomplex in de oeverzone.

Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek met betrekking tot uiterwaardgeulen te bevorderen zijn:

1. inlaatwerken van nevengeulen anders vormgeven om meer dynamiek toe te staan;
2. oevers van nevengeulen vormgeven in overeenstemming met de toegestane dynamiek (steile oevers horen bij hoog-dynamische geulen waarin erosieprocessen plaats kunnen vinden, flauwe slikkige oevers passen bij laag-dynamische geulen);
3. lokale verlagingen/onderbrekingen in oeverwallen of zomerkades aanbrengen om crevassevorming te bevorderen.

Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek in de uiterwaard-/weerdvlakte te bevorderen zijn:

1. het verwijderen van zomerkades om de overstromingsfrequentie te verhogen;
2. het verlagen van delen van de uiterwaard om de overstromingsfrequentie en -duur te verhogen.

Maatregelen die kunnen worden genomen om de morfodynamiek in riviergetijvlaktes te herstellen zijn:

1. het doorsteken van kades;
2. het zodanig vormgeven van in- en uitstroomopeningen dat de getijslag in het achterliggende bekken maximaal is.

Per riviertak en -traject bestaan grote verschillen in: (1) historische morfodynamiek, (2) huidige morfodynamiek, (3) potenties voor toekomstige morfodynamiek. Maatregelen om morfodynamiek te stimuleren zullen goed afgestemd moeten worden op de riviertraject-specifieke eigenschappen en kansen. De fysiotopenkaart geeft een goed inzicht in zowel de historische als huidige morfodynamiek en is daarom geschikt als informatiebron voor het plannen van de juiste maatregelen om de natuurlijke morfodynamiek van de Nederlandse rivieren waar mogelijk te herstellen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Morfodynamische processen zijn sturend voor de natuurkwaliteit van het rivierenlandschap. In het rivierengebied zijn erosie en sedimentatie onder invloed van rivierafvoer, het getij en de wind de belangrijkste vormende processen. De dynamiek van deze erosie- en sedimentatieprocessen leidt tot steeds weer veranderende patronen van terreinvormen en wetlands enerzijds, en de daarbij behorende veelheid aan milieugradiënten anderzijds (Cushing et al., 2006; Gordon et al., 2004; Petts & Amoros, 1996).

Door bedijking, normalisatie en kanalisatie van de Nederlandse rivieren hebben morfodynamische processen nog maar beperkte ruimte. Toch behoort het rivierenlandschap nog steeds tot de meest dynamische landschappen in Nederland (Berendsen, 2008a, 2008b; Peters, 2008; Peters et al., 2006).

In de laatste decennia is het herstel van riviernatuur langs de Maas en de Rijn takken onderwerp van diverse beleidsprogramma's: de Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG), de Maaswerken, de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (PKB-RvR) en de Kaderrichtlijn Water (KRW). Het herstel van morfodynamische processen als basis voor natuurherstel speelt hierin een belangrijke rol (Anoniem, 1999; Anoniem, 2003; Anoniem, 2007; Anoniem, 2009; Stuurgroep Rivierengebied, 1991).

In het verleden is veel onderzoek gedaan naar de kansrijkdom van het herstel van morfodynamische processen voor de verschillende riviertrajecten (Liefveld et al., 2000; Maas, 1998, 2000, 2002; Maas & Hobo, 2007; Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Van den Ancker & Jungerius, 1997). Deze onderzoeken richtten zich vooral op de ruimtelijke schaal van riviertrajecten. In de uitwerking van inrichtings- en beheersplannen blijkt echter dat er kansen voor het herstel van riviernatuur onbenut blijven door een gebrek aan kennis van morfodynamische processen op uiterwaardschaal. Deze studie beoogt toepasbare kennis te leveren voor herstel en behoud van morfodynamiek in uiterwaardprojecten.

1.2 Doelstelling en aanpak

De doelstelling van het voorgestelde onderzoek is om, op uiterwaard-/weerdniveau, inzicht te krijgen in de effecten van verschillende inrichtings- en beheersmaatregelen op morfodynamische processen in natuurontwikkelingsprojecten in het rivierengebied. Morfodynamische processen worden in deze studie gekoppeld aan fysiotopen, de abiotische componenten van ecotopen. Fysiotopen kunnen het product zijn van morfodynamische processen in het verleden (die momenteel niet meer actief zijn), of in een evenwicht zijn met huidige morfodynamische processen. De inventarisatie van morfodynamische processen in het rivierengebied vond in

deze studie plaats door: (a) kartering van fysiotopen en (b) veldwerk waarin de huidige activiteit van de gekarteerde fysiotopen is vastgesteld. Dit laatste is gedaan voor tien geselecteerde uiterwaarden/weerden. In deze uiterwaarden/weerden zijn tevens (recent) uitgevoerde maatregelen geëvalueerd, qua effecten op morfodynamiek. Op basis van kartering en veldwerk zijn kansen voor de toekomst geïdentificeerd. Deze kunnen positief worden beïnvloed door maatregelen die ingrijpen op een aantal morfodynamiek bepalende factoren.

1.3 Afbakening

Deze studie beperkt zich tot de abiotische kant van natuurherstel in het rivierengebied. Relaties tussen morfodynamiek en biotische natuurwaarden, hoewel dat er vele zijn, worden buiten beschouwing gelaten. Het projectgebied strekt zich uit over de buitendijkse delen van de Rijntakken en de Maas vanaf de Nederlandse grens tot aan de mondingen van de Bergsche Maas, de Beneden-Merwede en de Nieuwe Merwede, de Lek en de IJssel.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van morfodynamische processen en fysiotopen van het zomerbed en de uiterwaarden en werden van de Nederlandse grote rivieren. Ook worden in dit hoofdstuk de bepalende factoren voor morfodynamiek onderscheiden. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de methode van fysiotopenkartering behandeld. In hoofdstuk 4 wordt de huidige morfodynamiek van tien geselecteerde uiterwaarden en werden beschreven en de relatie met recent genomen maatregelen ingeschat. Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van de huidige morfodynamische processencomplexen per uiterwaard-/weerdzone op basis van de gegevens uit het veldonderzoek. In hoofdstuk 6 volgen de conclusies en aanbevelingen, gericht op de beheerspraktijk in uiterwaarden.

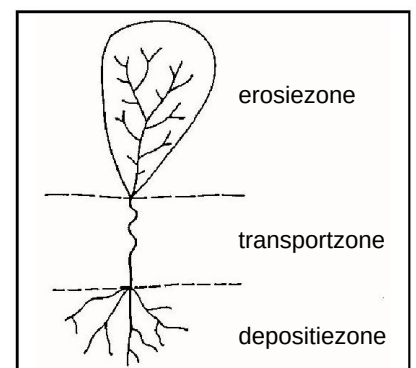
2 Morfodynamische processen en fysiotopten

2.1 Inleiding

Vanuit morfodynamisch oogpunt zijn rivieren te omschrijven als systemen die water en sediment (grind, zand en klei) transporteren door een of meer geulen. Dit transport omvat een complex van processen op verschillende tijd- en ruimteschalen. De morfologie van de geul(en) en de overstromingsvlakte is een resultaat van een evenwicht van sedimentaanbod, transportcapaciteit van de stroom en lokale kenmerken in het landschap (Nanson & Croke, 1992).

Het morfodynamische processencomplex varieert ruimtelijk, afhankelijk van de plaats in het stroomgebied van de rivier. Schumm (1977) maakt onderscheid in drie verschillende geomorfologische zones in het stroomgebied (Fig. 2.1):

- De erosiezone is het, relatief hooggelegen en reliëfrijke, brongebied van water en sediment. Overheersende erosie zorgt hier voor voortdurende sedimentproductie.
- In de transportzone is de verblijftijd van het sediment (geologisch gezien) relatief kort, doorvoer van de sedimenten uit de erosiezone overheerst. Sedimentpakketten die tijdelijk in de dalvlakte worden afgezet worden vaak later weer versneden, zodat de voor deze zone kenmerkende terrassen ontstaan.
- De depositiezone kenmerkt zich door een gering verhang, waardoor de sedimenttransportcapaciteit laag is, zodat afzetting van sediment overheerst. In deze zone komen riviervtakkingen voor en kan getijdenwerking optreden in de riviermonding(en).



Figuur 2.1 Geomorfologische stroomgebiedsindeling volgens Schumm (1977).

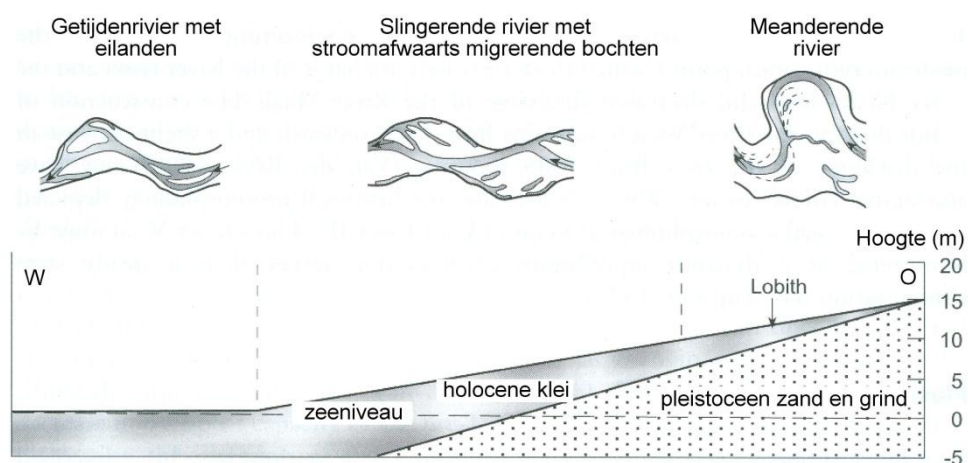
Voor de Nederlandse grote rivieren geldt dat de Maas tot Heumen in de transportzone ligt, waarin de huidige riviervlakte wordt begrensd door terrasranden. Het benedenstroomse deel van de Maas en alle Nederlandse Rijntakken zijn laaglandrivieren die in de depositiezone liggen. De laaglandrivieren zijn bedijkt, en de mondingen van de Maas, Waal en Lek staan onder invloed van getijdenwerking. De Nederlandse terrassenrivieren en laaglandrivieren kunnen op grond van geomorfologische kenmerken verder in trajecten worden onderverdeeld. In Bijlage 1 worden deze trajecten en hun fysische kenmerken beschreven.

In de laterale zin kan het riviersysteem worden onderverdeeld in een rivierbedding en de bijbehorende overstromingsvlakte, de uiterwaard in het geval van een bedijkt laaglandrivier, of de weerd in het geval van een

terrassenrivier. Hieronder zal de morfodynamiek van geulen en overstromingsvlakte afzonderlijk worden behandeld en zullen de belangrijkste bepalende factoren worden beschreven.

2.2 De morfodynamiek van het zomerbed

De morfodynamiek van de riviergeul is sterk gekoppeld aan het geulpatroon. In de Nederlandse grote rivieren komen van origine drie geulpatronen voor (Fig. 2.2). In het bovenrivierengebied was veelal sprake van meanderende rivieren met een relatief hoge kronkelfactor (afstand langs de rivierbedding gedeeld door de afstand langs een rechte lijn). Veel van de grote meanders zijn thans afgesneden. Toch is de bij dit riviertype behorende morfologie, met reeksen in de binnenbocht gevormde banken (zogenoemde kronkelwaarden) nog goed te herkennen langs de Boven-Rijn, de IJssel en de stroomopwaartse delen van de Nederrijn, de Waal en de Maas. Het tweede riviertype is dat van de licht slingerende rivier met stroomafwaarts migrerende bochten (Fig. 2.3). Deze rivier heeft een veel lagere kronkelfactor en kenmerkt zich door de vorming van banken in het stroomopwaartse deel van de buitenbocht. Langs de Midden-Waal tussen Nijmegen en Tiel kwam dit riviertype voor en momenteel zijn de hierbij behorende bankpatronen nog in de uiterwaarden terug te vinden. Het ontstaan van dit riviertype hier, is behalve door natuurlijke factoren, ook door de bedijking bepaald. De aanleg en bescherming van de dijken beperkte de laterale uitbouw van meanders en leidde tot meer stroomafwaartse migratie. Toch komen dergelijke rivieren ook onder natuurlijke omstandigheden tot ontwikkeling (Makaske & Weerts, 2005). Het derde riviertype is dat van de rechte (vaak ook licht slingerende) rivier, die oevers nauwelijks erodeert en niet actief bochten vormt en verlegt (Makaske, 2001). Deze geulen komen voor in het benedenrivierengebied. De Lek stroomafwaarts van Schoonhoven is een goed voorbeeld. Langs deze geulen zijn uiterwaarden vaak smal of geheel afwezig. Onder invloed van de getijdenbeweging ontstonden in een deel van deze rivierarmen stabiele slikkige eilanden (Maas, 2000; Wolfert, 2001).



Figuur 2.2 Riviertypen in het Nederlandse rivierengebied uitgezet langs een oost-west doorsnede, waarin het verhang en de opbouw van de ondergrond schematisch zijn weergegeven (naar Wolfert, 2001).

In de natuurlijke situatie wordt het geulpatroon van rivieren door twee hoofdfactoren bepaald: (1) de beschikbare stromingsenergie, en (2) het

sediment in de natte doorsnede van de rivierbedding. De eerste factor is in feite het product van de afvoer van de rivier en het verhang van de bedding. De tweede factor wordt bepaald door het grove sediment op de bodem van de bedding en in banken en het, vaak fijnere, sediment dat in eroderende oevers wordt aangetroffen.

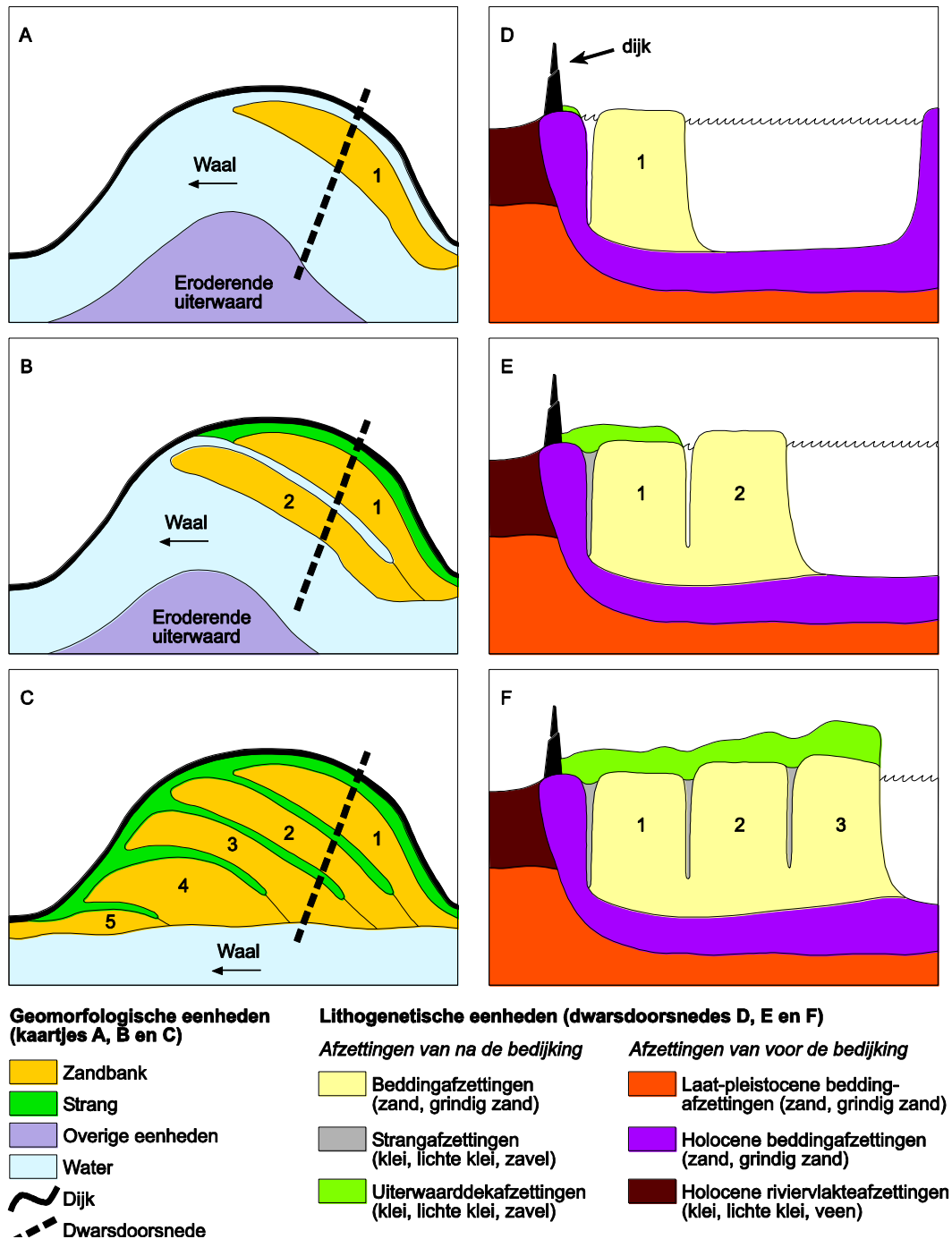
Als maat voor de stromingsenergie wordt vaak het specifieke stromingsvermogen genomen, gedefinieerd als:

$$\omega = \gamma g Q_{\text{ma}} S / B$$

waarin:	ω	= specifieke stromingsvermogen (W/m^2)
	γ	= soortelijk gewicht van water (kg/m^3)
	g	= zwaartekrachtsversnelling (m/s^2)
	Q_{ma}	= gemiddelde jaarlijkse afvoer (m^3/s)
	S	= verhang van de bedding (-)
	B	= breedte van de geul (m)

In het algemeen geldt: hoe groter het specifieke stromingsvermogen van een geul, hoe meer deze de neiging zal hebben om oevers te eroderen en eilanden, banken en meanders te vormen. De bovenbeschreven drie riviertypen vormen een logische reeks van afnemend specifiek stromingsvermogen, voornamelijk door een stroomafwaarts afnemend verhang. In het algemeen hebben meanderende rivieren een specifiek stromingsvermogen van ~ 5 tot 350 W/m^2 (Ferguson, 1981), en rechte rivieren een specifiek stromingsvermogen van $< 10 \text{ W/m}^2$ (Nanson & Croke, 1992). Slingerende rivieren met stroomafwaarts migrerende bochten nemen een tussenliggende energetische positie in (Makaske & Weerts, 2005). De bereiken voor het stromingsvermogen vertonen aanzienlijke overlap, die deels veroorzaakt wordt door de invloed van het oevermateriaal. In Nederland geldt dat de oevers stroomafwaarts steeds steviger worden, door een westwaarts dikker wordend pakket van holocene klei- en veenlagen, waardoor het erosiepotentieel afneemt. De oevers van de Lek stroomafwaarts van Schoonhoven bijvoorbeeld, bestaan uit dikke veenpakketten die zeer moeilijk erodeerbaar zijn. Langs de Boven-Rijn worden de oevers gevormd door makkelijk erodeerbare zanden. De grote meanders die hier in het verleden zijn gevormd zijn het gevolg van een relatief hoog stromingsvermogen, maar ook van de erodeerbaarheid van de oevers.

Ook het sediment in de bedding is van belang voor de morfodynamiek van de geul. Hierbij geldt: hoe grover, hoe meer energie nodig is voor transport en actieve morfodynamiek in de geul. De grindrijke Grensmaas heeft een hoog stromingsvermogen dat oploopt tot 100 W/m^2 , met name door een groot verhang van 50 cm/km (ter vergelijking: de Beneden-Maas heeft een verhang van $\sim 1 \text{ cm/km}$). Om grind te transporteren is echter ook veel meer energie nodig dan om zand te transporteren. De mate van actieve morfodynamiek reflecteert dus altijd een verhouding tussen beschikbare stromingsenergie en de benodigde energie om het lokaal in de bedding aanwezige sediment in beweging te krijgen. De textuur van het sediment in de geul wordt meestal gekarakteriseerd door de mediane korrelgrootte (D_{50}) van het beddingmateriaal.

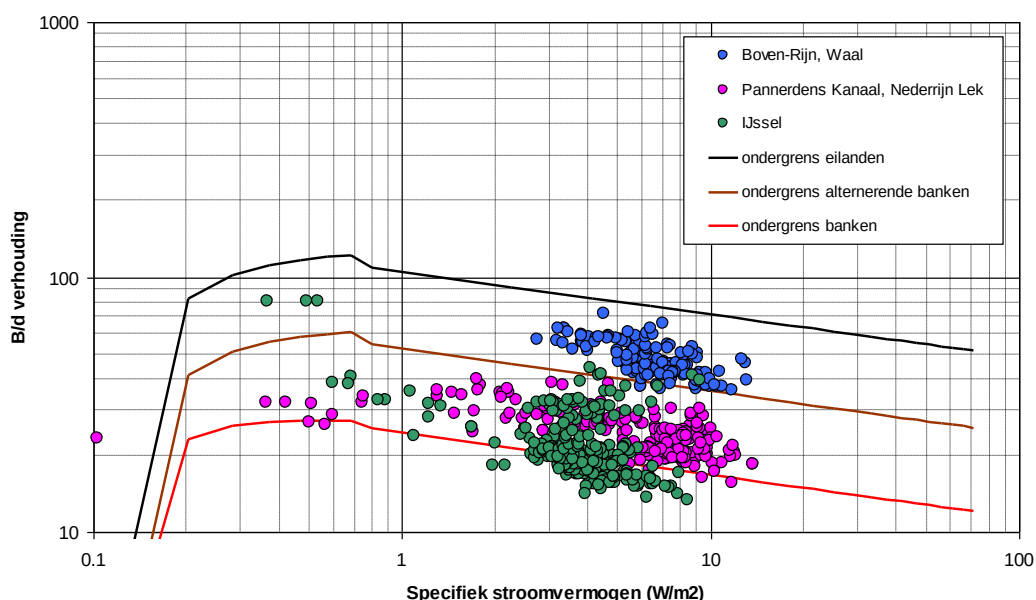


Figuur 2.3 De vorming van uiterwaarden langs de Waal door stroomafwaartse verplaatsing van bochten en afzetting van zandbanken in de buitenbocht (kaartjes A, B en C). De dwarsdoorsnedes D, E en F geven (sterk verticaal overdreven) de opbouw van de uiterwaard weer.

Een belangrijke bepalende factor voor bankvorming is de breedte/diepte-verhouding van de bedding. Deze is in de natuurlijke situatie voor een belangrijk deel een gevolg van de erodeerbaarheid van de oevers en de beschikbare energie voor erosie. Momenteel wordt de breedte/diepte-verhouding van de Nederlandse rivieren echter hoofdzakelijk door de mens bepaald, door middel van kribben. Wanneer de breedte/diepte-verhouding wordt uitgezet tegen het specifieke stromingsvermogen kunnen op basis van morfodynamische theorieën verschillende zones met betrekking tot potenties

voor bankvorming worden onderscheiden. In Figuur 2.4 is te zien dat vorming van plaatsvaste banken in binnenbochten in de meeste riviertrajecten in Nederland tot de mogelijkheden behoort, maar dat alleen de Boven-Rijn en de Waal de neiging hebben om regelmatige patronen van zogenoemde alternerende banken (banken die afwisselend aan weerszijden langs de oevers worden gevormd, onafhankelijk van een eventueel meanderpatroon van de bedding) te vormen. Potenties voor eilandvorming/bankvorming midden in de geul zijn momenteel niet in de Nederlandse rivieren aanwezig.

In de Merwedes en de benedenlopen van de Lek, Maas en Waal is een significante getijslag aanwezig. Deze getijslag is van grote invloed op het sedimentatieproces in de geul. Doordat tweemaal daags tijdens vloed de stroomsnelheden in de geul flink afnemen kan fijn slib tot afzetting komen. In de natuurlijke situatie leidde dit proces tot eilandvorming en de ontwikkeling van slikken en gorzen in de bedding. Bovendien konden onder invloed van de getijenergie zich in de getijvlakte kreeksystemen ontwikkelen. In de huidige situatie is de getijslag door afsluiting van de zeearmen sterk beperkt en is de geul zodanig vastgelegd door kribben en oeververdediging dat vormen in de bedding zich nog maar nauwelijks kunnen ontwikkelen. Door bekading is de getijvlakte voor ontwikkeling van nieuwe kreeksystemen afgesloten.



Figuur 2.4 De potenties voor bankvorming in de Nederlandse Rijntakken op basis van specifiek stromingsvermogen en breedte/diepte-verhouding. Te zien is dat de punten voor de Boven-Rijn en de Waal plotten in het gebied van alternerende-bankvorming, terwijl de punten voor het Pannerdens Kanaal, de Nederrijn-Lek en de IJssel overwegend plotten in de zone van plaatsvaste bankvorming in binnenbochten. Een deel van de IJssel-punten valt beneden de ondergrens van bankvorming, wat betekent dat iedere bankvorming onderdrukt wordt. In een soortgelijk diagram voor de Maas trajecten vallen nagenoeg alle punten in de zone van plaatsvaste bankvorming in binnenbochten (Middelkoop et al., 2003).

Samenvattend kunnen de volgende sturende factoren voor morfodynamiek in de beddingen van Nederlandse rivieren worden onderscheiden:

- het stromingsvermogen (als product van afvoer en verhang);
- de breedte/diepte-verhouding;
- de korrelgrootte van het beddingmateriaal;
- de consistentie van de oevers;
- de getijslag.

De morfodynamiek in de geul kan beïnvloed worden door maatregelen die op deze vijf factoren ingrijpen.

2.3 De morfodynamiek van uiterwaarden en weerden

De huidige morfologie in de uiterwaarden en weerden is voor een groot deel bepaald door processen in het verleden, die momenteel door menselijke ingrepen uitgebannen zijn. De ondergrond van de uiterwaarden bestaat voor het overgrote deel uit vormen die ooit in de bedding ontstaan zijn. Dit betreft zandige banken die als aanwas langs de oever ontstonden, samenhangend met de laterale verplaatsing van de bedding. Tussen deze zandige banken zijn kronkelwaardgeulen en strangen bewaard gebleven, die geleidelijk met kleiig, en vaak enigszins organisch, materiaal dichtslibden. De zandige banken werden afgedekt met zavelige oeverafzettingen. Toen de rivierbeddingen rond 1850 werden genormaliseerd en met kribben werden vastgelegd was het proces van uiterwaardvorming door bankaanwas verleden tijd en ging alleen het proces van opwas door. Het golvende reliëf van banken, oeverwallen en geulen werd afgedekt door een zavelig uiterwaarddek. Langs de huidige bedding is dit dek relatief dik en zandig ontwikkeld en heeft het een oeverwalvorm. Verder van de rivier is het kleiiger en dunner en heeft het de bestaande morfologie afgevlakt.

In stromend water kan sediment op verschillende manieren getransporteerd worden: rollend over de bodem, salterend (springend) of suspensief (zwevend). Het in de uiterwaarden afgezet sediment bestaat voor het overgrote deel uit suspensief aangevoerd sediment. Het sedimenttransport vanuit de bedding van de rivier naar de overstromingsvlakte vindt vooral plaats onder invloed van twee processen: diffusie en convectie. Diffusie is het proces waarbij sediment in rivierwater zich, dwars op de stroombanen, verplaatst van een plaats met een hoge concentratie (in de bedding) naar een plaats met een lage concentratie (de uiterwaard). Convectie houdt in dat het sediment door waterstroming de uiterwaard in getransporteerd wordt. Beide processen zijn van belang voor sedimentafzetting in uiterwaarden en veroorzaken ruimtelijke variaties in de hoeveelheid en de textuur van afgezet sediment.

Wanneer een gebied onderloopt vanuit een rivier slaat op korte afstand van de geul veel relatief grof (meestal sterk zandig) sediment neer (Fig. 2.5). Dit wordt vooral veroorzaakt door (turbulente) diffusie van sediment vanuit de rivierbedding. Omdat de minder snelle stroming boven de uiterwaard minder sediment kan transporteren slaat op korte afstand van de bedding veel van het zandige sediment neer in de vorm van langgerekte oeverwallen. Op sommige plaatsen stroomt bij hoogwater sedimentrijk water de uiterwaard in. Doordat wrijving langs de bodem de ondiepe stroming sterk afremt en omdat de stroming vaak uitwaaiert slaan ook hier de grovere delen op korte afstand van de bedding neer. Zowel onder condities van diffusie als convectie nemen

de hoeveelheid en gemiddelde korrelgrootte van het afgezette sediment sterk af met een toenemende afstand tot de bedding (Middelkoop & Asselman, 1998).



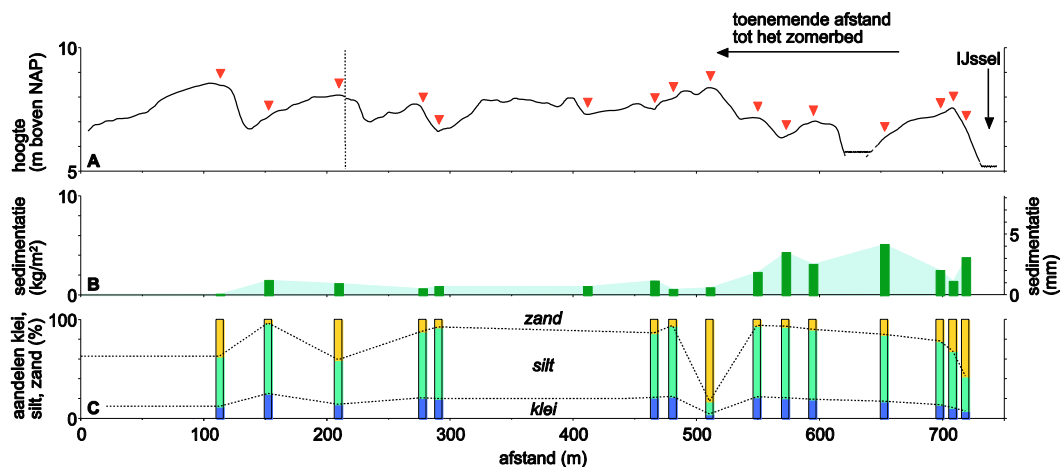
Figuur 2.5 Zandafzetting op de oever na hoogwater.

Uiteraard kan het water ook veel fijnere sedimenten bevatten die bij een afnemende stroomsnelheid makkelijk in transport kunnen blijven. Afzetting van deze, kleiige en siltige, fracties onder rustige stromingscondities is vooral een kwestie van tijd. De valsnelheid van sedimentdeeltjes in een waterkolom is kwadratisch afhankelijk van de diameter van die deeltjes. Zeer kleine sedimentdeeltjes hebben dus zeer lange tijd nodig om te bezinken. Het proces van vlokvorming (waarbij deeltjes in rustig water aggregeren tot vlokken die vele malen de diameter van individuele deeltjes hebben) bespoedigt echter wel de sedimentatie. De patronen in de hoeveelheid afgezet fijn materiaal zijn vooral gerelateerd aan de topografie van het oppervlak. Hoe lager de locatie, hoe groter de waterkolom en hoe meer sediment zal bezinken. Bovendien blijven lage plaatsen het langste nat en is er dus het meeste tijd beschikbaar om zelfs de fijnste fracties te laten bezinken.

In de praktijk spelen de verschillende ruimtelijke trends in sedimentatie door elkaar heen, hetgeen geïllustreerd kan worden met Figuur 2.6. In deze figuur is een topografisch profiel van een uiterwaard langs de IJssel met veel reliëf te zien. De oriëntatie van het profiel is loodrecht op de bedding van de IJssel. Op de gemarkeerde locaties is de sedimentatie tijdens een hoogwaterperiode gemeten. Van de opgevangen sedimentmonsters is niet alleen de hoeveelheid bepaald, maar ook de korrelgroottesamenstelling. In de figuur is de trend van afnemende sedimentatie met toenemende afstand tot de bedding van de IJssel duidelijk te zien. Daarnaast is echter ook te zien dat de laagtes meer sediment invangen dan de naastgelegen ruggen. Verder is ook de trend van sterk afnemende zandgehaltes met toenemende afstand tot de IJssel duidelijk te zien. Drie pieken in zandgehalte op grotere afstand tot de rivier zijn gerelateerd aan, lokaal aanwezige, zandige molshopen op de hoogste ruggen.

Figuur 2.6 geeft ook een beeld van de absolute hoeveelheden sediment die verwacht kunnen worden bij overstroming met rivierwater. Ruwweg is de sedimentatie langs grote rivieren in zandige oeverwalmilieus in de orde van een 0,5 tot 1 centimeter per jaar. Op de kleiiger uitwaardvlakte is het reëel om rekening te houden met een sedimentatie in de orde van één tot enkele mm's per jaar (Maas et al., 2003).

Uit onderzoek is gebleken dat de mate van zandige oeversedimentatie langs de Nederlandse rivieren een sterke relatie vertoont met de breedte/diepte-verhouding van de aangrenzende rivierbedding (Schoor & Sorber, 1998). Hoe hoger de breedte/diepte-verhouding, hoe meer zandig sediment bij hoogwater op de oever wordt afgezet. De verklaring hiervoor schuilt waarschijnlijk in het feit dat de steile oever van beddingen met een lage breedte/diepte-verhouding een barrière vormt voor grof sediment dat in het algemeen diep in de geul getransporteerd wordt.



Figuur 2.6 (a) Topografie van een transect door de uiterwaard langs de IJssel bij Cortenoever. De driehoekjes markeren de locaties van sedimentatiemetingen. (b) Gemeten sedimentatie in het transect gedurende de hoogwaterperiode van 2001. (c) Aandelen zand, silt en lutum van opgevangen sedimentmonsters. (naar Maas & Makaske, 2003)

Onderzoek van Hobo et al. (2010) suggereert dat de snelheid waarmee de uiterwaarden zich ophogen is afgenomen in de afgelopen 50 jaar. Op drie meetlocaties langs de IJssel en Waal bleken gemiddelde sedimentatiesnelheden sinds ca. 1960 hoger te zijn dan metingen tijdens recente hoogwaters. Dit verschijnsel weerspiegelt de afname van de overstromingsfrequentie van de uiterwaarden doordat het uiterwaardoppervlak zich ophoogt ten opzichte van het rivierbed. Ook rivierbeddaling door erosie (Ten Brinke, 2005) leidt tot afnemende overstromingsfrequentie. Dit verschijnsel wordt autonome bodemdaling genoemd en wordt door menselijke ingrepen in het riviersysteem veroorzaakt.

Lokaal kunnen bij hoogwater ook erosieprocessen in de uiterwaard actief zijn. Op enkele plaatsen hebben zich hierdoor crevassegeulen gevormd. Deze geulen ontstaan door erosie van dwars over de oeverwal stromend water. Achter de oeversversnijding kunnen waaiers van sediment afgezet worden.

Algemene erosievormen zijn steiloevers in kribvakken die ontstaan door afslag van de oeverwal door golven die worden opgewekt door passerende schepen. Dit proces speelt vooral bij middelhoge tot lage waterstanden.

Een laatste belangrijke vorm van morfodynamiek in uiterwaarden is rivierduinvorming. Vooral bij laagwater, wanneer rivierstranden tussen de kribben blootliggen en uitdrogen kan bij gunstige windrichting en –snelheid verstuiving optreden, waarbij het zand van de stranden op de hogere delen van de oeverwallen geblazen, waar het ingevangen wordt in de vegetatie. (Isarin et al., 1995; Van den Ancker & Jungerius, 1997).

De huidige morfodynamiek in de uiterwaarden/weerden bestaat dus hoofdzakelijk uit: (1) zandige oeverwalvorming, (2) slibafzetting in de uiterwaard/weerd en (3) de geleidelijke opvulling van strangen, kronkelwaardgeulen en depressies. Lokale processen zijn de vorming van (4) rivierduinen, (5) crevasses en (6) afslagoevers.

Samenvattend kunnen de volgende sturende factoren voor morfodynamiek in de uiterwaarden en werden van Nederlandse rivieren worden onderscheiden:

- de afstand tot het zomerbed;
- de inundatieduur en –frequentie;
- de breedte/diepte-verhouding van de aangrenzende bedding;
- de inrichting van de oeverzone (m.b.t. kribben en oeververdediging).

De morfodynamiek in de overstromingsvlakte kan beïnvloed worden door maatregelen die op deze vier factoren ingrijpen.

2.4 Fysiotopen

Fysiotopen zijn ruimtelijke eenheden met bepaalde hydrodynamische, geomorfologische en sedimentaire kenmerken. Dit zijn de 'primaire abiotische ecosysteemkenmerken' die een belangrijke factor in de biotische ontwikkeling vormen (Rademakers & Wolfert, 1994; Van der Molen et al., 2000). Ecotopen worden gevormd door combinaties van fysiotopen en vegetatiestructuren, en zijn voor het hele riviereengebied in kaart gebracht, vooral ten behoeve van vegetatiebeheer in uiterwaarden en hydraulische berekeningen van hoogwaterstanden. In deze studie zijn voor het eerst de fysiotopen van het hele Nederlands riviereengebied gekarteerd. Deze kartering zal in hoofdstuk 3 worden besproken. Hieronder gaan we in op de fysiotopenindeling voor het riviereengebied en de relatie tussen fysiotopen en morfodynamische processen.

De fysiotopen in het riviereengebied zijn het product van de hierboven besproken morfodynamische processen. Deze processen kunnen worden ingedeeld in erosie- en sedimentatieprocessen (Tabel 2.1). Beide processen kunnen zowel lateraal als verticaal actief zijn. Een voorbeeld van laterale erosie is oevererosie, en een voorbeeld van verticale erosie is beddingerosie die leidt tot verdieping van de geul. Ook sedimentatieprocessen kunnen worden ingedeeld laterale sedimentatie, bijvoorbeeld de vorming van een kronkelwaardbank in de binnenbocht van de rivier, en verticale sedimentatie, bijvoorbeeld oeverwalvorming. In sommige gevallen is sprake van zowel laterale als verticale erosie of sedimentatie. Verticale en laterale erosie vinden beide plaats in het geval van oeverversnijding, waarbij zich een crevassegeul vormt die steeds breder en dieper wordt. In het geval van rivierduinvorming is vaak sprake van verticale en laterale sedimentatie, waarbij een rivierduin steeds hoger wordt, maar ook breder, omdat aan de lijzijde zand wordt ingevangen dat over het duin wordt geblazen.

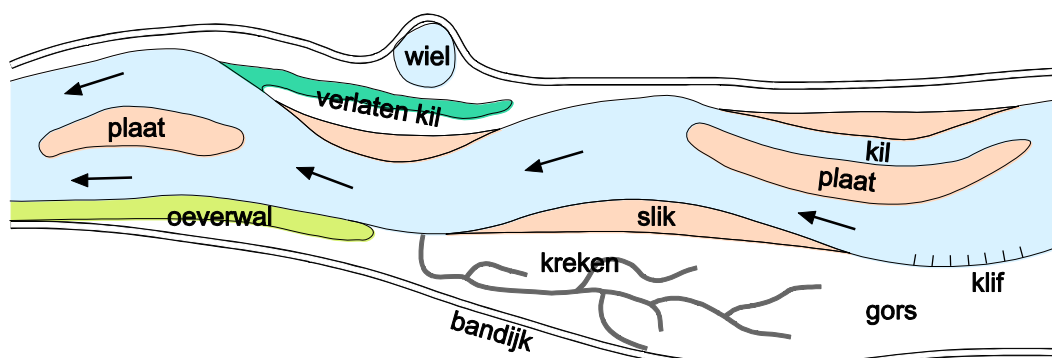
Tabel 2.1 Processen en fysiotoopen in het rivierengebied (naar Maas, 2002).

Proces		Fysiotooop getijdenrivier	Fysiotooop laaglandrivier	Fysiotooop terrassenrivier
<i>Erosie</i>				
	Bedding- erosie	<i>getijdengeul</i>	<i>rivierbedding</i>	<i>rivierbedding</i>
	Oevererosie	<i>klif</i>	<i>afslagoever</i>	<i>afslagoever terrasrand</i>
 	Oever- versnijding	<i>kreek wiel</i>	<i>crevasse wiel</i>	<i>ingesneden beek crevasse wiel</i>
 	Meanderbocht- afsnijding		<i>restgeul (hoefijzermeer)</i>	<i>restgeul (hoefijzermeer)</i>
<i>Sedimentatie</i>				
	Opwas	<i>plaat kil</i>	<i>eiland nevenggeul</i>	<i>eiland nevenggeul</i>
	Aanwas	<i>slik</i>	<i>kronkelwaard- bank</i>	<i>kronkelwaard- bank</i>
		<i>strand</i>	<i>strand</i>	<i>strand</i>
	Oeverwal- vorming	<i>oeverwal</i>	<i>oeverwal</i>	<i>oeverwal</i>
	Opslibbing	<i>gors</i>	<i>uiterwaard</i>	<i>rievervlakte (weerd)</i>
	Dichtslibbing	<i>verlaten kil</i>	<i>strang kronkelwaard- geul</i>	<i>strang kronkelwaard- geul</i>
	Verzanding		<i>nevenggeul</i>	<i>nevenggeul</i>
 	Verstuiving	<i>rivierduin</i>	<i>rivierduin</i>	<i>rivierduin</i>
Erosieprocessen:		Sedimentatieprocessen:		
	= verticale insnijding		= verticale accretie	
	= laterale erosie		= laterale accretie	

In Tabel 2.1 worden drie soorten rivieren onderscheiden op basis van geomorfologische setting (ligging in transport- of depositiezone; Fig. 2.1) en karakteristieke processen (rivierprocessen of een combinatie van rivier- en getijprocessen). Ieder riviertype heeft een eigen set van fysiotoopen. In Tabel 2.1 is te zien dat dezelfde soorten processen in verschillende riviertypes leiden tot min of meer equivalente fysiotoopen. Het proces van oevererosie,

bijvoorbeeld, leidt in de getijdenrivier tot het fysiotoop 'klif', in de laaglandrivier tot het fysiotoop 'afslagoever' en in de terrassenrivier tot een 'afslagoever' of een 'terrasrand'. In Tabel 2.1 zijn de fysiotoopen die zich in het huidige vastgelegde riviersysteem nog steeds kunnen vormen in schuin schrift weergegeven. In de Nederlandse rivieren bestaan momenteel wel potenties voor vorming van kronkelwaardbanken en, in de Boven-Rijn en de Waal, voor vorming van alternerende banken (Fig. 2.4). Door aanwezigheid van kribben en oeververdediging echter, kunnen deze vormen momenteel niet optimaal tot ontwikkeling komen.

In de Figuren 2.7, 2.8 en 2.9 zijn per riviertype de bijbehorende patronen van fysiotoopen schetsmatig weergegeven.



Figuur 2.7 Schetsmatige voorstelling van het patroon van fysiotoopen langs een bedijkte, niet-genormaliseerde getijdenrivier.

In Figuur 2.7 zijn de kenmerkende fysiotoopen, en hun onderlinge ligging, van de getijdenrivier te zien. In het getijdengebied staat de hoofdgeul onder invloed van de horizontale en verticale getijdenbewegingen. Deze *getijdengeul* wordt gevormd door een combinatie van de rivierafvoer en de wisselende eb- en vloedstroom. De naar buiten gerichte ebstroom is doorgaans sterker door de combinatie met rivierafvoer.

In de getijdenrivier kunnen zich door opwas langgerekte, zandige *platen* ontwikkelen die bij laagwater droogvallen. Door de hoge morfologische en hydrologische dynamiek blijven ze meestal onbegroeid. Langs de oevers, doorgaans in de binnenbochten van de slingerende bedding, komen *slikken* voor, door aanwas van slibrijk materiaal. Deze slikken ontstaan in de lage getijdenzone direct boven het gemiddeld laag water (GLW).

Wanneer opwas van zandplaten de bedding splitst in een hoofdbedding en een nevengeul, wordt de secundaire geul van de getijdenrivier een *kil* genoemd. *Verlaten killen* ontstaan wanneer een secundaire geul door verdergaande opwas afgesloten raakt van de hoofdgeul. In verlaten killen vindt langzame sedimentatie van fijn materiaal plaats.

Naast sedimentatie is er in de hoofdgeul ook sprake van oevererosie in de buitenbochten. Hierbij ontstaan steile *kliffen* in het doorgaans cohesieve, slibrijke materiaal dat door de bedding wordt aangesneden.

Evenals langs laagland- en terrassenrivieren vormen zich langs de getijdenrivieren *oeverwallen*, door afzetting van zandig materiaal direct langs de oever bij hoogwater. In het getijdengebied zijn oeverwallen wel relatief fijn van samenstelling, omdat door de getijdenbeweging periodiek lage stroomsnelheden voorkomen waarbij fijn materiaal kan bezinken.

De getijdenvlakte langs een getijdenrivier bestaat grotendeels uit *gorzen*, die voornamelijk door opwas van slikken en platen ontstaan, waarbij de vegetatieontwikkeling een belangrijke rol speelt door het invangen van kleilig materiaal. Op basis van verschillen in de inundatiefrequentie zijn drie soorten gorzen te onderscheiden: lage gorzen, middelgorzen en hoge gorzen. Lage gorzen (riet- en biezengors) zijn opwassen die minder dan 50% van de tijd overstromen, hoge gorzen worden alleen bij springtij geïnundeerd en middelgorzen nemen een tussenliggende positie in qua hydrodynamiek.

Specifiek voor de getijdenrivier is het voorkomen van *kreken*, die ontstaan door versnijding van oevers, slikken en gorzen door overstromingswater. Kreken onderscheiden zich van andere secundaire riviergeulen door de dagelijkse wisseling in stroomrichting als gevolg van de getijwerking. Zij vormen zich vaak sterk vertakkende stelsels en kenmerken zich door de steile oevers die zich ontwikkelen in het cohesieve sediment van de slikken en gorzen. In het sterk door de hoofdtakken van de rivieren gedomineerde deel van het getijdengebied komen ook de fysiotopen strand en rivierduin voor die hieronder bij de laaglandrivier besproken zullen worden.

Bij doorbraken van de bandijk kunnen door erosie in het doorbraakgat diepe *wielen* ontstaan. In buitendijkse wielen zal door de geringe stromingsdynamiek een geleidelijke verlanding optreden door slibafzetting. Sommige wielen zijn door de mens gedempt.

In Figuur 2.8 zijn de kenmerkende fysiotopen, en hun onderlinge ligging, van de laaglandrivier te zien. In de depositiezone zijn de Rijntakken en de Maas overall sinds de Middeleeuwen bedijkt, behalve op plaatsen waar de riviervlakte reeds op natuurlijke wijze werd begrensd door stuwwallen of dekzandruggen.

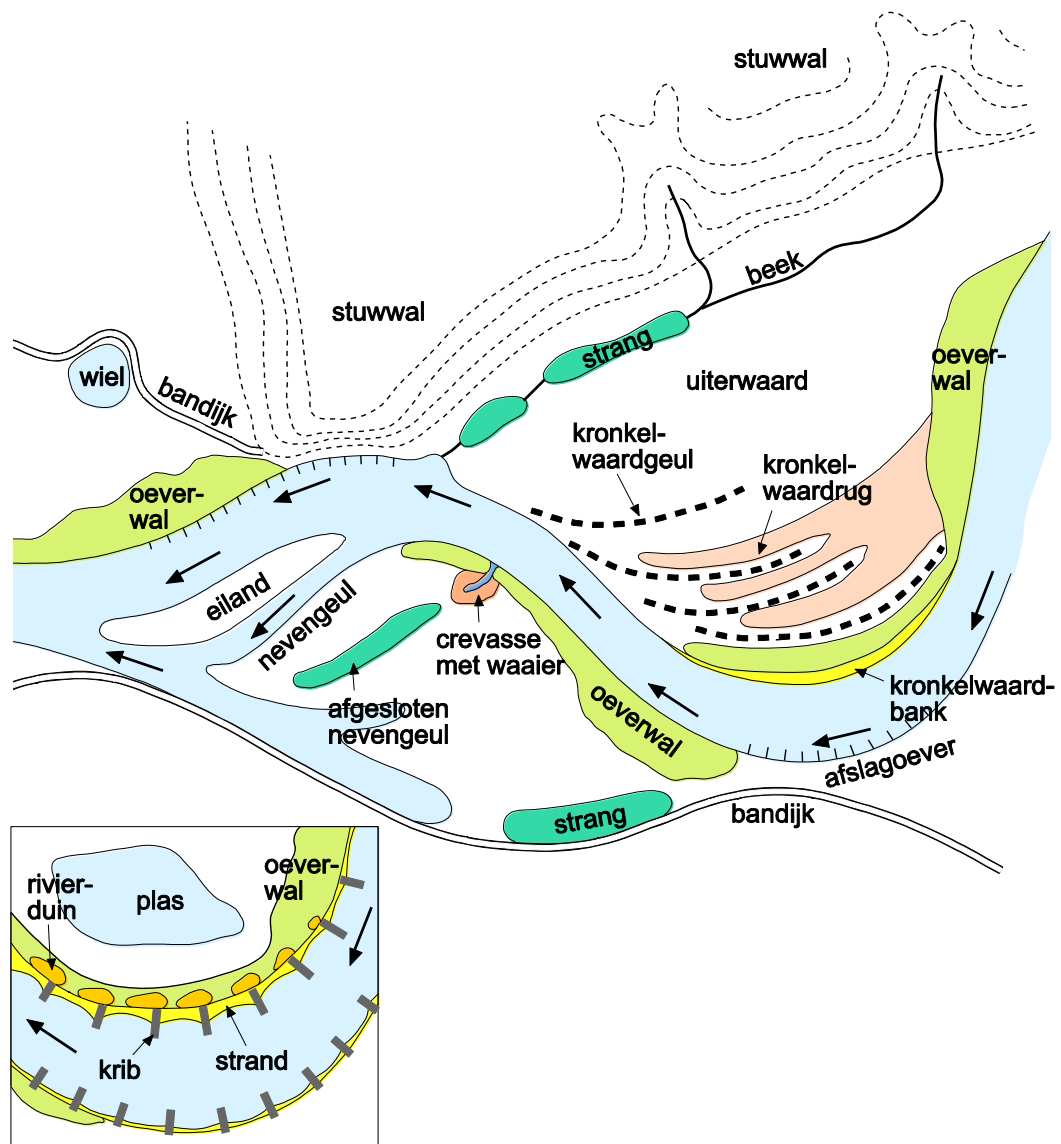
De hoofdgeul van de laaglandrivier was in de meeste trajecten van oorsprong min of meer meanderend. In de bovenstroomse trajecten was vooral sprake van laterale uitbouw van meanders (rechterdeel van Fig. 2.8). In de meer benedenstroomse delen verplaatsten bochten zich vooral stroomafwaarts (linkerdeel van Fig. 2.8; zie ook Fig. 2.3). In buitenbochten vormden zich steile *afslagoevers* door met de bochtmigratie samenhangende oevererosie. Tegenwoordig vinden we afslagoevers hier en daar ook in kribvakken. Meestal gaat het dan om tijdelijke vormen.

In de niet-genormaliseerde situatie ontstaan in de hoofdgeul door sedimentatie lokaal ondieptes die bij lage afvoeren kunnen droogvallen. *Eilanden* zijn bankvormige zandige opwassen in de hoofdgeul die door een *nevengeul* gescheiden worden van de oever. Nieuwe nevengeulen kunnen ontstaan door eilandvorming en bochtafsnijding. Eilanden en nevengeulen horen bij het proces van stroomafwaartse bochtmigratie, zoals dat vroeger langs de Waal voorkwam (Fig. 2.3). Afgesloten nevengeulen bleven achter wanneer eilandvormige banken aan de oever vastgroeiden, al dan niet door menselijk toedoen.

Alternerende banken (niet weergegeven in Fig. 2.8) ontstaan langs de oevers van slingerende of meanderende riviertrajecten, bij relatief hoge breedte/diepte-verhoudingen (Fig. 2.4). Deze banken zijn niet plaatsvast en komen afwisselend langs linker- en rechteroevers voor in een niet door bochten bepaald patroon.

In meanderende trajecten wordt het sedimentatieproces in de binnenbocht tijdens hoge afvoeren versterkt door een goed ontwikkelde spiraalstroming,

die het zand naar de binnenbocht stuwt. Hierdoor ontstaan zogenoemde *kronkelwaardbanken*: sikkelvormige oevertaanwassen in de binnenbocht. Kronkelwaardbanken kunnen bij voortgaande sedimentatie uitgroeien tot *kronkelwaardruggen*. Bij verdergaande laterale bochtverplaatsing ontwikkelen zich reeksen kronkelwaardruggen die van elkaar worden gescheiden door restlaagtes, de *kronkelwaardgeulen*. Deze geulen zijn veel kleiner en ondieper dan nevengeulen. De stroomsnelheid bij hoogwater in deze geulen is gering, en veelal zijn ze opgevuld met een dunne laag (humeuze) klei. Bij verdergaande opslibbing van de uiterwaard zijn de afzonderlijke aan- en opwassen in de ondergrond, waaruit de uiterwaard is opgebouwd, niet meer te herkennen en spreken we van het fysiotoop *uiterwaard*. Vaak zijn nog wel lage en hoge delen in de uiterwaard te onderscheiden.



Figuur 2.8 Schetsmatige voorstelling van het patroon van fysiotoepen langs een bedijkte laaglandrivier (naar Maas, 2002). De hoofdfiguur toont de situatie van voor de normalisatie. In het kader linksonder worden ter aanvulling elementen van de genormaliseerde rivier gegeven.

In de huidige genormaliseerde geulen komen eilanden, alternerende banken en kronkelwaardbanken nauwelijks meer tot ontwikkeling. Ook nevengeulen zijn daarom slechts als kunstmatig gecreëerde fysiotopen aanwezig. Zandafzetting vindt momenteel voornamelijk in kribvakken plaats, waardoor *stranden* ontstaan. Deze zijn wel relatief goed ontwikkeld op de plaatsen waar in een meer natuurlijke situatie alternerende banken of kronkelwaardbanken zouden ontstaan.

Direct langs de hoofdgeul kunnen *oeverwallen* ontstaan: langgerekte ruggen ontstaan door sedimentatie van zand en klei als rivierwater bij toenemende afvoer de bedding verlaat. Oeverwallen zijn vaak goed ontwikkeld langs binnenbochten en zijn doorgaans wat breder op plaatsen waar stroombanen bij hoogwater vanuit de hoofdgeul de uiterwaard inlopen. Bij toename van de hoogte van de oeverwal zal steeds fijner sediment worden afgezet. Dit leidt tot een zogenoemd aflopend profiel. Op hoge oeverwallen kunnen zich *rivierduinen* ontwikkelen door verstuiving van strandzand bij laagwater. Een belangrijke factor voor rivierduinontwikkeling is een gunstige ligging van het strand en de oeverwal ten opzichte van de overheersende windrichting.

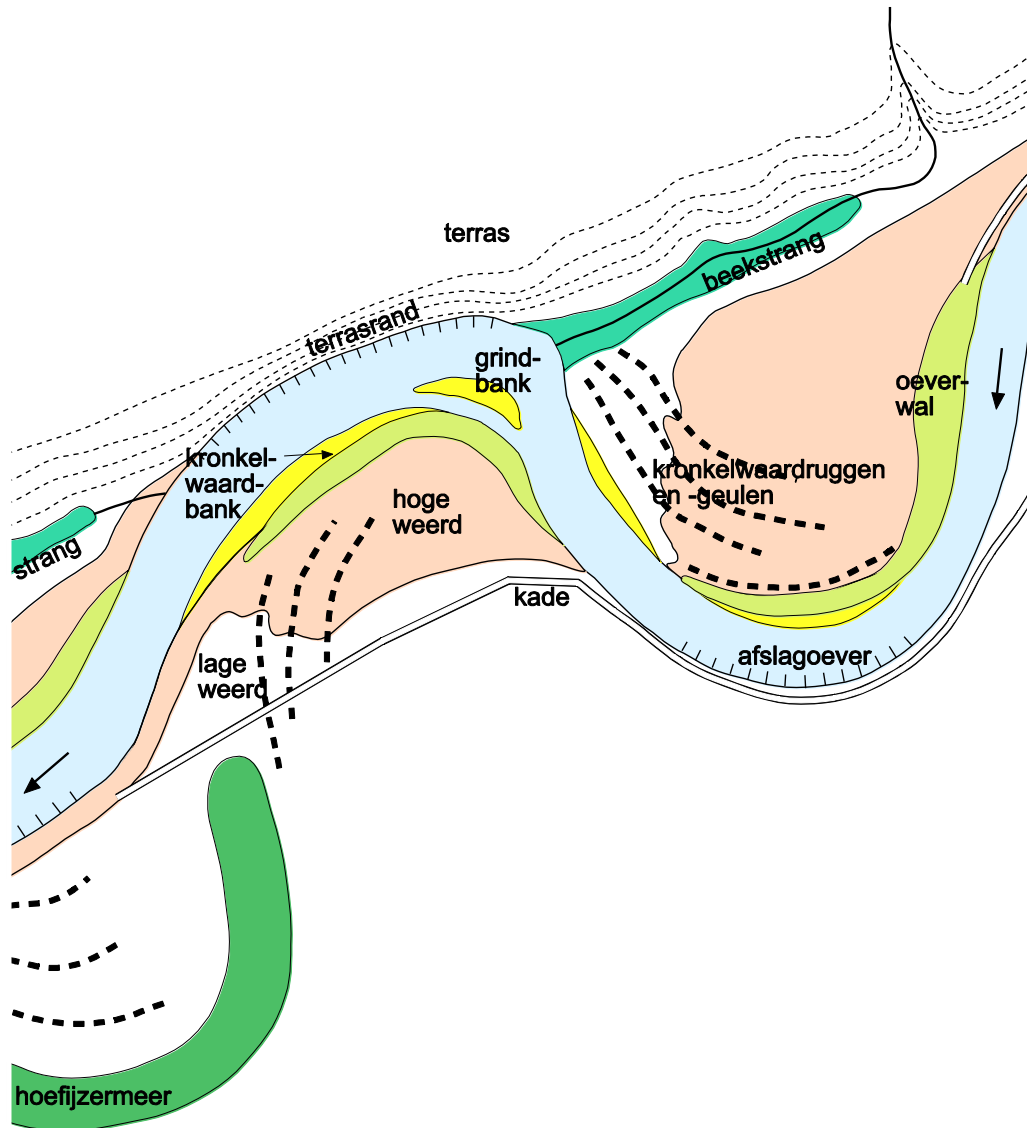
Bij de doorbraak van een oeverwal of een kunstmatige kade ontstaan *crevasses*. Een crevasse is een kleinschalige geul dwars door een oeverwal. Aan het einde van de crevasse waar de stroming uitwaaiert in de overstromingsvlakte kan een waaivormige zandige afzetting ontstaan: de crevassewaaier. Bevorderlijk voor het ontstaan van crevasses is een groot verhang dwars op de oever van de top van een oeverwal naar een laagte in de uiterwaard, zoals een strang.

In de uiterwaardvlakte komen verschillende soorten aquatische fysiotopen voor. *Strangen* zijn relictten van nevengeulen. In laagland- en terrassenrivieren ontstaan strangen op natuurlijke wijze door het verzanden van de in- en uitstroomopeningen van nevengeulen. Daarnaast zijn in het verleden strangen ontstaan door menselijk ingrijpen: het kunstmatig afsluiten van nevengeulen om land aan te winnen en de hoofdgeul beter bevaarbaar te maken. *Restgeulen* (hoefijzermere; weergegeven in Fig. 2.9) zijn overblijfselen van de hoofdgeul na meanderbochtafsnijding. Deze vormen liggen vaak binnendijs en hebben doorgaans een dikke kleivulling. *Wielen* zijn erosiegaten die ontstaan na doorbraak van kades en dijken. Tenslotte zijn er ook (diepe) kunstmatige *plassen* die ontstaan zijn door recente zand- of grindwinning.

In Figuur 2.9 zijn de kenmerkende fysiotopen, en hun onderlinge ligging, van de terrassenrivier te zien. In de bovenstroomse delen van de Maas (tot Heumen) ligt de rivier in de transportzone. Het beddingmateriaal in dit traject is relatief grof en afkomstig van erosie van de pleistocene *terrassen* die de holocene riviervlakte begrenzen. Terrassen zijn min of meer verlaten delen van de overstromingsvlakte die ontstaan door insnijding van de rivierbedding. Door deze natuurlijke begrenzing is bedijking in dit soort trajecten niet nodig. Wel zijn vaak kades aangelegd om lagere delen van terrassen en de huidige riviervlakte van overstroming te vrijwaren. De overstromingsvlakte van de terrassenrivier wordt *weerd* genoemd. Evenals binnen de uiterwaarden van de laaglandrivier zijn binnen de weerd meestal hoge en lage delen te onderscheiden en is vaak een reliëf van *kronkelwaardruggen* en *-geulen* te herkennen.

Langs de terrassenrivier komen veel fysiotopen voor die ook langs de laaglandrivier voorkomen. Ook in de terrassenrivier is de laterale bochtverlegging momenteel bijna overal beperkt door kribben en

oeververdediging. Alleen langs de Grensmaas krijgen natuurlijke morfodynamische processen in het winterbed enige ruimte en ontwikkelen zich *kronkelwaardbanken* en *grindbanken* in de geul. Zelfs in de natuurlijke situatie werd laterale uitbouw van meanders beperkt door de *terrasranden* en werden bochten op veel plaatsen gedwongen zich voornamelijk stroomafwaarts te verplaatsen. Door de geforceerde scherpe bocht tegen het terras kregen de bochten een asymmetrische 'zaagtandvorm'. Door de stroomafwaartse migratie bleef stroomopwaarts langs de terrasrand een geulvormige laagte achter. Beken die het terras afwateren monden vaak via deze laagtes, die *beekstrangen* worden genoemd, uit in de rivier.



Figuur 2.9 Schetsmatige voorstelling van het patroon van fysiotopten langs een bekade, niet-genormaliseerde terrassenrivier (naar Maas, 2002).

3 Fysiotopenkartering

3.1 Inleiding

In dit rapport worden de aanwezige morfodynamische processen langs de grote rivieren afgelezen aan hun producten: de fysiotopen. Kartering van de in een uiterwaard aanwezig fysiotopen op basis van verschillende ruimtelijke databestanden geeft een eerste indruk van de morfodynamische processen. Veel van de langs de rivieren aanwezige fysiotopen verkeren echter niet meer in een evenwicht met huidige morfodynamische processen, maar zijn relictten die getuigen van vroegere processen uit de tijd dat de Nederlandse rivieren nog niet genormaliseerd waren. In dit hoofdstuk komt de vervaardiging van de fysiotopenkaart aan de orde.

De fysiotopenkaart op schaal 1:75000 is als aparte atlas (als pdf-bestand op CD) bijgevoegd. Deze atlas bestaat uit een overzichtskaart met daarop alle riviertrajecten en detailkaarten van de fysiotopen voor ieder riviertraject. Door in de overzichtskaart met de muis te klikken op de naam van het riviertraject, verschijnt direct de fysiotopenkaart van het betreffende traject. Door op de knop 'overzichtskaart' (rechtsboven de fysiotopenkaart) te klikken, verschijnt de overzichtskaart weer. Gezien de karteerschaal is inzoomen in de fysiotopenkaarten tot ca. 400% verantwoord.

3.2 Legenda

De legenda van de fysiotopenkaart sluit aan bij de in Tabel 2.1 onderscheiden fysiotopen. Enkele in Tabel 2.1 genoemde fysiotopen zijn niet gekarteerd, omdat ze niet in het gekarteerde gebied voorkwamen, zoals een aantal getijdenrivierecotopen, of omdat de basisinformatie ontoereikend was om deze eenheden afzonderlijk te karteren. Dit laatste geldt bijvoorbeeld voor afslagoevers. Enkele eenheden zijn samengevoegd. Zo zijn wielen als water in de uiterwaard gekarteerd, en zijn restgeulen, strangen en kronkelwaardgeulen als verlaten uiterwaardgeulen gekarteerd. Een min of meer nieuwe fysiotop voor de laaglandrivier is de slikkige/moerassige rivieroever die een tegenhanger is van de slikken en gorzen van de getijdenrivier. De vergraven uiterwaard is ook 'nieuwe' fysiotop. Beddingfysiotopen, zoals kronkelwaardbanken, alternerende banken en eilanden zijn niet gekarteerd, vooral omdat ze in het huidige riviersysteem nauwelijks voorkomen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gekarteerde fysiotopen en de gebruikte bronnen.

Een aantal fysiotopen is als 'actief' gekarteerd. Het gaat hier om vormen waarvan op basis van veldonderzoek en andere databronnen (bijvoorbeeld luchtfoto's) kan worden vastgesteld dat ze het gevolg zijn van huidige morfodynamiek. De actieve fysiotopen zijn: rivierstranden, zand- of grindbanken, oeverwallen, rivierduinen en crevasses. Van oeverwallen en rivierduinen bestaat ook een 'inactieve' variant. Overigens is er ook

morfodynamiek buiten de actieve fysiotopen, bijvoorbeeld in de vorm van slibafzetting, alleen is die niet in het veld of via luchtfoto's vast te stellen.

Als extra informatie met betrekking tot recente morfodynamiek is aangegeven waar tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 zand is afgezet, op basis van de kartering van Sorber (1997). Deze zandafzettingen zijn op de fysiotopenkaart met een stippelsignatuur over de fysiotopen heen weergegeven.

Tabel 3.1 De legenda van de fysiotopenkaart.

Legenda-eenheden	Databron
Zomerbed	DTB
Nevengeul	DTB
Water in de uiterwaard/weerd	DTB
Stort-/zetsteen, kribben	DTB
Rivierduin (actief)	AHN, luchtfoto's, velddata
Rivierduin (inactief)	AHN, luchtfoto's, velddata
Crevasse (actief)	AHN, luchtfoto's, velddata
Rivierstrand, zand-/grindbank	DTB
Slikkige/moerassige rivieroever	DTB
Oeverwal (actief)	AHN, luchtfoto's, Sorber (1997)
Verlaten uiterwaard-/weerdgeulen	Maas & Hobo (2007) ¹ , GKN ²
Oeverwallen en kronkelwaardruggen	Maas & Hobo (2007) ¹ , GKN ²
Vergraven uiterwaard/weerd (afgegraven/opgehoogd)	Maas & Hobo (2007) ¹ , GKN ²
Uiterwaard-/weerdvlakte	GKN
Meanderruggen en -geulen	GKN ²
Bebouwing	GKN
Zandafzetting 1993/1994, 1995	Sorber (1997)

¹ Voor de Rijntakken

² Voor de Maas

3.3 Databronnen en karteringsmethodiek

De fysiotopenkaart is samengesteld uit gegevens uit een aantal digitale kaartbestanden. Deze gegevens zijn deels handmatig bewerkt en vervolgens in een aantal kaartlagen ondergebracht. Deze kaartlagen zijn gestapeld tot het zichtbare eindproduct. De kaartlagen overlappen elkaar deels en zijn niet in een geografisch informatiesysteem geïntegreerd tot één polygoonbestand.

De volgende databronnen zijn voor de kartering gebruikt:

- het digitaal topografisch bestand (DTB) van de rijkswateren en rijkswegen (Anoniem, 2011a; Anoniem, 2011b);
- de Geomorfologische Kaart van Nederland (GKN), schaal 1:50000 (Koomen & Maas, 2004);
- een fysiotopenkartering van de uiterwaarden van de Rijntakken, gericht op het bepalen van de potenties voor ontwikkeling van stroomdalgraslanden en hardhoutooibossen (Maas & Hobo, 2007);
- het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN) (Van Heerd et al., 2000);
- een serie luchtfoto's uit 2008;
- de kartering van zandafzetting in de uiterwaarden tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 (Sorber, 1997);
- veldobservaties in tien geselecteerde uiterwaarden beschreven in hoofdstuk 4.

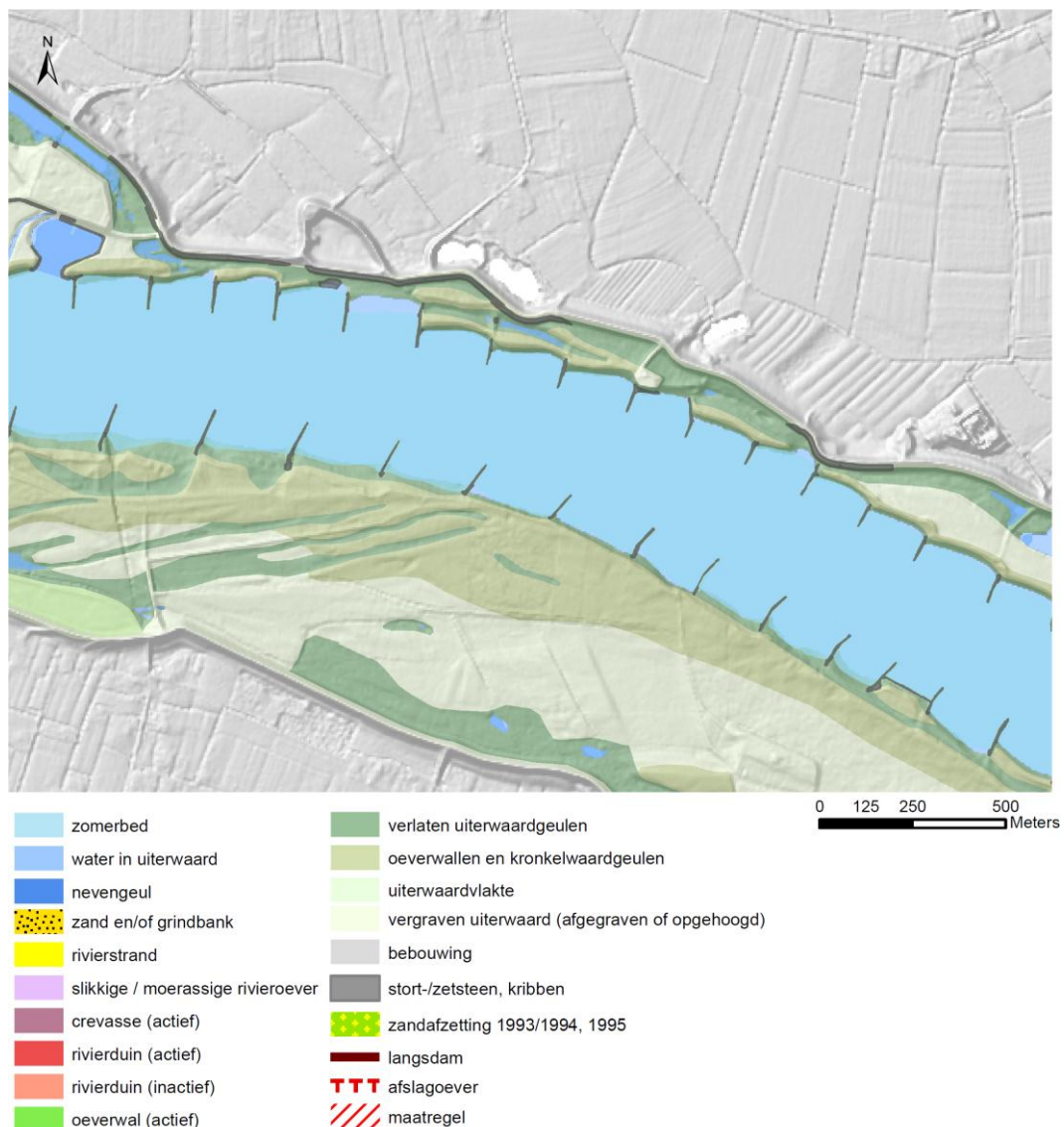
In het karterproces werden de hieronder opgesomde stappen achtereenvolgens gezet.

1. De basis van de kartering wordt gevormd door het AHN-hoogtemodel dat in geschaduweerde weergave het reliëf in de uiterwaarden en weerden. Door de hierboven liggende eenheden transparant te maken blijft het hoogtemodel zichtbaar.
2. Over dit hoogtemodel zijn kaarteenheden uit de fysiotopenkarteringen van Hobo & Maas (2007) voor de Rijntakken gedrapeerd. Voor de Rijntakken zijn uit het GKN-bestand 'uiterwaardvlaktes' (2M27) toegevoegd aan de fysiotopenkartering van Hobo & Maas (2007). Hierbij is op basis van de kartering van Hobo & Maas (2007) eerst een selectie gemaakt van de gave (niet-vergraven) uiterwaardvlaktes in het GKN-bestand. Deze toegevoegde fysiotopen vervangen de dus hier en daar de eenheden van Hobo & Maas (2007). Voor de Maas is een aangepaste versie van de GKN over het hoogtemodel gelegd als basisfysiotopenkaart. In deze aangepaste versie worden de volgende kaarteenheden langs de Maas onderscheiden: 'verlaten uiterwaard/-weerdgeulen' (deze eenheid omvat langs de Maas, in tegenstelling tot langs de Rijntakken ook laaggelegen delen van de dalvlakte), 'meanderruggen en -geulen' (deze eenheid is niet langs de Rijntakken gekarteerd en omvat langs de Maas hoger gelegen rivierterassen en delen van weerden die zelden overstroomd) en 'uiterwaard-/weerdvlakte' (deze eenheid is alleen langs de bedijkte Maas gekarteerd als equivalent van de gelijknamige eenheid langs de Rijntakken).
3. Uit the DTB-bestand is een aantal eenheden geïsoleerd, bewerkt en vervolgens over de bovengenoemde basiskaart gelegd.
 - a. In het DTB zijn de eenheden 'zand' en 'strand' geselecteerd en als apart bestand opgeslagen. Enkele ontbrekende stranden zijn op basis van luchtfoto's handmatig gekarteerd en toegevoegd aan dit bestand. Waar stranden in het DTB worden onderbroken door bomen en struiken (aparte eenheden in het DTB) zijn deze discontinuïteiten handmatig 'weggepoetst'. De (delen van) DTB-eenheden 'zand' en 'strand' die niet aan de rivier grenzen zijn verwijderd. Het resulterende bestand bevat alle rivierstranden.
 - b. In het DTB zijn de eenheden 'stortsteen' en 'steenbekleding' geselecteerd en als apart bestand opgeslagen. De delen van deze eenheden die niet langs de rivier liggen zijn verwijderd. Waar de stenige eenheden in het DTB worden onderbroken door bomen en struiken (aparte eenheden in het DTB) zijn deze discontinuïteiten handmatig 'weggepoetst'. Het resulterende bestand bevat alle oeververdediging en kribben.
 - c. In het DTB zijn de eenheden 'beek', 'wiel', 'ven', 'slik/wad', 'rietland', 'plas', 'moeras', 'meer' en 'kanaal' geselecteerd en als apart bestand opgeslagen. De eenheden 'beek', 'wiel', 'ven', 'plas', 'moeras', 'meer' en 'kanaal' zijn gecodeerd als 'water in uiterwaard'. Bekende nevengeulen zijn apart als zodanig gecodeerd. 'Slik/wad' en 'rietland', de laatste alleen wanneer grenzend aan geulen, zijn gecodeerd als 'slikkige/moerassige rivieroever'.
4. Op basis van luchtfoto's, het AHN en veldgegevens zijn actieve oeverwallen, duinen en crevasses handmatig gekarteerd en als aparte laag toegevoegd aan de kaart over de bovengenoemde kaartlagen heen. Voor het terrassentraject van de Maas zijn ook grindbanken gekarteerd en toegevoegd.

5. Tenslotte is als bovenste laag de kartering van de zandafzettingen tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 (Sorber, 1997) toegevoegd. Deze vlakken zijn in een stippelsignatuur weergegeven om de onderliggende fysiotopen zichtbaar te houden.

3.4 Vergelijking van fysiotopenkaarten

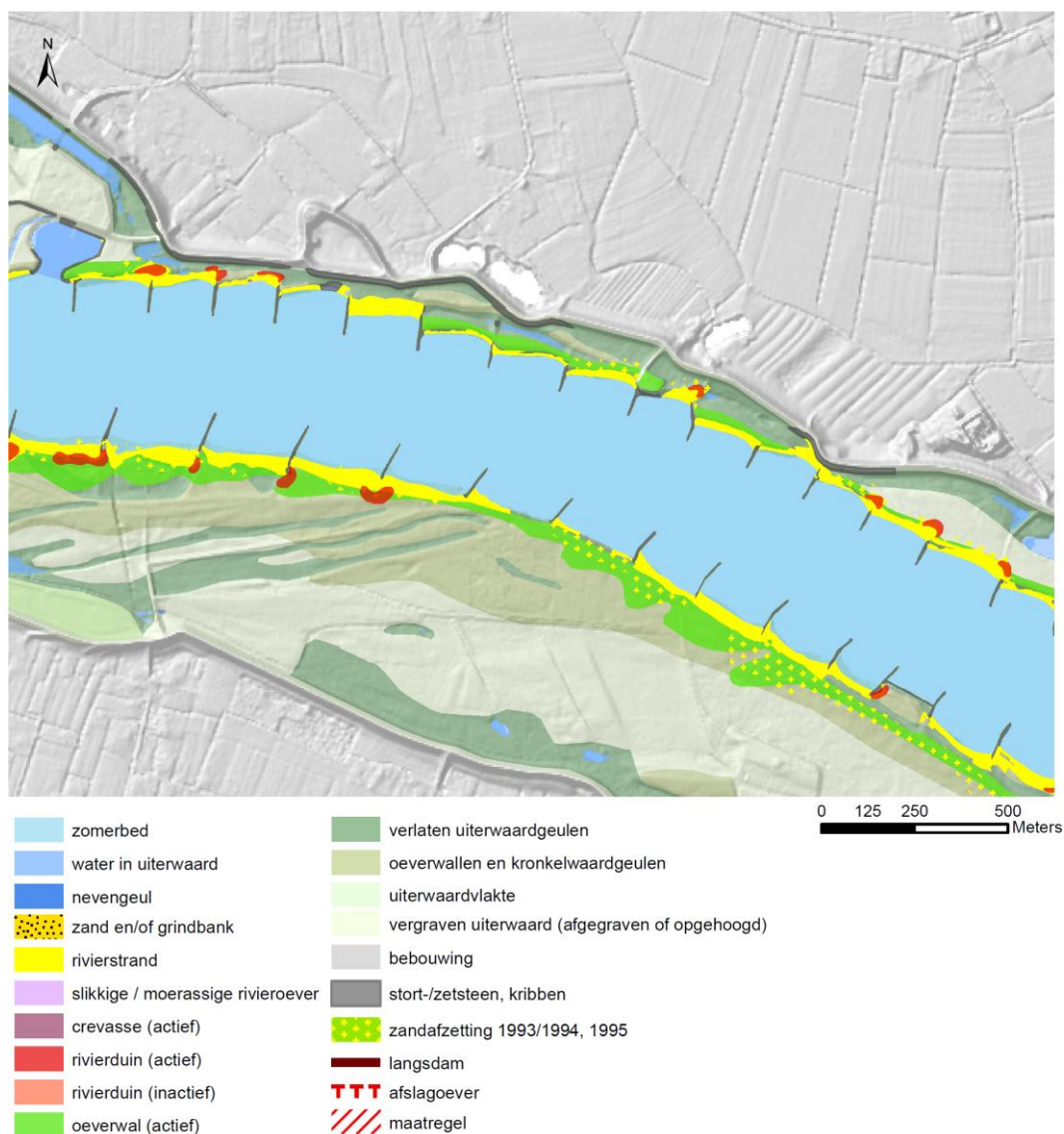
In Figuur 3.1 zijn voor een gebied langs de Midden-Waal twee fysiotopenkaarten weergegeven: de oorspronkelijke fysiotopenkaart van Maas & Hobo (2007), die in deze studie als basiskaart is gebruikt (Fig. 3.1), en de nieuwe met actieve vormen aangevulde fysiotopenkaart, het product van deze studie (Fig. 3.2).



Figuur 3.1 Fysiotopenkaart van Maas & Hobo (2007) voor een gebied langs de Midden-Waal.

In Figuur 3.1 is een patroon van geulen (donkergroen) en ruggen en vlaktes (lichtgroen) in de uiterwaarden te zien. Dit patroon is een relict van rivierprocessen van voor de normalisatie, zoals geschreven in paragraaf 2.2

(zie ook Fig. 2.3). Door vergraving aangetaste delen (zowel opgehoogd als verlaagd) zijn crèmekleurig weergegeven. Deze fysiopenkaart geeft een goed beeld van het huidige vormen in de uiterwaarden, maar toont niet welke zones morfodynamisch actief zijn.



Figuur 3.2 Fysiopenkaart van hetzelfde gebied als in Figuur 3.1 met toegevoegde actieve fysiopen en locaties van zandafzetting tijdens de hoogwaters 1993/1994 en 1995.

In Figuur 3.2 is duidelijk te zien hoe de huidige morfodynamiek zich concentreert in de oeverzone. Een belangrijke aanvulling in de nieuwe fysiopenkaart zijn de riverstranden (geel), die een zandbron zijn voor de eveneens gekarteerde actieve oeverwallen (lichtgroen). De oeverwallen zijn op morfologische gronden, op basis van het AHN, gekarteerd. Een belangrijke indicator voor beoordeling van de activiteit van oeverwallen tijdens de kartering was of er zandafzetting was opgetreden tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995. De plaatsen waar dit het geval was zijn in de kaart ook met een geel gestippelde signatuur weergegeven op basis van de kartering van Sorber (1997). Te zien is dat zandafzetting soms ook naast de actieve oeverwallen is opgetreden. Omgekeerd zijn er delen van de actieve oeverwallen waar in 1993/1994 en 1995 geen zand is afgezet. Duidelijk

geassocieerd met de rivierstranden, zijn de gekarteerde actieve rivierduinen die grotendeels op de actieve oeverwallen, en in dit deel van de Waal vaak op de kribkoppen, gelegen zijn. Dit komt doordat de dominante windrichtingen schuin over de rivierstranden georiënteerd zijn. De activiteit van de rivierduinen is met behulp van luchtfoto's en veldkennis ingeschat.

4 De actuele morfodynamische processen in tien uiterwaarden en weerden

4.1 Inleiding

In tien uiterwaarden is de huidige morfodynamiek in het veld geïnventariseerd. In de meeste gevallen betreft het uiterwaarden en weerden waar in het recente verleden maatregelen zijn genomen in het kader van rivierverruiming en/of natuurherstel. Per uiterwaard/weerd is het effect van de genomen maatregelen op morfodynamiek geëvalueerd. Voor de Maas en de Rijntakken is een lijst van uitgevoerde projecten opgesteld (Bijlage 2). In deze lijst zijn projecten opgenomen die zijn uitgevoerd in het kader van de Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG), het Investeringsbudget Landelijk Gebied (ILG), Ruimte voor de Rivier (RvR), de Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura2000.

Uit deze lijst is in overleg met de opdrachtgever een selectie van tien projecten gemaakt (Tabel 4.1). Geprobeerd is de voor nader onderzoek geselecteerde projecten evenwichtig te verdelen over de verschillende riviertrajecten en de verschillende typen maatregelen. Ook de beschikbaarheid van informatie uit eerdere onderzoeken speelde een rol in de selectie. De geselecteerde projecten zijn tussen 1989 en 2010 uitgevoerd. In Figuur 4.1 zijn de locaties van de geselecteerde uiterwaarden en weerden aangegeven.

Tabel 4.1 Geselecteerde uiterwaarden/weerden per riviertak.

Uiterwaard/weerd	Maatregelen	Jaartal project-afronding
<i>Boven-Rijn, Waal</i>		
Klompewaard	aanleg nevengeul/strang	2002
Ewijkse Plaat	uiterwaardverlaging	1989, 2010
<i>Nederrijn, Lek</i>		
Amerongse Bovenpolder	aanleg langsdammen	2001-2010
	doorsteken van kribben	
	het uitgraven van kribvakken	
Steenwaard-	uitdiepen strangen	
Goilberdingerwaard-Oost	uiterwaardverlaging	2001
	verwijdering kade	

Vervolg Tabel 4.2 Geselecteerde uiterwaarden per riviertak.

Uiterwaard/weerd	Maatregelen	Jaartal project-af ronding
<i>IJssel</i>		
Duursche Waarden	aanleg nevengeul	1989
	verwijdering oeververdediging	2006
Vreugderijkerwaard	aanleg nevengeul	2003
<i>Maas</i>		
Rug van Roosteren	aanleg strang	1996
Kerkeweerd	uiterwaardverlaging	2009
<i>Merwede</i>		
Kop van den Ouden Wiel	n.v.t.	
Mariapolder	doorlaat in kade aangelegd	1994



Figuur 4.1 De locaties van de geselecteerde uiterwaarden en weerden.

4.2 De Klompenwaard

De Klompenwaard ligt langs de Waal, net stroomafwaarts van de Pannerdensche Kop. Tussen 1999 en 2002 is in het kader van NURG een herinrichting van de uiterwaard uitgevoerd. De *maatregelen* waren:

- aanleg van een eenzijdig aangetakte nevengeul (lengte ca. 1200 m, breedte 40-60 m);
- aanleg van een afgesloten strang (ca. 3 ha);
- uiterwaardverlaging in het gebied tussen de meestromende nevengeul en het zomerbed.

De vrij gekomen grond (600.000 m³) is grotendeels gebruikt voor het verstevigen van de scheidingsdam tussen het Pannerdens Kanaal en de Klompenwaard en een dijkversterkingsproject in de buurt. Daarnaast is de bruikbare klei gebruikt voor de baksteenproductie. Het verontreinigde slib dat vrij kwam (ca. 125.000 m³) is verwerkt in een hoogwatervrij terrein voor runderen. Vanaf de start van de uitvoering (1999) was er jaarrondbegrazing van de Klompenwaard met paarden en runderen. Men is tijdens de uitvoering van het project al begonnen met het begrazingsbeheer om de ontwikkeling van wilgenbos en struweel in toom te houden.

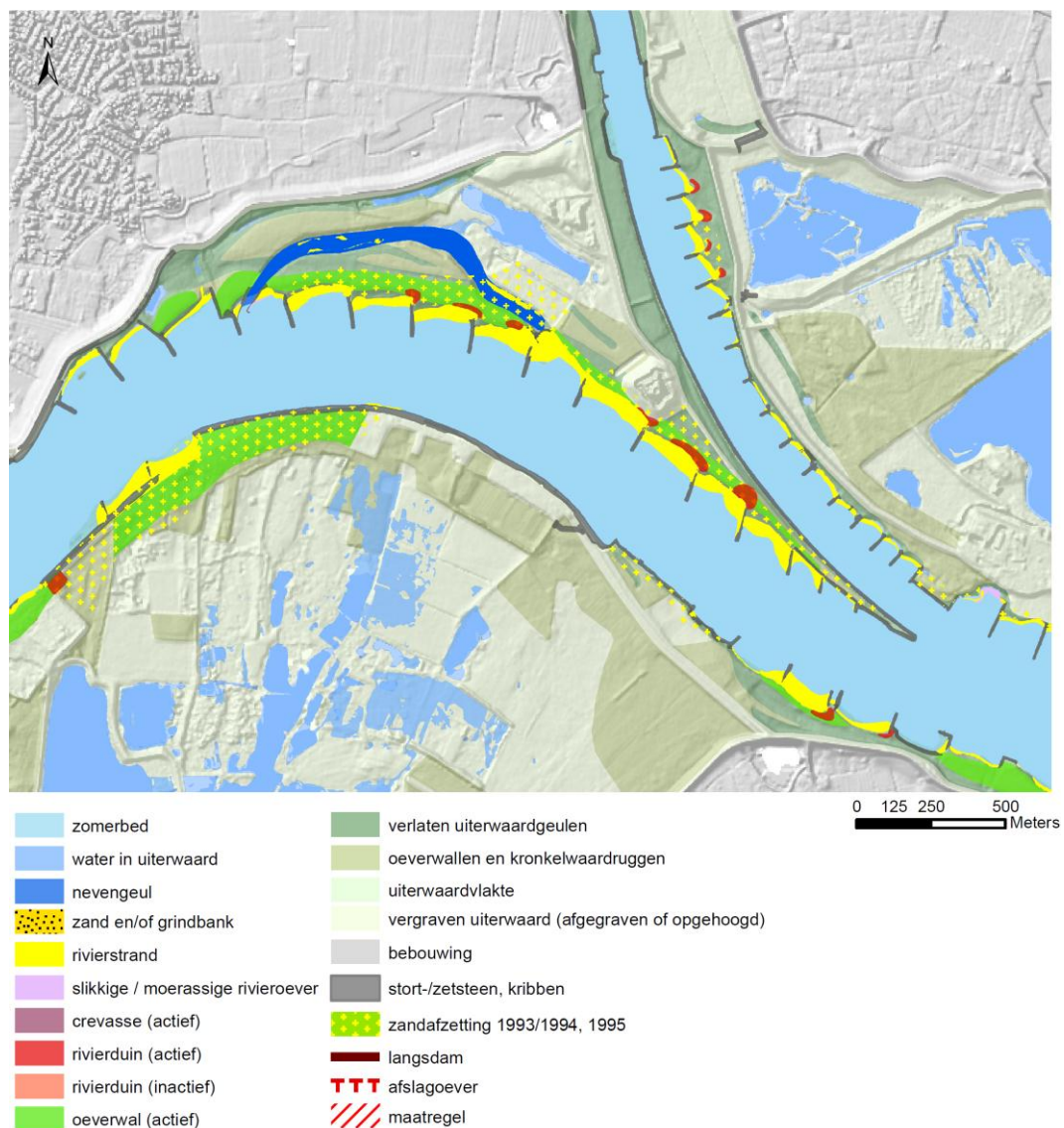
Tijdens het veldbezoek zijn veel actieve morfodynamische processen in de oeverzone waargenomen (Fig. 4.2). In kribvakken had zich op veel plaatsen langs de waterlijn een berm ontwikkeld onder invloed van door scheepvaart veroorzaakte golfslag. Op enkele plaatsen was echter ook een afslagoever in het kribvak te zien. Recente eolische activiteit was te zien op de stranden en de riverduinen op de aangrenzende oeverwallen. Rivierduinen waren vooral goed ontwikkeld in het zuidoostelijke deel van de uiterwaard waar de rivierstranden gunstig gelegen zijn ten opzichte van de overheersende westelijke tot zuidwestelijke windrichting. Aanwijzingen voor recente morfodynamische processen ontbraken nagenoeg in de aangelegde nevengeul. De vrij steil aangelegde oevers waren bijna overal begroeid. Vlak voor de stortstenen drempel die de ingang van de nevengeul afsluit, waren uitgebreide slibafzettingen op het rivierstrand te zien, een indicatie van geringe morfodynamiek. Tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 is er wel op uitgebreide schaal zand afgezet in de oeverzone van de Klompenwaard, met name rond de ingang van de later aangelegde nevengeul en op de Pannerdensche Kop.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* in de Klompenwaard actief zijn:

- rivierstrandvorming;
- oevererosie;
- oeverwalvorming;
- rivierduinvorming.

De aanleg van de nevengeul heeft niet zichtbaar geleid tot grotere morfodynamiek. De dynamiek in de nevengeul wordt sterk beperkt door de hoge drempel in de ingang (Fig. 4.3). Hierdoor zijn de steil aangelegde oevers snel begroeid geraakt en zal, naar verwachting, ook tijdens hoogwater de morfodynamiek beperkt zijn. De effecten van de overige maatregelen (uiterwaardverlaging, aanleg van de strang) waren tijdens het veldbezoek niet vast te stellen. Naar verwachting zal tijdens hoogwater slibafzetting in de strang plaatsvinden en zal (extra) oever sedimentatie van zand in het verlaagde deel van de uiterwaard plaatsvinden bij hoogwater.

De volgende *aanbevelingen* zijn van toepassing als men de morfodynamiek in en rond de nevengeul wil vergroten. Door de vormgeving van de inlaat van de nevengeul te veranderen kan er meer stroming in de geul ontstaan. Te denken valt aan het verlagen van de drempel in de geul, het verwijderen van de krib in de hoofdgeul net stroomopwaarts van de inlaat, eventueel in combinatie met een schephoofd op het splitsingspunt. Verder zou de geul natuurlijker vormgegeven kunnen worden, dat wil zeggen met flauwere oevers en derhalve een hogere breedte/diepte-verhouding. Dergelijke dimensies zouden beter aansluiten bij de morfologie van historische nevengeulen. Ook het eiland tussen de nevengeul en de hoofdgeul zou verder verlaagd moeten worden, zodat het meer op een bank gaat lijken, en er meer morfodynamische interactie tussen nevengeul en hoofdgeul ontstaat.



Figuur 4.2 Fysiotopenkaart van de Klompenwaard met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995.



Figuur 4.3 De drempel in de ingang van de nevengeul in de Klompenwaard.

4.3 De Ewijkse Plaat

De Ewijkse Plaat ligt op de linkeroever van de Waal grotendeels stroomopwaarts van de brug van de A50. In 1989 is de Ewijkse Plaat gedeeltelijk afgegraven (Fig. 4.4), omdat het een hydraulisch obstakel was tijdens hoogwater. Dit is eerder in 1966 gedaan om dezelfde reden.

Na de afgraving in 1989 is het terrein niet opnieuw ingezaaid en in agrarisch beheer genomen. In het tweede jaar na afgraving zijn op een deel van de plaat op grote schaal wilgen ontkiemd, waaruit later een natuurlijk bos is ontstaan. In de tussentijd is op de Ewijkse Plaat een natuurlijk beheer ingesteld met jaarrondbegrazing door paarden en runderen.

In 2008 is in het kader van cyclisch beheer (Peters et al., 2006) een strook bos gekapt, en in het najaar van 2010 zijn schuin over de plaat twee geulen gegraven om de afvoercapaciteit tijdens hoogwater te herstellen.

Tijdens het veldbezoek was goed te zien dat de Ewijkse Plaat na de afgraving in 1989 een sterke morfologische ontwikkeling heeft doorgemaakt. Over grote lengte heeft zich een hoge zandige oeverwal ontwikkeld. Ook de gegevens over zandafzetting tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 ondersteunen deze observatie (Fig. 4.5). De eolische activiteit op deze oeverwal is zeer beperkt, waarschijnlijk door een minder gunstige ligging ten opzichte van de overheersende windrichting. In de geulvormige afgraving van de plaat in het najaar van 2010 is tijdens het hoogwater van januari 2011 sediment afgezet. Bij de monding van de nieuwe geul in de strang is recent sediment afgezet in de strang. Een klein erosief fenomeen is de crevasse in de rand van plaat langs de strang die in Fig. 4.5 is aangegeven. Deze crevasse is al voor het hoogwater van januari 2011 door terugschrijdende erosie ontstaan.



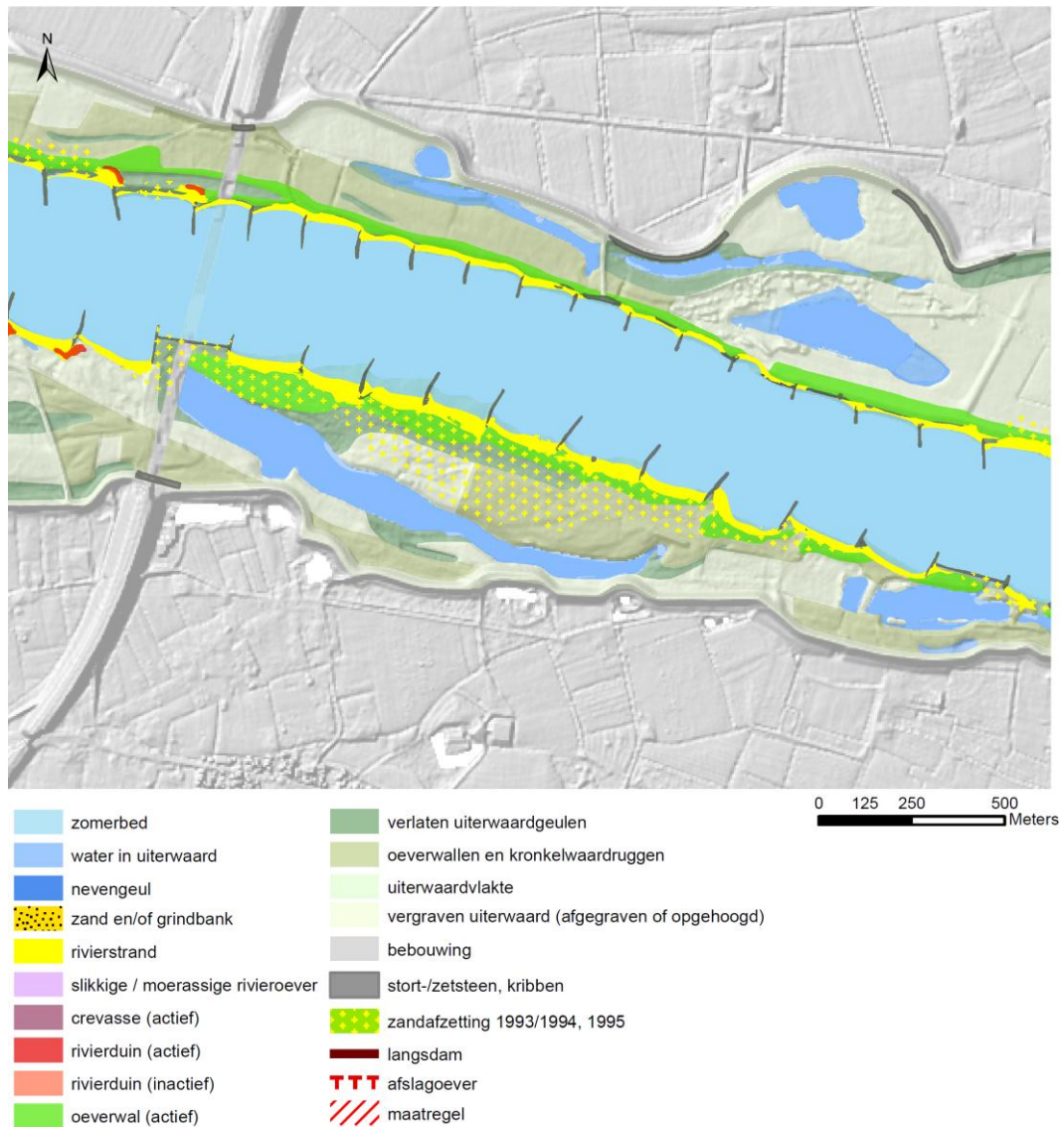
Figuur 4.4 De Ewijkse Plaat net na de afgraving in 1989.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* op de Ewijkse Plaat actief zijn:

- oeverwalvorming;
- crevassevorming;
- dichtslibbing van de strang.

De verlaging van de Ewijkse Plaat is vanuit het oogpunt van bevordering van morfodynamiek een succesvolle maatregel. Sinds de afgraving van de plaat in 1989 is over een groot oppervlak 0,5 tot 1,0 m zand afgezet (Peters et al., 2006). Het is nog te vroeg om het effect van de recent gegraven geul door de plaat te beoordelen. Enige morfodynamiek in de vorm van opvulling van deze geul is echter al wel waargenomen.

Vanuit het oogpunt van morfodynamiek valt te pleiten voor het opnieuw volledig afgraven van de Ewijkse Plaat. Dit levert behalve meer morfodynamiek ook meer waterstandsverlaging bij hoogwater op. De recente geschiedenis van de plaat heeft aangetoond dat de vorm zich spoedig zal herstellen.



Figuur 4.5 Fysiotopenkaart van de Ewijkse Plaat met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995.

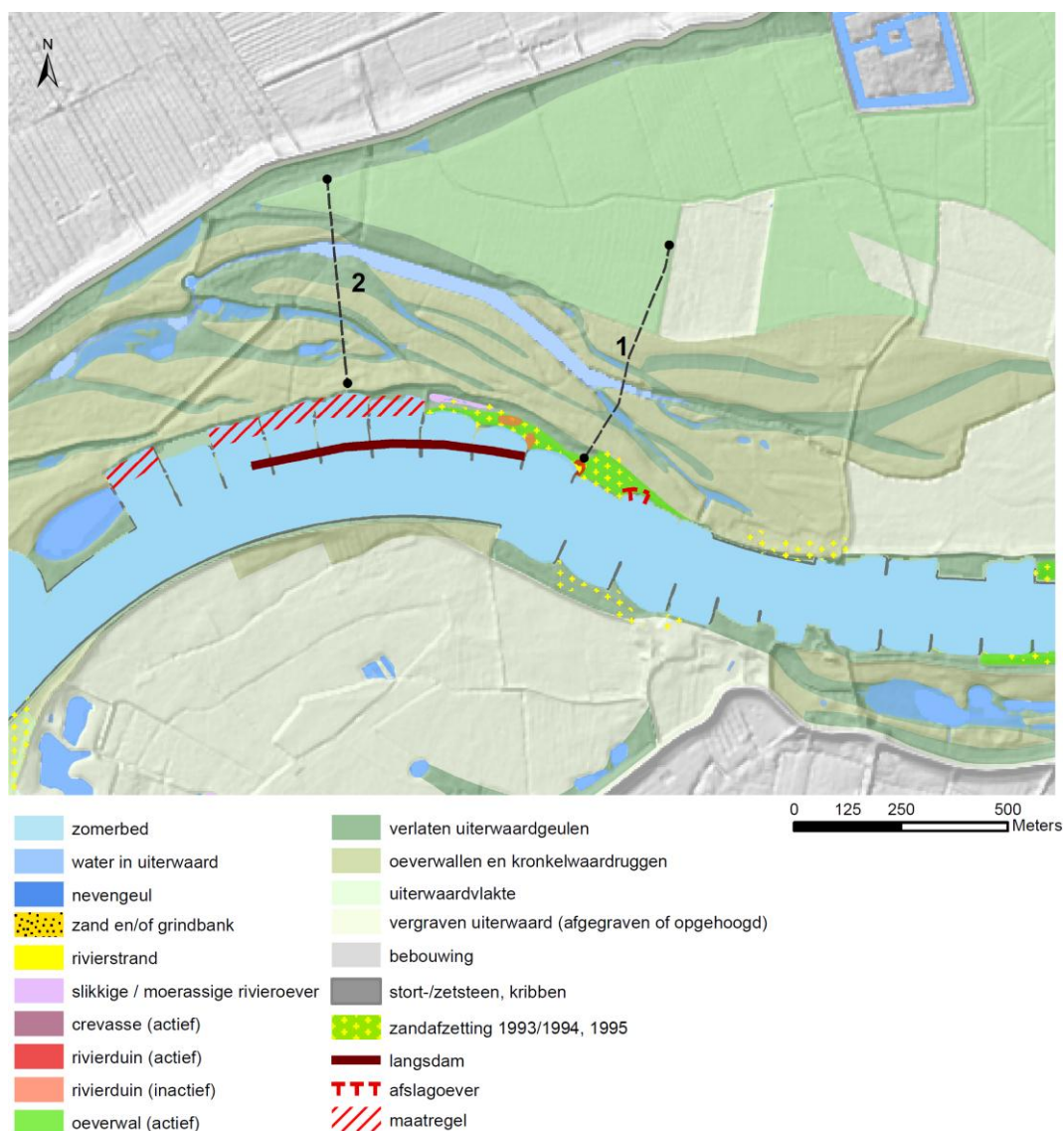
4.4 Amerongse Bovenpolder

De Amerongse Bovenpolder bestaat uit twee delen: het geheel bekaide oostelijke deel en het deels bekaide westelijke deel. Aan de noordoostzijde grenst het gebied aan de Utrechtse Heuvelrug.

In het bekaide oostelijke deel is een kwelmoeras van 45 ha aangelegd door het verwijderen van de bovenste kleilaag. Ten zuiden van het moeras is een oude strang uitgegraven. Het moeras wordt gevoed door schoon, ijzerrijk grondwater afkomstig van de Utrechtse Heuvelrug. Het terrein wordt beheerd middels jaarrondbegrazing door paarden en runderen. Door de bekading is morfodynamiek in dit oostelijke deel nagenoeg afwezig.

In het deels bekaide westelijke deel ligt langs het huidige zomerbed op de noordoever een gaaf reliëf van ruggen en geulen die zijn ontstaan door

- aanleg van langsdammen;
- doorsteken van kribben;
- uitgraven van kribvakken.



Figuur 4.6 Fysiotopenkaart van het westelijk deel van de Amerongse Bovenpolder met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995. Ook de twee raaien waarin sedimentatie tijdens het hoogwater van 2001 is gemeten (Fig. 4.8) zijn aangegeven.

Het veldbezoek richtte zich op het westelijke deel van de Amerongse Bovenpolder. In dit deel bevindt zich een vrij hoge oeverwal langs de noordoever van de Nederrijn met daarop kleine inactieve riverduinen (Fig. 4.6). Uit te afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995

blijkt dat deze oeverwal als een actieve vorm beschouwd moet worden. Iets stroomopwaarts van het gebied waar de maatregelen in de kribvakken zijn uitgevoerd zijn ook enkele afslagoevers in deze oeverwal te zien (Fig. 4.7). In het gebied waar de maatregelen genomen zijn lijkt morfodynamiek in het kribvak afwezig. De oevers zijn hier goed begroeid en worden niet geflankeerd door rivierstrandjes.



Figuur 4.7 Afslagoever in oeverwal in de Amerongse Bovenpolder.

In 2001 is in de Amerongse Bovenpolder onderzoek gedaan naar de opslibbing van de uiterwaard. Dit was onderdeel van het onderzoek beschreven in Maas et al. (2003), waarin de gegevens over de Amerongse Bovenpolder echter niet zijn opgenomen. In twee raaien (zie Fig. 4.6 voor locatie) zijn slibmatten gelegd, en na het hoogwaterseizoen (januari-april 2001; hoogste afvoer bij Lobith $8664 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn deze weer verzameld en is het hierop afgezette sediment gedroogd en gewogen. In Figuur 4.8 is de gemeten hoeveelheid sedimentatie langs de twee raaien weergegeven. Te zien is dat verreweg het meeste sediment binnen 100 tot 200 m van het zomerbed wordt afgezet op de hoge oeverwal. In de uiterwaard achter de oeverwal worden kleine hoeveelheden relatief fijn slib afgezet. In Figuur 4.8A is ook in de uiterwaardvlakte achter de oeverwal ($>200 \text{ m}$) een geleidelijke afname van de hoeveelheid afgezet sediment met toenemende afstand tot het zomerbed te zien. In Figuur 4.8B zijn kleine variaties te zien in de hoeveelheid afgezet sediment die waarschijnlijk samenhangen met het ruggen-en-geulen-reliëf in raai 2 (Fig. 4.6): in geulen wordt meer sediment afgezet dan op ruggen (zie ook Fig. 2.6).

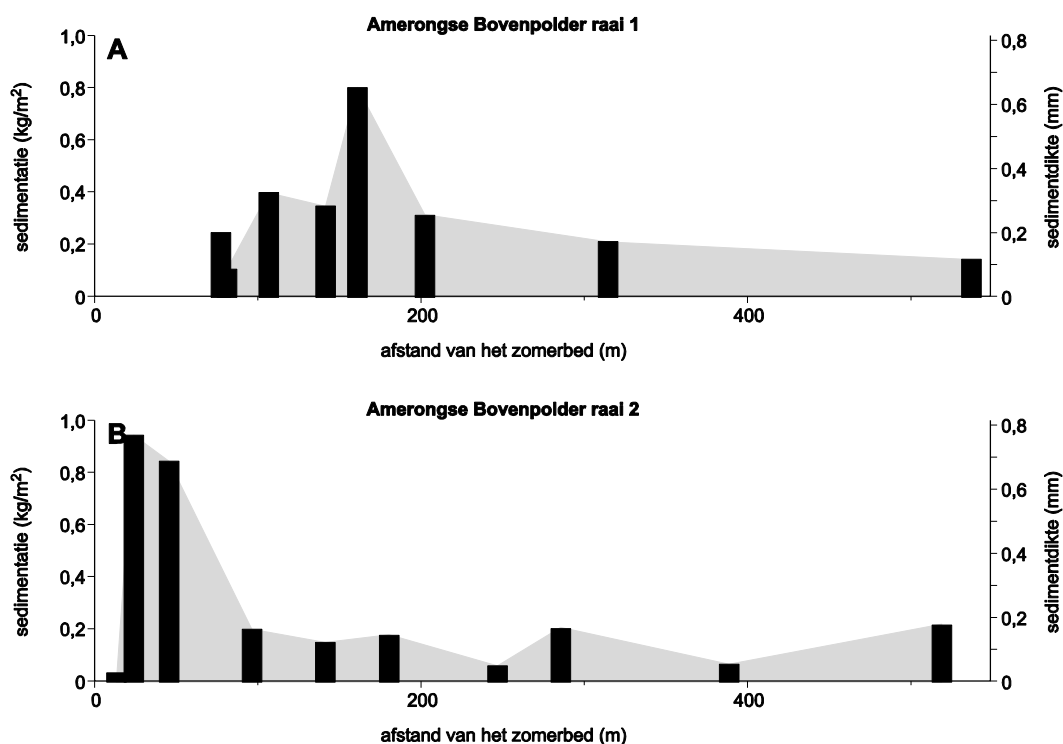
Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* in de Amerongse Bovenpolder actief zijn:

- oevererosie;
- oeverwalvorming;
- slibafzetting in de uiterwaard.

De maatregelen die genomen zijn in het westelijke deel van de Amerongse Bovenpolder hebben geleid tot verminderde morfodynamiek in de oeverzone. Vorming van afslagoevers in de kribvakken is door de aanleg van

langsdammen succesvol tot staan gebracht. Afzetting van zand en vorming van rivierstranden in de kribvakken vindt niet meer plaats en aanwezige rivierduinen zijn niet meer actief. Door het vrij constante, gestuwde waterpeil in de Nederrijn is de potentie voor rivierstrand- en rivierduinvorming sowieso al zeer beperkt. Mogelijk stamt de periode van activiteit van de aanwezige rivierduinen van voor de aanleg van de stuwen. Het is onduidelijk in hoeverre de maatregelen in de kribvakken het proces van oeverwalsedimentatie bij hoogwater beïnvloeden. De beschikbare metingen van dit proces (Fig. 4.8) stammen van voor de maatregelen.

De volgende *aanbevelingen* zijn van toepassing als men de morfodynamiek in de Amerongse Bovenpolder wil vergroten. De morfodynamiek in de oeverzone kan vergroot worden door de langsdammen te verwijderen om zo zandtransport van hoofdgeul naar kribvak weer mogelijk te maken en zo de oeverzone van meer sediment te voorzien. De morfodynamiek verder van de hoofdgeul wordt momenteel in een groot deel van de Amerongse Bovenpolder gefrustreerd door de aanwezige zomerkades die de uiterwaardvlakte vrijwaren van overstroming bij matige hoogwaters. Het verwijderen of doorsteken van de zomerkades zou meer morfodynamiek buiten de oeverzone mogelijk maken.



Figuur 4.8 Totale sedimentatie langs twee raaien in de Amerongse Bovenpolder als functie van de afstand tot het zomerbed. (A) Sedimentatie gemeten langs raai 1. (B) Sedimentatie gemeten langs raai 2. De ligging van de raaien is in Figuur 4.6 aangegeven.

4.5 De Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost

De Steenwaard ligt bovenstrooms van de stuw bij Hagestein aan de noordoever van de Lek. Langs de oever ligt een smalle oeverwal die door een geulvormige laagte wordt gescheiden van de hogere (deels bekaide) uiterwaard. Deze smalle oeverwal ligt op een bank die zich sinds de normalisatie door opwas in de kribvakken heeft gevormd. In het grootste deel van de Steenwaard is het oorspronkelijke reliëf sterk aangetast door vergraving. In het westelijke deel van de Steenwaard is nog een gaaf reliëf aanwezig van ruggen en geulen die zijn ontstaan door stroomafwaartse bochtmigratie. Langs het meest stroomafwaartse deel van de uiterwaard sluiten langsdammen de kribvakken af. Hier en daar zijn de oevers in de kribvakken van de Steenwaard verdedigd met grof grind en keien (Fig. 4.9).

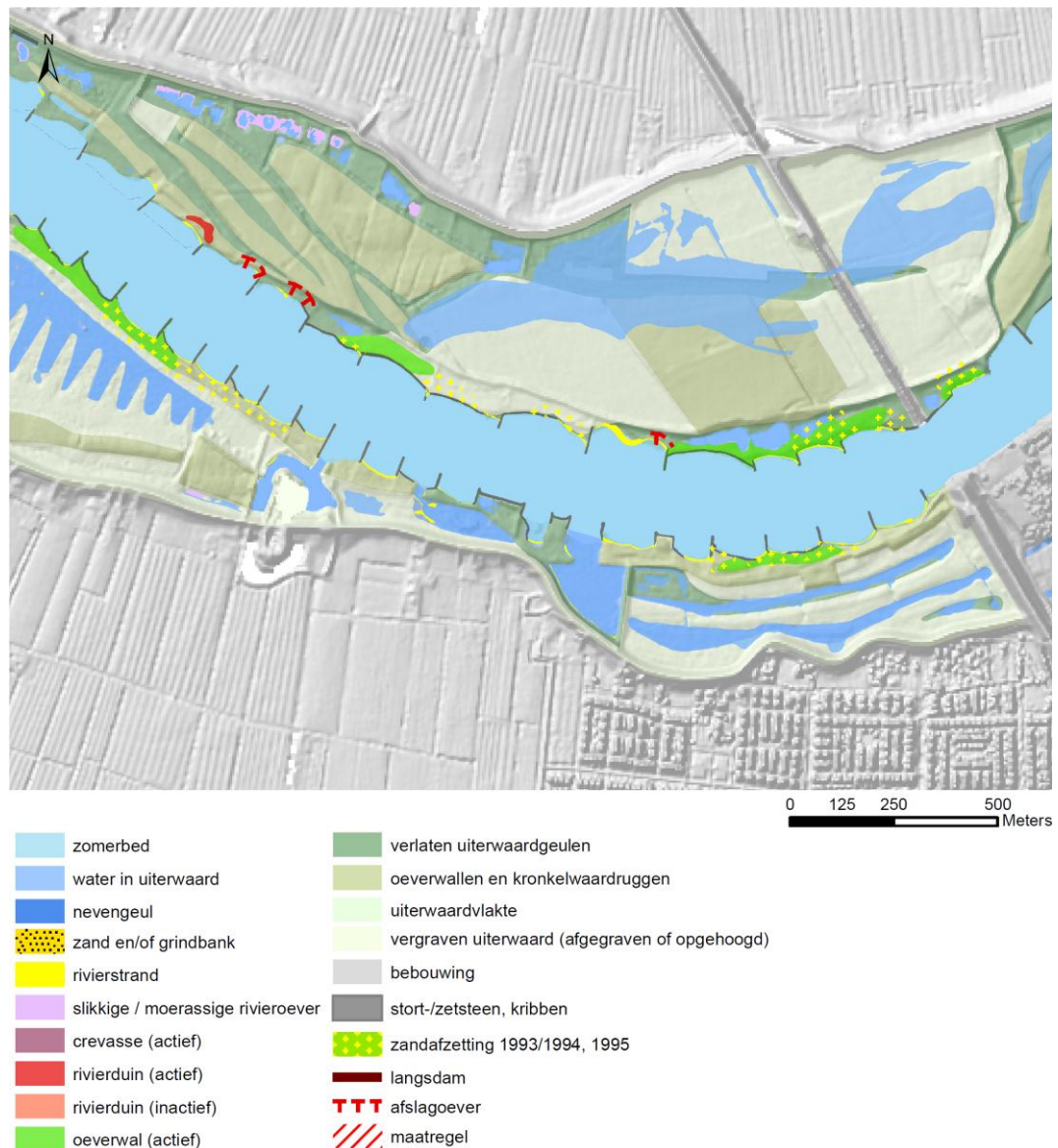
In 2001 is het NURG-project De Steenwaard afgerond. Grote delen van de uiterwaard zijn verlaagd; in totaal is 600.000 m³ grond verplaatst. Delen van de verlaagde uiterwaard staan bij hogere waterstanden in verbinding met de hoofdgeul.

De Goilberdingerwaard-Oost ligt tegenover de Steenwaard en is een vrij smalle uiterwaard in een buitenbocht van de Lek direct stroomafwaarts van de spoorbrug bij Culemborg. In 2000 zijn in de uiterwaardvlakte achter de oeverwal twee strangen verdiept en is op een aantal plaatsen de zomerkade verwijderd. Deze uiterwaard grenst aan een woonwijk van Culemborg en wordt intensief recreatief gebruikt.



Figuur 4.9 Oevererosie in een met grof grind en keien verdedigd kribvak langs de Steenwaard.

Het belangrijkste morfodynamische proces dat tijdens het veldwerk in de Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost is waargenomen is oevererosie (Fig. 4.9). Door de variabele inrichting van de kribvakken (met betrekking tot aanwezigheid van langsdammen en oeververdediging van grof grind) is dit proces niet overal sterk ontwikkeld. Op enkele plaatsen komen kleine strandjes voor. In de Steenwaard komt op één locatie een actief riverduin voor (Fig. 4.10). Dit grenst aan een kribvak dat recent is afgesloten door een langsdam. Hier en daar is tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 zand op de oeverwallen van de Steenwaard en de Goilberdingerwaard afgezet (Fig. 4.10).



Figuur 4.10 Fysiotopenkaart van de Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* in de Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost actief zijn:

- oevererosie;
- oeverwalvorming;
- riverduinvorming.

De maatregelen in de Steenwaard en de Goilberdingerwaard-Oost hebben geleid tot een hogere inundatiefrequentie in de verlaagde delen van de uiterwaard en de uitgegraven strangen. Op grond van de theorie valt te verwachten dat de slibafzetting hier is toegenomen. Dit zou alleen met sedimentatiemetingen bij hoogwater in het veld kunnen worden vastgesteld. De morfodynamiek in de oeverzone is door de maatregelen niet zichtbaar beïnvloed. Oevererosie blijft lokaal een actief morfodynamisch proces, dat tegengegaan wordt door oeververdediging met grof grind en keien of aanleg van langsdammen, waarbij de laatstgenoemden het effectiefst zijn.

Om de morfodynamiek in de oeverzone te vergroten wordt aanbevolen de langsdammen en de oeververdediging van grof materiaal te verwijderen. Dit zou ook rivierduinvorming kunnen stimuleren. De morfodynamiek van het verlaagde deel van de Steenwaard zou vergroot kunnen worden door delen van de kade om het gebied te verlagen. In de Goilberdingerwaard-Oost kunnen de uitgediepte strangen (stroomafwaarts) beter aangesloten worden op de hoofdgeul. Dit zou, behalve tot meer (morfo)dynamiek in de strangen, ook kunnen leiden tot vorming van crevasses in de oeverwal langs de hoofdgeul. Het laatste proces is vooral gebaat bij een groot verhang dwars over een smalle oeverwal naar een uiterwaardlaagte én een uitstroomopening van die laagte.

4.6 De Duursche Waarden

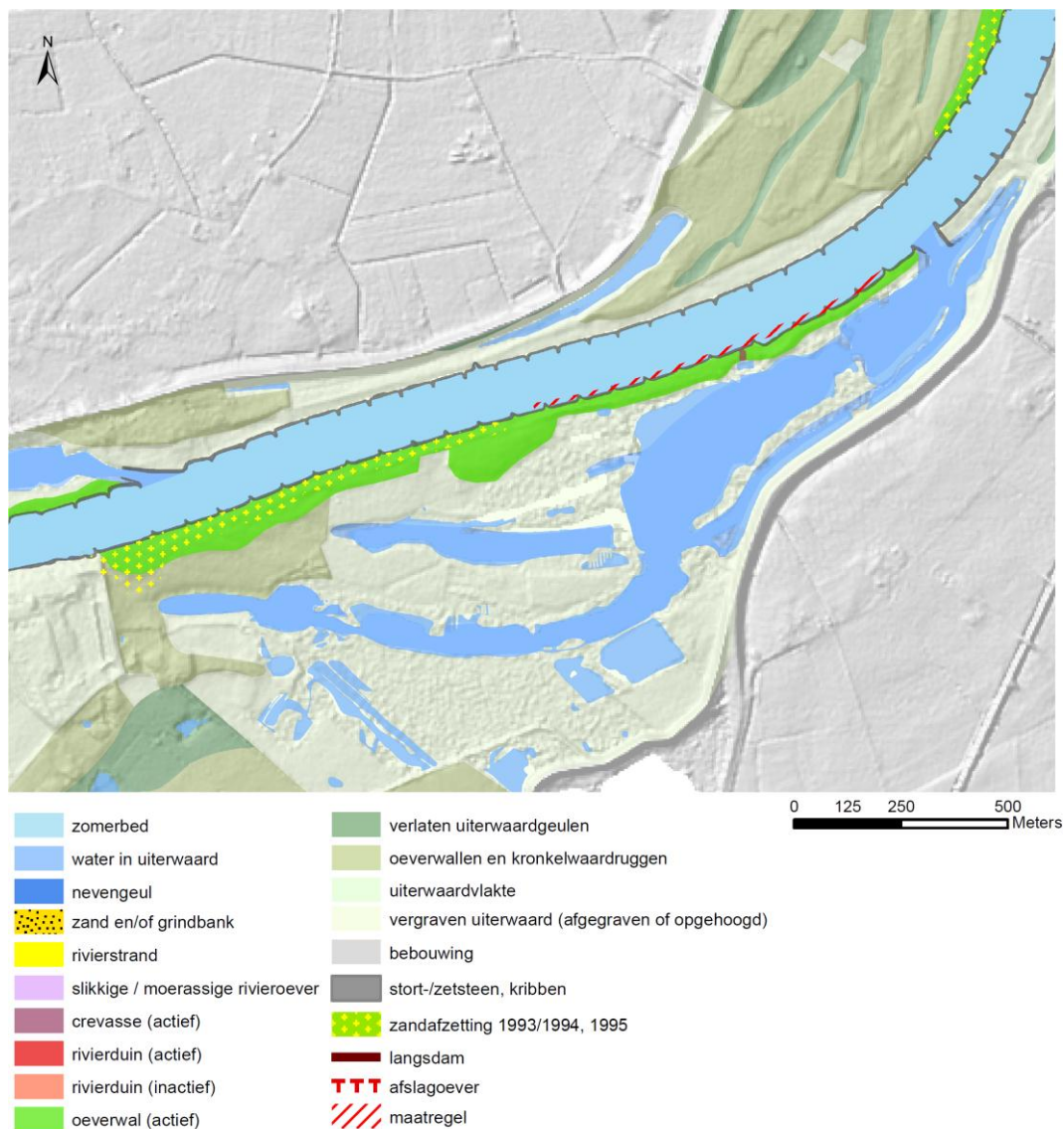
Het westelijke deel van de Duursche Waarden bestaat uit een oude kronkelwaard van de IJssel. Stroomafwaarts hiervan ligt in een recht stuk van de IJssel een langgerekte oeverwal langs de zuidelijke oever (Fig. 4.11). In de uiterwaard hierachter zijn in 1989 twee geulen gegraven: een kleine geul die alleen bij hoogwater in contact met de rivier staat en een grotere geul die via een opening in de zomerkade met de IJssel is verbonden. Deels zijn hierbij oude strangen uitgediept.

In 2006 zijn over een lengte van ongeveer 1 km natuurvriendelijke oevers aangelegd: 16 oude kribben zijn verwijderd, en hiervoor in de plaats zijn 14 nieuwe, lagere kribben geplaatst. De oeververdediging tussen de kribben is verwijderd, zodat hier een natuurlijker oever kan ontstaan.

In het veld is aanzienlijke oevererosie vastgesteld op de plaatsen waar de oeververdediging is verwijderd. Er heeft zich een afslagoever ontwikkeld, met een voetvlakte op het rivierstrand waarop het erosiemateriaal verspoelt. In de smalle oeverwal is een kleine crevasse ontstaan, waarschijnlijk onder invloed van het toegenomen verhang vanaf de top van de oeverwal naar de gegraven geul erachter. De oeverwal is, in ieder geval deels, morfologisch actief, gezien de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995. Riverduinen zijn niet waargenomen.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* in de Duursche Waarden actief zijn:

- oevererosie;
- oeverwalvorming;
- crevassevorming.



Figuur 4.11 Fysiotoopenkaart van de Duursche Waarden met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995.

De maatregelen hebben positieve effecten gehad op de morfodynamiek in de oeverzone: de verwijdering van de oeververdediging heeft afslagoevers doen ontstaan en de aanleg van de geul heeft crevassevorming in de oeverwal gestimuleerd. Over de effecten van de herinrichting van de kribvakken op de oeversedimentatie is nog geen conclusie te trekken. Vanwege de beperkte verbinding met de IJssel is de morfodynamiek in de aangelegde geulen gering. Vanwege de toegenomen inundatieduur en -frequentie valt een toegenomen afzetting van fijn slib in dit deel van de Duursche Waarden te verwachten.

De volgende *aanbevelingen* zijn van toepassing als men de morfodynamiek in de oeverzone van de Duursche Waarden wil vergroten. Momenteel wordt de ontwikkeling van een natuurlijke oever geremd door puin dat is achtergebleven na het verwijderen van de oeververdediging. Dit vormt tevens een onnatuurlijk substraat en zou moeten worden verwijderd. Verder zou crevassevorming in de oeverwal kunnen worden gestimuleerd door lokaal verlagingen aan te brengen. De recente spontane vorming van een kleine crevasse geeft aan dat er potenties voor dit proces zijn. Door de vorming van crevasses zou de laagdynamische uiterwaardgeul beter met de hoofdgeul worden verbonden en periodiek doorstromend worden, met de daarbij behorende verhoging van de morfodynamiek.

4.7 De Vreugderijkerwaard

De Vreugderijkerwaard is een uiterwaard langs de IJssel bij Zwolle. In deze uiterwaard ligt een hoge kronkelwaardrug met daarop rivierduinen (Fig. 4.12). Direct langs de IJssel ligt een lagere oeverwal die van de kronkelwaardrug wordt gescheiden door een geulvormige laagte. Deze lage oeverwal is sinds de normalisatie door opwas in de kribvakken ontstaan. Op de hogere kronkelwaardrug en de riverduinen komt een waardevolle stroomdalvegetatie voor.

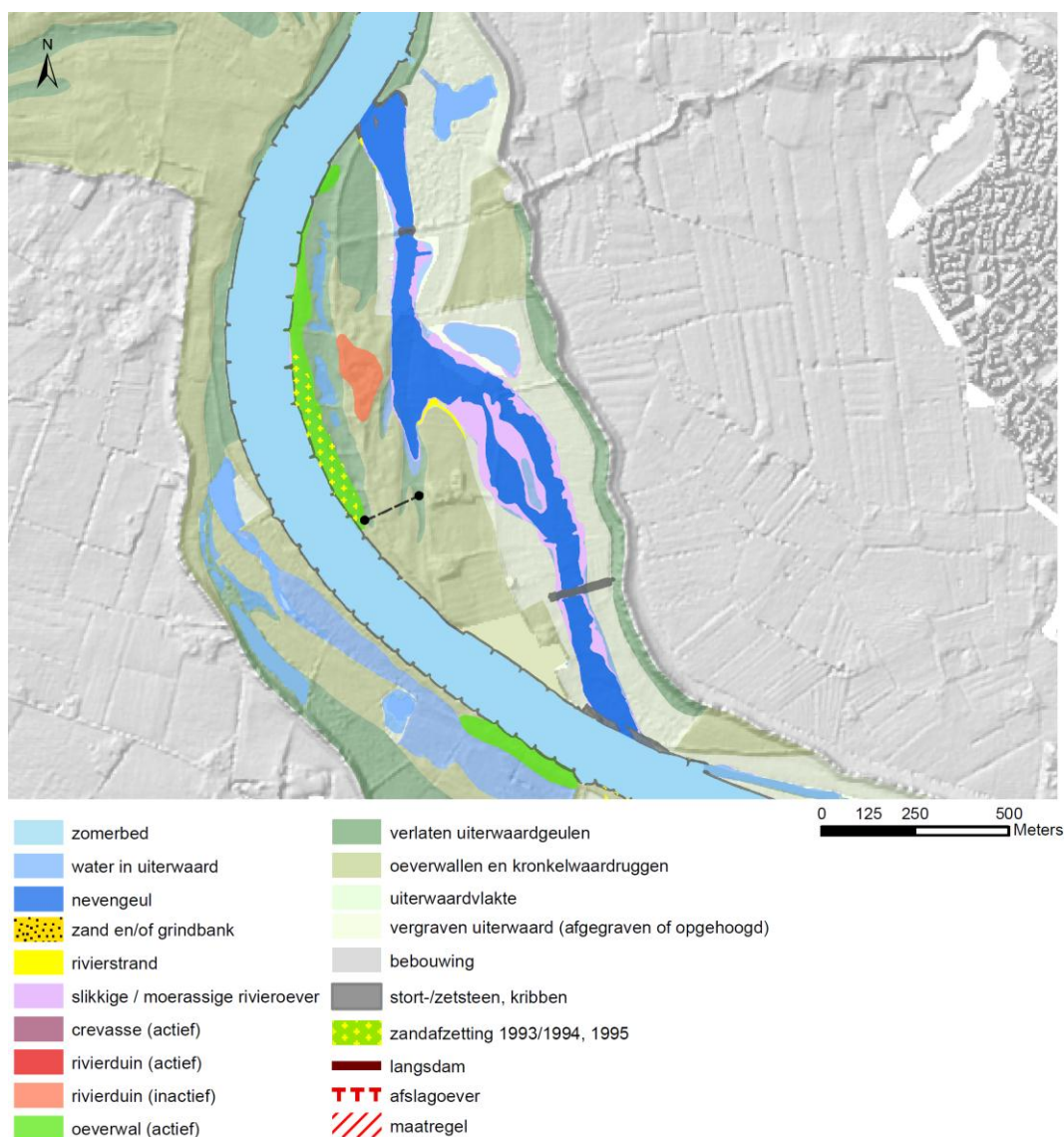
Tussen 1999 en 2003 is achter de hoge kronkelwaardrug een 1800 m lange, permanent meestromende nevengeul aangelegd met nabij de inlaat en de uitlaat een stortstenen dam met duikers. De oevers van de nevengeul zijn flauw hellend aangelegd. Met de aanleg van de nevengeul is beoogd om de diversiteit en dynamiek in het gebied te vergroten. In de planvorming was het behoud van het kronkelwaard-rivierduincomplex een randvoorwaarde. In het gebied is sinds de uitvoering van het project een begrazingsbeheer van toepassing.

Actieve sedimentatieprocessen zijn waargenomen op de recente oeverwal direct langs de IJssel, in laagtes in de uiterwaard en op de oevers van de nevengeul. Ook tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 is zand afgezet op de recente oeverwal (Fig. 4.12). Maas et al. (2003) hebben 1 tot 2 mm dikke zandafzetting op de oeverwal gemeten na het hoogwater van 2001. In de geulvormige laagte direct achter de oeverwal was toen ongeveer 2 mm siltig sediment afgezet en op de uiterwaardvlakte achter de hoge kronkelwaardrug tot ongeveer 0,5 mm aan kleiig/siltig materiaal (Fig. 4.13). Op de geleidelijk aflopende oevers van de nevengeul is recente afzetting van slib te zien. Actieve riverduinvorming is, ondanks de gunstige ligging van de oeverwal ten opzichte van de overheersende zuidwestelijke winden, niet waargenomen. De stenen oeververdediging die de smalle rivierstrandjes afschermt van de oeverwal speelt waarschijnlijk een belemmerende rol.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* in de Vreugderijkerwaard actief zijn:

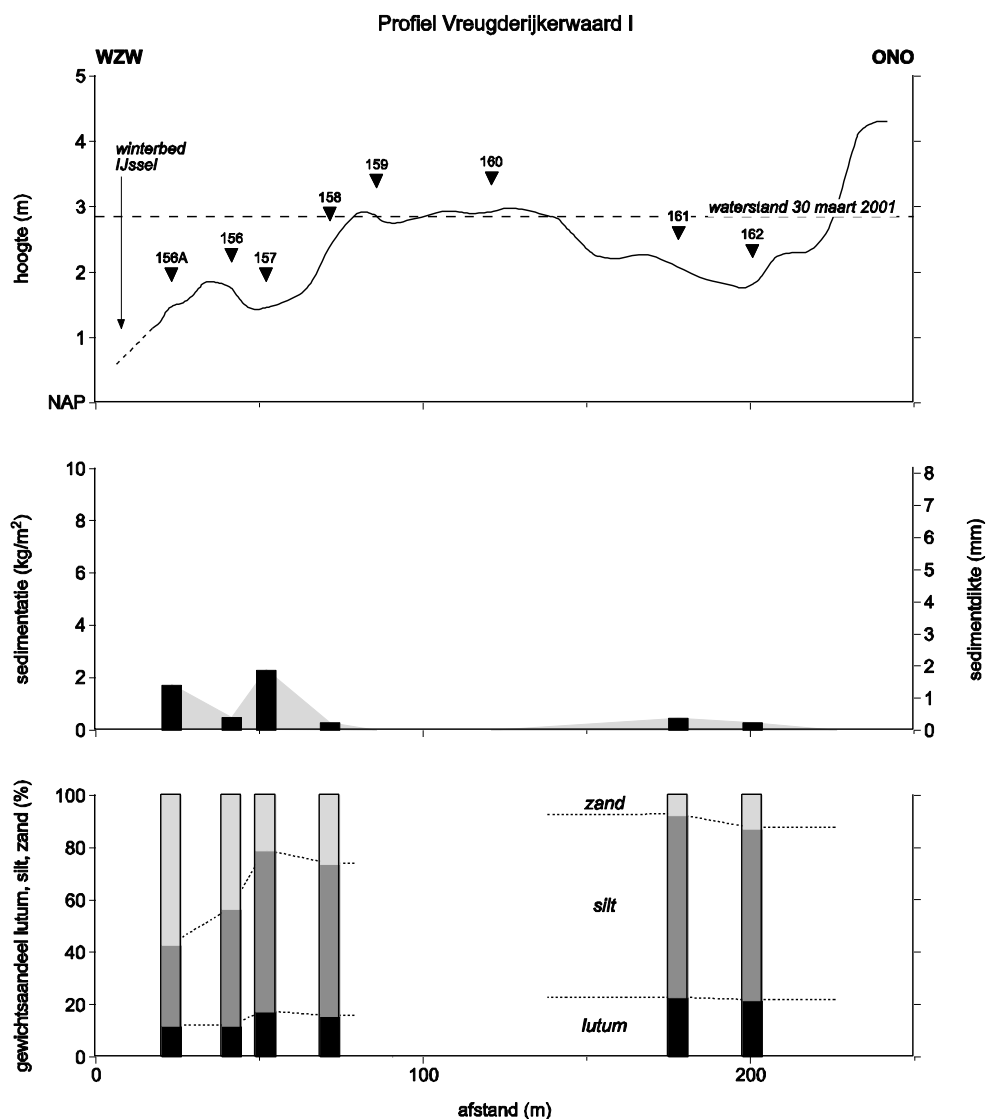
- oeverwalvorming;
- slibafzetting in de uiterwaardvlakte;
- vorming van een slikkige oever.

Door de inlaatconstructie (een dam met duikers) is de aangelegde nevengeul in de Vreugderijkerwaard laag-dynamisch. Het enige morfodynamische proces in de geul is de afzetting van slib op de flauwe oevers. De oeververdediging langs de IJssel belemmert waarschijnlijk rivierduinvorming.



Figuur 4.12 Fysiotopenkaart van de Vreugderijkerwaard met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995. Ook de raai waarin sedimentatie tijdens het hoogwater van 2001 is gemeten (Fig. 4.13) is aangegeven.

Om de morfodynamiek in de oeverzone van de Vreugderijkerwaard te vergroten wordt aanbevolen de oeververdediging langs de hoofdgeul te verwijderen. Kleine strandjes die momenteel bij laagwater in de kribvakken zichtbaar zijn geven aan dat er zand beschikbaar is voor oeverwalvorming en misschien zelfs rivierduinontwikkeling. Verwijdering van de oeververdediging brengt een betere verbinding tot stand tussen kribvak en oeverwal en zorgt ervoor dat de oeverzone meer zand kan invangen. De dynamiek in de nevengeul kan vergroot worden door een andere vormgeving van de inlaat: een lagere drempel, een doorlatende dam, en een schephoofd zullen bijdragen aan een betere doorstroming van de geul. Verder zouden de strangen op het eiland tussen de nevengeul en hoofdgeul beter met de hoofdgeul kunnen worden verbonden door oeververlaging tussen het stroomopwaartse uiteinde van deze strangen en de hoofdgeul.



Figuur 4.13 Resultaten slibmatonderzoek Vreugderijkerwaard. In de bovenste figuur zijn het maaiveldverloop langs de raai en de locaties van slibmatten (driehoekjes) weergegeven (zie Fig. 4.12 voor de locatie van de raai). In de middelste figuur is de tijdens het hoogwaterseizoen van 2001 (januari-april) gemeten sedimentatie gegeven. In de onderste figuur zijn de aandelen zand, silt en lutum van de met de slibmatten opgevangen sedimentmonsters gegeven (uit Maas et al., 2003).

4.8 De Rug van Roosteren

De Rug van Roosteren ligt langs de rechteroever van de Grensmaas tussen Maaseik en Roosteren. In de weerd zijn kronkelwaardruggen en -geulen aanwezig. De weerd was oorspronkelijk grotendeels bekaad en de Maas ligt hier diep ingesneden ten opzichte van de weerd. In 1996 is in het oostelijk deel van de weerd een hoogwatergeul aangelegd door ontkleining van een bestaande laagte. In het kader van het Grensmaasproject is rond 2008 de oeverzone van het westelijk deel van de weerd, direct stroomopwaarts van de brug over de Maas, verlaagd (Fig. 4.14). De kade langs de Maas is hierbij intact gebleven. Een grindbank langs de aangrenzende oever is wel

afgegraven. De weerdverlagingen hebben de morfodynamiek in deze weerd niet of nauwelijks beïnvloed: er zijn in het veld geen actieve fysiotopen aangetroffen.

De Maas ligt in dit traject diep ingesneden in de weerd. Hierdoor is de overstromingsfrequentie van de Rug van Roosteren laag en zijn de potenties voor morfodynamiek buiten het zomerbed gering. Grootschalige weerdverlaging is de enige manier om de morfodynamiek structureel te vergroten. Peters & Kurstjens (2008) rapporteren wel het terugkeren van waardevolle vegetatie-elementen in respons op de aanleg van de hoogwatergeul in de Rug van Roosteren. Dit is vooral het gevolg van het beschikbaar komen van een geschikt kaal grindig substraat na de graafwerkzaamheden en niet gerelateerd aan veranderde morfodynamiek. Het blijft de vraag of de maatregelen in afwezigheid van passende morfodynamische processen, duurzaam ecologisch effect zullen sorteren.

De morfodynamiek in deze weerd zou kunnen worden vergroot door de kade tussen de afgegraven oeverzone en de Maas te verwijderen. Verder zou de hoogwatergeul beter kunnen worden aangesloten op de bedding van de Maas.



Figuur 4.14 Luchtfoto van de Rug van Roosteren met de verlaagde delen van de weerd.

4.9 De Kerkeweerd

De Kerkeweerd ligt op de linkeroever van de Grensmaas bij Stokkem in België. Het zomerbed is in dit deel van de Maas relatief diep ingesneden ten opzichte van de weerd en de oever van de Kerkeweerd is verdedigd. Bij hoge afvoeren in jaren 90 van de vorige eeuw is op verschillende plaatsen de kade

langs de Grensmaas doorgebroken. Bij deze doorbraken is op grote schaal grind, zand en slib afgezet in het gebied. In 1999/2000 is tijdens hoogwater door terugschrijdende erosie vanaf een geïsoleerde uiterwaardplas, waarin de waterstand tijdens hoogwater veel lager was dan in het zomerbed, een grote crevasse ontstaan in de weerd (Fig. 4.15) langs het traject van een eerder aangelegde hoogwatergeul (Peters & Kurstjens, 2008, p. 38). De ontstane geul was enkele meters diep, ongeveer 15 m breed en 100 m lang, en heeft tijdens een aantal opeenvolgende hoogwaters gefunctioneerd.

In 2009 is in het kader van het Belgische equivalent van Ruimte voor de Rivier het project Negenoord uitgevoerd. Hierbij is de oeverstrook bij Kerkeweerd verlaagd. De crevassegeul is hierbij gespaard.



Figuur 4.15 Luchtfoto uit 2010 van de Kerkeweerd met de crevassegeul en het verlaagde deel van de weerd.

Tijdens een veldbezoek net na een hoogwater in november 2010 zijn (>10 cm dikke) recente slibafzettingen in de crevassegeul en recente afzettingen van zand en grind op de aangrenzende verlaagde weerd waargenomen. Het is onduidelijk of dit betekent dat de erosieprocessen in de geul ten einde zijn. Mogelijk wordt tijdens toekomstige (grotere) hoogwaters de geulontwikkeling hervat. De recente slibafzettingen in de geul bedekken het grindige substraat dat aanvankelijk een veelbelovende vegetatieontwikkeling mogelijk maakte (Peters & Kurstjens, 2008).

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* bij Kerkeweerd actief zijn:

- crevassevorming in de weerd;
- hoogwaterafzetting van zand en grind op de weerd;
- hoogwaterafzetting van slib in de crevassegeul.

De weerdverlaging bij Kerkeweerd heeft de morfodynamische processen op de weerd positief beïnvloed: sindsdien heeft op uitgebreide schaal afzetting van grind, zand en slib in de weerd plaatsgevonden. De eerdere doorbraken van de kades, alhoewel geen bewust genomen maatregelen, hebben een vergelijkbaar effect gehad en hebben de vorming van de crevassegeul mogelijk gemaakt.

Gezien het positieve effect van de weerdverlaging in de oeverzone van de Kerkeweerd verdient het aanbeveling om deze maatregel uit te breiden. Dit stimuleert oeverwalvorming en creëert mogelijkheden voor crevassevorming, door het relatief grote verhang dwars over de oever naar de afgesloten weerdplas.

4.10 De Kop van den Ouden Wiel

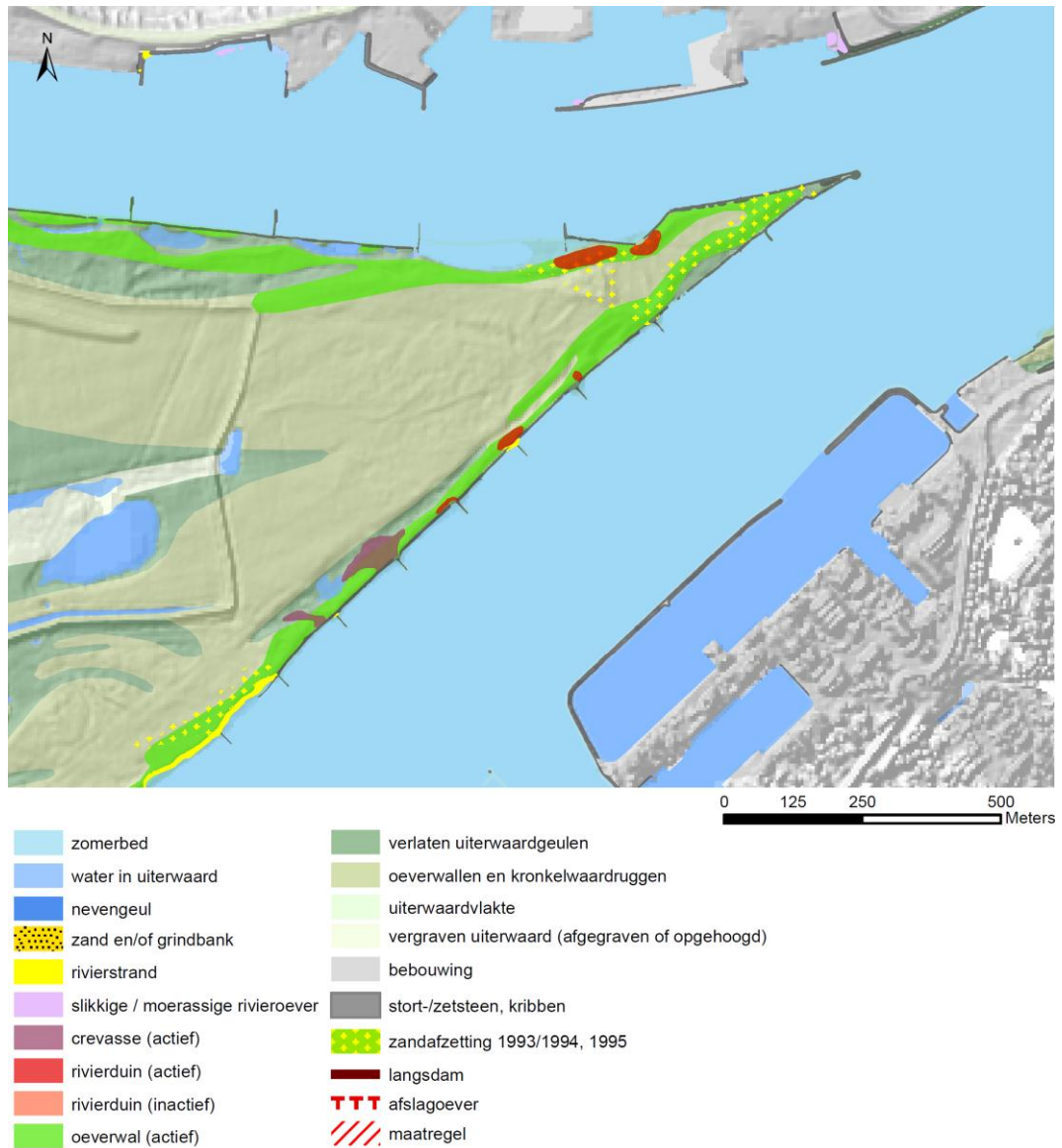
De Kop van den Ouden Wiel ligt op het splitsingspunt van de Boven-Merwede in Beneden-Merwede en Nieuwe Merwede. In de laatste decennia zijn hier geen omvangrijke natuurontwikkelings- of rivierverruimingsprojecten uitgevoerd. Deze locatie is toch opgenomen in de selectie, vanwege de aanwezigheid van rivierduinen met interessante stroomdalvegetatie.

De Kop van den Ouden Wiel bestaat grotendeels uit een hoog opgeslibde oeverwal, waarvan de hoogste delen aan de randen liggen. Het eigenlijke splitsingspunt bestaat uit een aangelegd schephoofd dat lager is dan de oude oeverwal (in Fig. 4.16 als uiterwaard aangegeven). Langs de hele kop is de rivieroever verdedigd met stort- en zetstenen. Iets stroomafwaarts van de kop heeft zowel langs de Beneden-Merwede als langs de Nieuwe Merwede opwas en oeverwalontwikkeling plaatsgevonden voor de oude, hogere oeverwal. Hierbij is een geulvormige laagte tussen de voormalige oever en de nieuwe oeverwal ontstaan. Enkele rivierduinen (Fig. 4.17) liggen vlakbij de kop langs de Beneden-Merwede. De huidige eolische activiteit is zeer gering. Langs de Beneden-Merwede is recentelijk een kribvak afgesloten door een langsdam.

Ook op deze locatie is met slibmatten de sedimentafzetting tijdens het hoogwater van 2001 gemeten (onderzoek Maas et al., 2003; de gegevens over de Kop van den Ouden Wiel zijn hierin echter niet opgenomen). De sedimentatie in de raai, die noord-zuid over de oude oeverwal op de kop liep was meetbaar maar zeer gering in vergelijking met die op andere locaties (o.a. Amerongse Bovenpolder en Vreugderijkerwaard). Verreweg de meeste sedimentafzetting tijdens hoogwater vindt plaats op het lager gelegen schephoofd, zoals ook blijkt uit de gegevens over zandafzetting tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995 (Fig. 4.16). Langs de Nieuwe Merwede heeft zich een crevasse in de nieuwe oeverwal gevormd (Fig. 4.16). In de geulvormige laagte achter de oeverwal is hierbij een zandwaaier afgezet (Fig. 4.18). Deze waaier vormt een zandbron voor lokale rivierduinvorming.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende *morfodynamische processen* op de Kop van den Ouden Wiel actief zijn:

- oeverwalvorming;
- rivierduinvorming;
- crevassevorming.



Figuur 4.16 Fysiotopenkaart van de Kop van den Ouden Wiel met de in het veld waargenomen actieve vormen en de afzetting van zand tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995.

De recente aanleg van de langsdam in een kribvak langs de Beneden-Merwede blokkeert de aanvoer van vers zand vanuit de bedding naar de oeverzone en heeft daardoor een negatief effect op rivierduinvorming op de aangrenzende oever.



Figuur 4.17 Klein rivierstrandje langs de met stenen verdedigde oever van de Kop van den Ouden Wiel. Rivierduinen in de achtergrond.



Figuur 4.18 Een recente zandige crevassewaaier langs de Nieuwe Merwede.

Om oeverwal- en duinvorming langs de Beneden-Merwede te stimuleren wordt aanbevolen om langsdammen en oeververdediging zoveel mogelijk te verwijderen, teneinde de sedimentdynamiek van kribvak en oeverzone te

herstellen. In de Beneden-Merwede wordt momenteel jaarlijks veel zand weggebaggerd, onder andere om beddingophoging door sedimentatie tegen te gaan (Sieben, 2009). Dit geeft aan dat zandbeschikbaarheid voor oeverprocessen in deze riviertak geen knelpunt is.

4.11 De Mariapolder

De Mariapolder is in 1994 hersteld als intergetijdengebied. Van de bestaande inlaatconstructie zijn de schotbalken permanent verwijderd, en sindsdien staat het terrein onder invloed van de getijdenwerking. Bij hoogtij staat deze voormalige polder volledig onder water. Bij laagtij zijn een slikkige vlakte (Figuur 4.19) en een stelsel van getijgeulen (Fig. 4.20 t/m 4.22) zichtbaar. De getijdeninvloed wordt gedomineerd door de getijslag op de Beneden-Merwede, en bereikt via het Wantij de Mariapolder. De getijslag in het Wantij is gemiddeld 70 cm.

Uit de beschikbare veldgegevens wordt afgeleid dat de volgende morfodynamische processen in de Mariapolder actief zijn:

- vorming van een slikkige vlakte;
- vorming van krekken;
- vorming van kolkaten aan weerszijden van het inlaatwerk.

Het openen van de inlaat van de Mariapolder was een kleine, eenvoudige (en goedkope) maatregel met een groot effect, qua morfodynamiek. Te overwegen valt om het inlaatwerk natuurlijker vorm te geven en eventueel iets te verruimen om de getijslag in het gebied nog wat te vergroten.



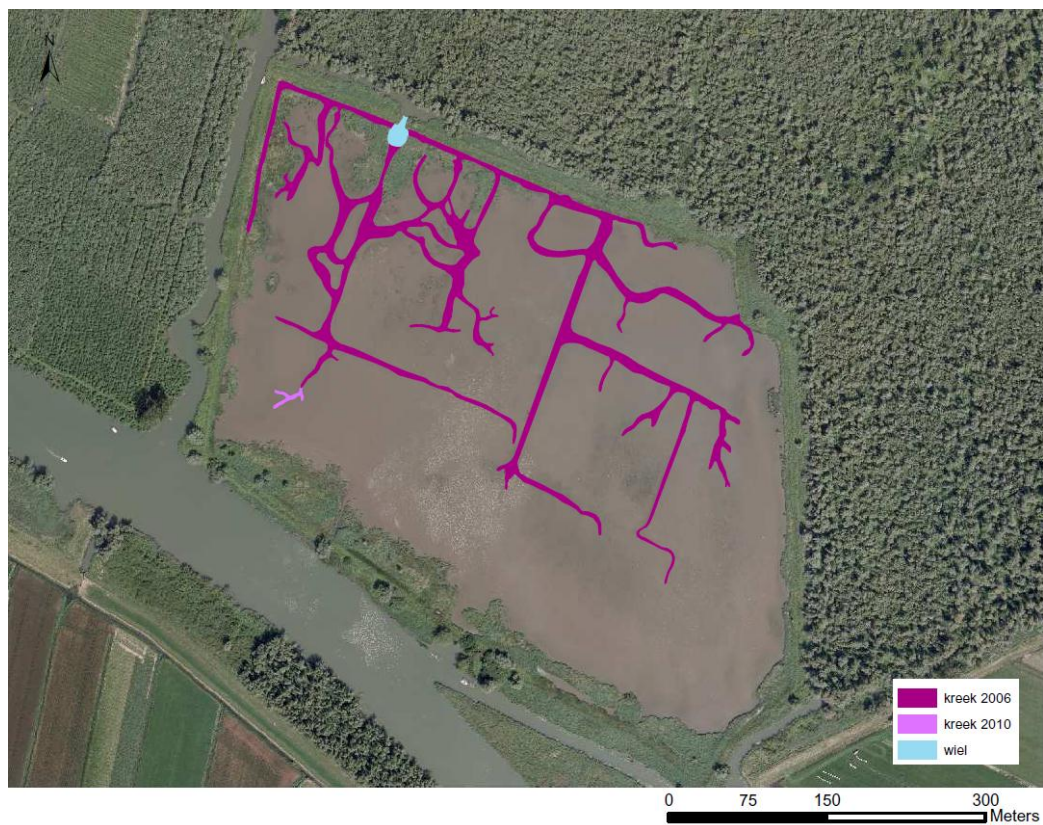
Figuur 4.19 Een droogvallende slikkige vlakte in de Mariapolder.



Figuur 4.20 Luchtfoto van de Mariapolder uit 2003 met de inlaat en een vrijwel nog intact slotenpatroon. Een eerste aanzet tot vorming van een krekensysteem is te zien.



Figuur 4.21 Luchtfoto van de Mariapolder uit 2006 met de inlaat en een zich vanuit het slotenpatroon ontwikkelend krekensysteem.



Figuur 4.22 Luchtfoto van de geïnundeerde Mariapolder uit 2010 met de inlaat (met wiel) en een krekensysteem dat zich verder ontwikkeld heeft ten opzichte van de situatie in 2006.

5 Morfodynamiek per zone

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de in hoofdstuk 4 gesignaleerde morfodynamische processen per uiterwaardzone besproken. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de processen per uiterwaard/weerd, zoals beschreven in hoofdstuk 4. Tabel 5.1 geeft alleen een samenvatting van wat in deze studie aan morfodynamiek is vastgesteld. Het is daarmee niet een compleet overzicht van de morfodynamiek in de bestudeerde uiterwaarden en weerden, omdat de veldbezoeken beperkt waren en bepaalde processen moeilijk tijdens één veldbezoek vast te stellen zijn. In sommige gevallen waren additionele gegevens over sedimentatie beschikbaar. Op basis van slibmatmetingen uit een voorgaand project, bijvoorbeeld, is in twee uiterwaarden slibafzetting in de uiterwaardvlakte vastgesteld. We kunnen er echter vanuit gaan dat dit proces in bijna alle uiterwaarden/weerden zal plaatsvinden bij voldoende hoog water.

Tabel 5.1 Vastgestelde morfodynamische processen per uiterwaard/weerd.

	Oeverzone				Nevengeulen en strangen			Uiterwaard-vlakte	Getijvlakte	
Uiterwaard/weerd	Rivier-strand-vorming	Oever-erosie	Zandaf-zetting op oever	Rivierduin-vorming	Geulin-snijding	Geulop-vulling	Vorming slikkige oever	Slibafzetting	Vorming getij-geulen	Vorming slikkige getij-vlakte
Boven-Rijn, Waal										
Klompewaard										
Ewijkse plaat					1					
Nederrijn, Lek										
Amerongse Bovenpolder										
Steenwaard Goilberding- waard Oost										
IJssel										
Duursche Waarden					2					
Vreugderijker-waard										
Maas										
Rug van Roosteren										
Kerkeweerd			3							
Biesbosch										
Kop van den Ouden Wiel					2					
Mariapolder										

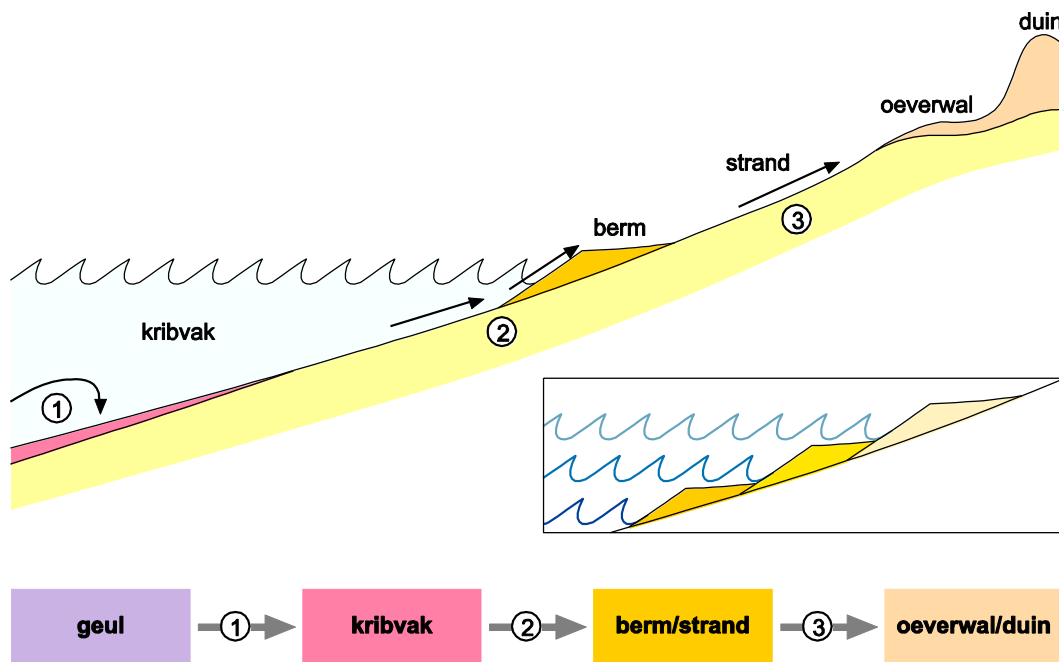
¹ Insnijding van een kleine crevasse in de plaat aan de rand van de strang.

² Insnijding van een kleine crevasse in de oeverwal.

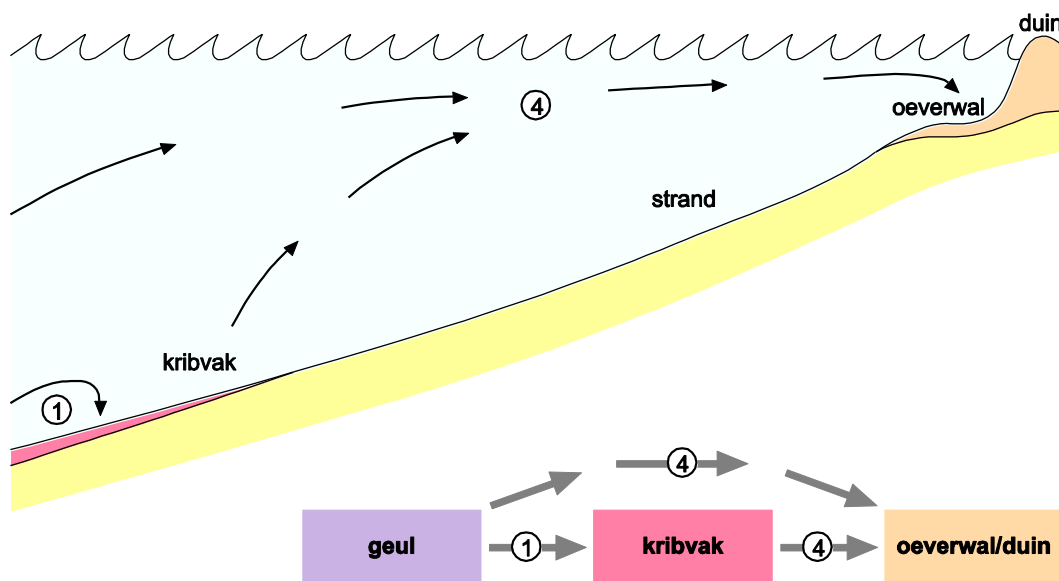
³ Deels grind.

5.2 Oeverzone

Morfodynamische processen in de oeverzone vinden zowel bij hoge als bij lage afvoeren plaats. Het processencomplex dat het transport van sediment van het zomerbed naar de oeverzone verzorgt is bij lage afvoeren echter anders dan bij hoge afvoeren. Bij lage afvoeren speelt golfwerking door scheepvaart en eolisch transport een belangrijke rol in de keten van transportprocessen. Bij hoog water is er een directer transport van zomerbed naar de oeverzone. De samenhang tussen de sedimenttransportprocessen voor beide situaties is uitgelegd de Figuren 5.1 en 5.2.



Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede van kribvak en oeverzone, loodrecht op de oever, bij lage tot gemiddelde waterstanden. Onder deze omstandigheden wordt zand door een combinatie van verschillende processen vanuit het zomerbed naar de oeverzone getransporteerd. (1) Door turbulente diffusie en convectorie wordt het zand vanuit de vaargeul in het diepere deel van kribvak getransporteerd en daar afgezet. (2) Door golfwerking geïnitieerd door scheepvaart wordt het sediment deels weer geërodeerd, maar ook deels naar de waterlijn getransporteerd, waar het afgezet wordt als een wigvormige bank (een berm) met een scherpe rand, die de maximale golfoploop markeert. Dergelijke vormen zijn zeer algemeen langs het Noordzeestrand. (3) Onder invloed van de wind verplaatst het zand zich vanaf de berm verder over het strand naar de oeverzone, waar het bijdraagt aan de opbouw van rivierduinen. In de inzet is te zien hoe bij dalende waterstanden een laag zand op het strand afgezet wordt doordat een successie van bermen ontstaat. Bij gunstige windsnelheid en -richting worden de bovenste bermen door eolisch zandtransport afgebroken terwijl lager op het strand een nieuwe berm gevormd wordt.

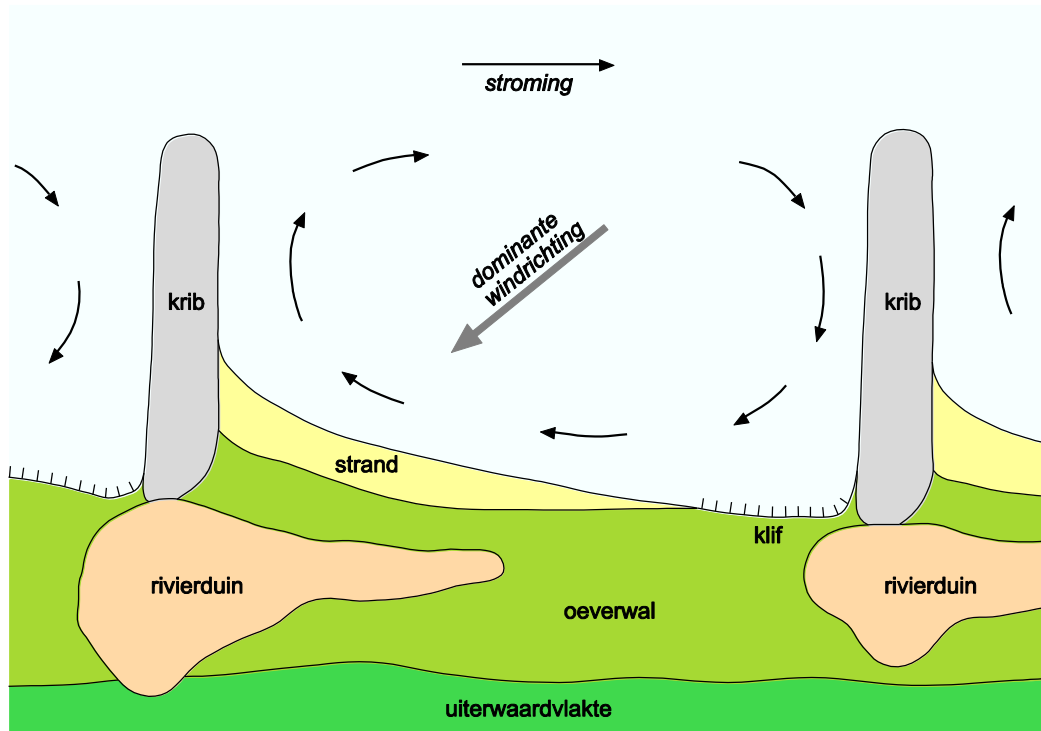


Figuur 5.2 Dwarsdoorsnede van kribvak en oeverzone, loodrecht op de oever, bij hoge waterstanden. Onder deze omstandigheden wordt zand door turbulente diffusie direct vanuit de vaargeul en het kribvak naar de oeverwal getransporteerd (proces 4). Bij lagere waterstanden was mogelijk in het diepere kribvak al sediment afgezet (proces 1) dat nu ook beschikbaar is voor transport naar de oeverzone.

De intensiteit van de verschillende morfodynamische processen in de oeverzone verschilt per riviertak. Dit komt deels door natuurlijke verschillen tussen de riviertrajecten en deels door verschillen in vormgeving van kribben en andere oeververdedigingswerken. In de Figuren 5.3, 5.7 en 5.9 zijn de verschillen tussen de riviertrajecten uitgewerkt.

Langs de Waal is de morfodynamiek in de oeverzone het best ontwikkeld. De in de Figuren 5.1 en 5.2 beschreven processen functioneren hier vaak alle ongestoord. De circulatie in het kribvak speelt een belangrijke rol bij het invangen van zand, maar speelt samen met golfslag ook een rol bij het lokaal ontstaan van klifjes door oevererosie (Fig. 5.3). Vooral in de Klompenwaard is de in Figuur 5.3 weergegeven configuratie goed ontwikkeld. Alle belangrijke oeverzoneprocessen zijn hier aangetroffen: (1) in de kribvakken draagt de ontwikkeling van een berm bij aan aggradatie van rivierstranden (Fig. 5.4), (2) aan de stroomafwaartse zijde van de kribvakken ontstaan kleine klifjes door erosie (Fig. 5.5), en (3) verstuiving van zand op het rivierstrand zorgt voor rivierduinvorming op de oeverwallen (Fig. 5.6). Op de Ewijkse Plaat domineert vooral zandafzetting bij hoogwater.

De grote dynamiek van de oeverzone van de Waal laat zich deels verklaren vanuit het relatief hoge stromingsvermogen, die in combinatie met de breedte/diepte-verhouding ervoor zorgt dat de Waal enigszins de natuurlijke neiging heeft om laterale banken te vormen (Fig. 2.4). Dit verklaart waarschijnlijk de sterke aanzanding in de oeverzone op bepaalde plaatsen (zoals de Ewijkse Plaat).



Figuur 5.3 Overzichtskaartje van belangrijke fysiotoopen en processen in het kribvak en de oeverzone bij gemiddelde waterstand. De watercirculatie in het kribvak zorgt voor oevererosie en klifvorming in de benedenstroomse helft van het kribvak, terwijl aanzanding en de vorming van een rivierstrand overheersen in de bovenstroomse helft. Door de asymmetrische ligging van de rivierstrandjes en omdat de dominante windrichting schuin op het kribvak staat vindt rivierduinvorming op de oeverwal vooral ter hoogte van de kribben plaats. Golfslag door scheepvaart speelt een belangrijke rol in de opbouw van de strandjes en daardoor ook in de rivierduinvorming. De hier weergegeven configuratie van fysiotoopen en processen vinden we momenteel vooral langs de Waal.



Figuur 5.4 Bermontwikkeling in de Klompenwaard tijdens een gemiddelde afvoer.

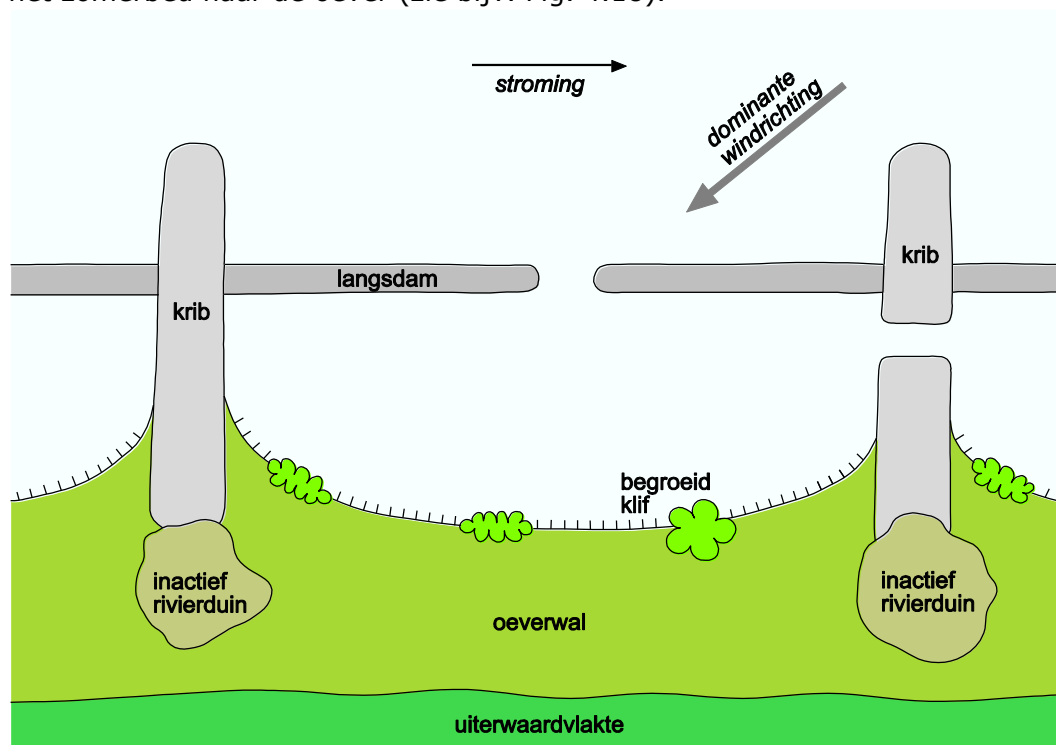


Figuur 5.5 Oevererosie in een kribvak langs de Klompenwaard.



Figuur 5.6 Rivierduinvorming in de Klompenwaard.

Langs andere riviertakken is het processencomplex in de oeverzone sterker verstoord door menselijke ingrepen. Zo zijn de Nederrijn en de Lek gestuwd, waardoor de variatie in waterstanden sterk beperkt is en brede rivierstranden zich niet kunnen ontwikkelen. Als gevolg hiervan is rivierduinvorming hier dan ook beperkt en niet als actief proces in dit onderzoek waargenomen. Door lokale aanleg van langsdammen is de golfwerking in het kribvak beperkt en zandtransport van zomerbed naar rivieroever geblokkeerd. Figuur 5.7 geeft een schematisch overzicht van een dergelijke laagdynamische situatie die is aangetroffen langs de Nederrijn (zie ook Fig. 5.8). Bij hoge afvoeren kan hier wel oeverwalvorming plaatsvinden door suspensief transport van zand vanuit het zomerbed naar de oever (zie bijv. Fig. 4.18).

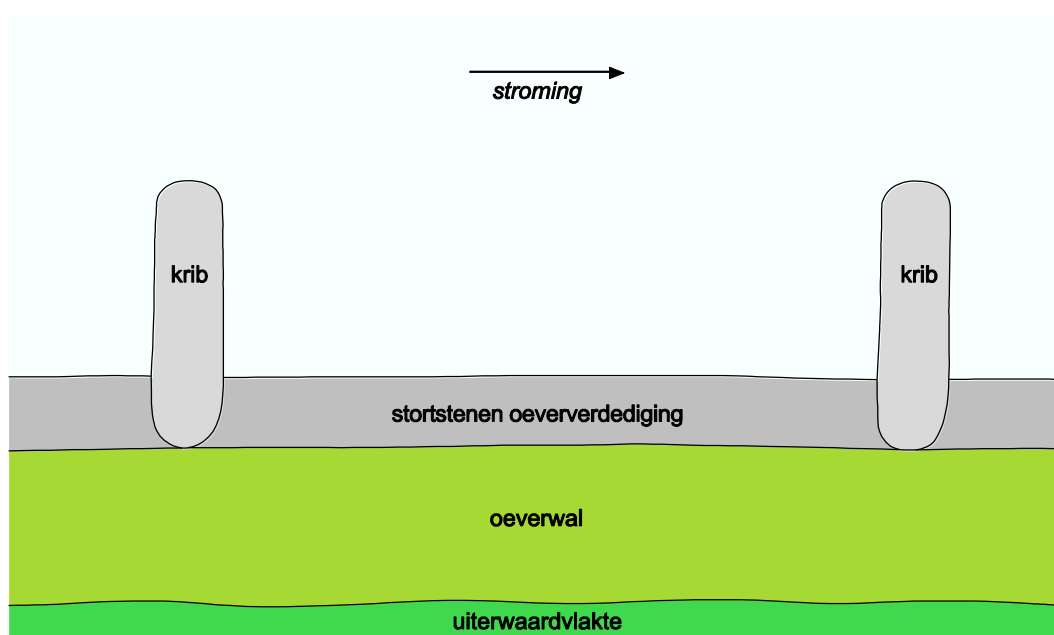


Figuur 5.7 Overzichtskaartje van belangrijke fysiotoopen in de oeverzone van een kribvak dat deels afgesloten is door een langsdam. Door de langsdam is er geen stroming meer in het kribvak en kan zandig sediment bij lage en gemiddelde waterstanden niet meer de oeverzone bereiken. Opbouw van rivierstranden valt hierdoor stil. Door korte golfslag in het kribvak ontstaat langs de hele oever een laag klifje dat spoedig begroeid raakt. Eerder gevormde rivierduinen blijven in deze situatie verstoken van zandaanvoer en zijn niet langer actief. De hier weergegeven situatie is hier en daar te vinden langs de Nederrijn waar de variatie in waterstanden door stuwing gering is en opbouw van rivierstranden beperkt blijft.

Langs de IJssel in, onder andere, de Vreugderijkerwaard is de transportroute van zand naar de oeverzone bij lage waterstanden onderbroken door oeververdediging met zet- of stortsteen (Figuur 5.9). Door de relatief korte kribben langs de IJssel kan er minder zand in het kribvak worden ingevangen. Bij hoge afvoeren vormt de oeververdediging geen barrière voor zandtransport naar de oeverwal (zie ook Figuur 4.13).



Figuur 5.8 Amerongse Bovenpolder: begroeide oever in een laagdynamisch kribvak.



Figuur 5.9 Overzichtskaartje van belangrijke fysiotopten in de oeverzone van een kribvak met een stortstenen oeververdediging. Tussen de relatief korte kribben vindt niet of nauwelijks strandopbouw plaats. Waar beperkte stranden aanwezig zijn belemmert de stortstenen oeververdediging eolisch zandtransport van strand naar oeverwal bij laagwater, zodat rivierduinen hier niet gevormd worden. De hier weergegeven situatie is langs de IJssel aan te treffen.



Figuur 5.10 Vrij eroderende oevers langs de Duursche Waarden in 2010.

Langs IJssel in de Duursche Waarden zijn in 2006 over een lengte van ca. 1 km de oude kribben vervangen voor lagere kribben met een flauwer talud en is de oeververdediging verwijderd. In Figuur 5.10 is het resultaat in 2010 te zien. Het resultaat van vier jaar morfologische ontwikkeling is duidelijk zichtbaar in het veld. Door terugschrijdende erosie en klifontwikkeling is er in de kribvakken een flauw hellend strand ontstaan met veel baksteenpuin. Dit zijn restanten van de oeververdediging waaruit het fijnere materiaal is weggespoeld. De kliffen die langs de oever ontstaan zijn, zijn 1 tot 2 m hoog. De terugschrijdende erosie van de oevers heeft waarschijnlijk te maken met de natuurlijke neiging van de IJssel om een grotere breedte/diepte-verhouding aan te nemen, dan de vrij lage breedte/diepte-verhouding die opgelegd wordt door de kribben.

5.3 Nevengeulen en crevasses

Verschillende typen uiterwaardgeulen en bijhorende morfodynamische processen zijn aangetroffen op de in deze studie bezochte locaties. Allereerst zijn twee aangelegde nevengeulen onderzocht: die in de Klompenwaard (aangelegd in 2002) en die in de Vreugderijkerwaard (aangelegd in 2003) (Fig. 5.11). In beide gevallen betreft het laag-dynamische geulen.

De nevengeul in de Vreugderijkerwaard is de meest dynamische van de twee: deze stroomt nagenoeg het hele jaar mee (Schoor et al., 2011). Morfodynamische processen treden echter zeer beperkt op omdat de doorstroming wordt gecontroleerd door een dam met duikers op ca. 250 m vanaf de inlaat. Deze zorgt voor een vrij constante afvoer met vrij lage stroomsnelheden en belemmert de aanvoer van (zandig) sediment. Mede hierdoor ontwikkelen zich slikkige zones langs de flauw hellend aangelegde oevers van de nevengeul. (Fig. 5.12).

De nevengeul in de Klompenwaard stroomt alleen bij hoogwater (gemiddeld ca. 60 dagen per jaar) mee, omdat in de instroomopening een stortstenen dam is aangelegd (Schoor et al., 2011). De geul in de Klompenwaard is veel smaller dan die in de Vreugderijkerwaard en aangelegd met vrij steile oevers (Fig. 5.13). Voor de inlaatdrempel is een zandplaat afgezet. In de buitenbocht van de nevengeul zijn hier en daar afslagoevers ontstaan. De steile oevers langs de binnenbocht zijn aangelegd en grotendeels begroeid en inactief. De oevers van de monding zijn vastgelegd. De bodem bestaat voornamelijk uit slib.



Figuur 5.11 Google Earth-beelden van de nevengeulen in de Vreugderijkerwaard (boven) en de Klompenwaard (onder).

Beide nevengeulen verschillen sterk qua vormgeving en hydrodynamiek. Toch is in beide gevallen de morfodynamiek laag. In beide gevallen was het een bewuste keuze om de afvoer en de stroomsnelheden te beperken, om ongewenste effecten in de hoofdgeul te vermijden. Wanneer een nevengeul een te groot deel van de afvoer verwerkt, kan sedimentatie in de hoofdgeul gaan optreden waardoor de vaardiepte afneemt. In het geval van de nevengeul in de Klompenwaard speelt mee dat een 'te ruime' nevengeul de afvoerverdeling over Pannerdensch kanaal en Waal kan gaan beïnvloeden, hetgeen veiligheidsproblemen kan geven. De vormgeving van een nevengeul is dus een compromis tussen veiligheids- en bevaarbaarheidseisen enerzijds, en ecologische eisen anderzijds. Ecologische eisen voor nevengeulen met betrekking tot vispopulaties zijn onlangs uitgebreid onderzocht door Dorenbosch et al. (2011).

Schoor et al. (2011) geven de onderstaande aandachtspunten voor aanleg en inrichting van een nevengeul met betrekking tot hydro- en morfodynamiek.

- Laat een nevengeul ten minste 300 dagen per jaar meestromen met de hoofdgeul.
- Vermijd grote variaties in waterstanden en stroomsnelheden gedurende het jaar.
- Zorg voor gevarieerd habitat binnen de geul, door variatie in stroomsnelheid, substraat en oevers.
- Bied ruimte voor natuurlijke sedimentatie- en erosieprocessen.
- Geef de nevengeul de kans om zelf een natuurlijke oever te ontwikkelen.

De laatste twee aandachtspunten met betrekking tot morfodynamiek vragen eigenlijk om hogere afvoer en stroomsnelheid dan momenteel in nevengeulen wordt toegestaan. Door een andere aanleg van inlaatwerken is een hogere afvoer en stroomsnelheid eenvoudig te realiseren. Men kan hierbij denken aan lagere drempels, andere vormen van inlaten (bijvoorbeeld V-vormig), en aan schephoofden. Onderzocht zou moeten worden of de veiligheids- en bevaarbaarheidseisen een beperkte verhoging van de afvoer en gemiddelde stroomsnelheden toestaan om zo meer morfodynamiek te kunnen realiseren. Meer morfodynamiek in nevengeulen zou kunnen leiden tot meer gevarieerde substraten en natuurlijker oevers. Het belang van natuurlijke oevers voor vispopulaties wordt onderstreept door de studie van Dorenbosch et al. (2011). Zolang gevarieerde substraten en natuurlijke oevers niet door morfologische ontwikkeling kunnen worden gerealiseerd, moet veel zorg besteed worden aan de afwerking bij aanleg van een nevengeul. Deze dient zo goed mogelijk aan te sluiten bij historische referentiesituaties (bijv. Wolfert, 1998). Hierbij moet wel rekening gehouden worden met verschillen per riviertraject. Het gedeeltelijk ontbreken van morfodynamiek in nevengeulen zou ook door cyclisch (sediment-)beheer enigszins kunnen worden opgevangen.



Figuur 5.12 Slikkige oevers van de nevengeul in de Vreugderijkerwaard.



Figuur 5.13 De laagdynamische nevengeul in de Klompenwaard.

Kleine, spontaan ontstane, crevasseachtige geulen zijn aangetroffen in de Ewijkse Plaat, de Duursche Waarden en de Kop van den Ouden Wiel. Het betreft hier korte geulen die zich dwars op de oever hebben ingesneden door het, lokaal, grote verval van over de oever stromend water. De crevassegeul in de Ewijkse Plaat is ongeveer 1 m diep en enkele tientallen meters lang en doorsnijdt de oever van de Ewijkse Plaat langs de strang die tussen de plaat en de dijk loopt. De crevassegeul is momenteel volledig begroeid en is dus recentelijk niet actief geweest (Fig. 5.14). In de nevenliggende strang werd na het hoogwater van januari 2011 sedimentafzetting vastgesteld. Dit kan samenhangen met de graafwerkzaamheden die in het najaar van 2010 op de plaat hebben plaatsgevonden (het graven van enkele ondiepe geulen schuin over de plaat).

Een grotere geul is aangetroffen in de Kerkeweerd langs de Grensmaas (Fig. 5.15). Bij de vorming van deze geul speelden zeer specifieke omstandigheden een rol: snelle stijging van het waterniveau in de Maas zorgde voor een groot verval naar de geïsoleerde uiterwaardplas. De geul vormde zich door terugschrijdende erosie van over de weerd naar de plas stromend water. De geul is ongeveer honderd meter lang en enkele meters diep. Tijdens het veldbezoek in november 2011 (net na een hoogwater) werden recente slibafzettingen in de geul aangetroffen (Fig. 5.16). De weerdvlakte rond de geul is inmiddels vergraven in het rivierverruimingsproject Negenoord. De geul is hierbij gedeeltelijk gespaard.



Figuur 5.14 Een crevassegeul in de Ewijkse plaat.



Figuur 5.15 Erosiegeul bij Kerkeweerd langs de Grensmaas (midden foto).



Figuur 5.16 Slibafzettingen in de geul in de Kerkeweerd na het hoogwater van november 2010.

Geconcludeerd kan worden dat spontane vorming van crevasseachtige geulen afhankelijk is van specifieke lokale en vrij toevallige condities. Een (tijdelijk) groot lokaal verval in de uiterwaard of weerd, eventueel ontstaan door vergravingen, is van groot belang voor de geulinsnijding. De mate van dynamiek in aangelegde nevengeulen is redelijk te voorspellen. De ligging ten opzichte van bochten speelt hierbij een grote rol, naast riviertakkenmerken en longitudinale ligging (boven- of benedenstrooms). De onderzochte nevengeulen zijn echter beide zo aangelegd dat de potentiële dynamiek bij lange na niet gehaald wordt.

5.4 Uiterwaard- en weerdvlaktes

In de uiterwaard- en weerdvlaktes is langzame opslibbing het dominante morfodynamische proces. In deze studie is geen systematisch veldonderzoek gedaan naar patronen en snelheden van dit proces. Wel is gebruik gemaakt van eerder verricht veldonderzoek in drie van de tien projectgebieden. Dit onderzoek betreft slibmatmetingen en is verricht in 2001. Het onderzoek is gedeeltelijk gepubliceerd in Maas et al. (2003).

Uit de slibmatmetingen is geconcludeerd dat de hoeveelheid sediment die per hoogwater op een bepaalde plaats wordt afgezet voornamelijk wordt bepaald door (1) de inundatiefrequentie, (2) de overstromingsduur en (3) de waterdiepte. Op lage plaatsen (zoals afgesloten strangen) waar het water lang blijft staan bezinkt al het in de waterkolom aanwezige slib Maas et al. (2003). Dit proces waarbij op de laagste delen het meeste sediment wordt afgezet leidt op lange termijn tot een vereffening van de aanwezige hoogteverschillen.

Voor de Vreugderijkerwaard, de Amerongse Bovenpolder en de Kop van den Ouden Wiel zijn de slibmatmetingen (Fig. 5.17) opgenomen in deze rapportage. Hieruit blijkt dat de grootste hoeveelheden sedimentatie optreden in de oeverzone; het afgezette materiaal bestaat hier voornamelijk uit zand (zie paragraaf 5.2). Op grotere afstanden van de hoofdgeul bestaat het afgezette materiaal voornamelijk uit silt en kleiig materiaal (Fig. 4.13).

In de overige projectgebieden is geen actieve slibafzetting waargenomen, met uitzondering van de Grensmaas bij Kerkeweerd. Hier is na het hoogwater van november 2010 lokaal enkele centimeters opslibbing geconstateerd.

Uit de studie van Hobo et al. (2010) blijkt een langjarige sedimentatiesnelheid (gemeten over meerdere decennia) van 2 tot 7 mm per jaar voor de uiterwaardvlaktes langs de Rijntakken buiten de oeverzone.



Figuur 5.17 Slibafzetting langs een strang (links) en op een slibmat (50 x 50 cm) in de uiterwaardvlakte (rechts).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Inleiding

In dit rapport worden de aanwezige morfodynamische processen langs de grote rivieren afgelezen aan hun producten: de fysiotopen. Dit zijn ruimtelijke eenheden die zich onderscheiden door bepaalde hydrodynamische, geomorfologische en sedimentaire kenmerken. Kartering van de in een uiterwaard of weerd aanwezige fysiotopen op basis van verschillende ruimtelijke databestanden gaf een eerste indruk van de morfodynamische processen. Veel rivierfysiotopen verkeren echter niet meer in een evenwicht met huidige morfodynamische processen, maar zijn relictten die getuigen van vroegere processen uit de tijd dat de Nederlandse rivieren nog niet genormaliseerd waren. Veldwerk heeft plaatsgevonden in tien geselecteerde uiterwaarden/weerden om de momenteel actieve fysiotopen te onderscheiden van deze relictten en zo de huidige potenties voor morfodynamiek te kunnen afleiden. Het bleek dat de in het veld zichtbare morfodynamiek zich grotendeels beperkt tot de oeverzone van de grote rivieren. Processen verder van de rivier in de uitwaard/weerd zijn subtieler en ook meer incidenteel van karakter.

De historische en actuele fysiotopen en daaraan gekoppelde morfodynamische processen verschillen deels per riviertype. In dit rapport worden drie riviertypen onderscheiden: (1) de getijdenrivier, (2) de laaglandrivier, en (3) de terrassenrivier. In het algemeen geldt dat in het herstel van morfodynamische processen rekening moet worden gehouden met karakteristieken per riviertype. Zo passen slikkige oevers bij een getijdenrivier, vinden we de mooiste rivierduinen langs de laaglandrivier en horen grindbanken bij een terrassenrivier. Voor de Nederlandse rivieren kunnen we een nog verdere onderverdeling maken in riviertrajecten, die ieder eigen fysische kenmerken en kansrijkdom voor morfodynamiek hebben. In Bijlage 1 worden deze trajecten beschreven en wordt de kansrijkdom voor morfodynamiek per traject op basis van de literatuur beschreven.

Voor alle riviertypen en trajecten geldt dat de morfodynamiek sterkt afhangt van een beperkt aantal factoren en dat maatregelen genomen kunnen worden om de morfodynamiek in het riviersysteem te beïnvloeden.

6.2 Sleutelfactoren en maatregelen die morfodynamiek beïnvloeden

In hoofdstuk 2 zijn de factoren die de morfodynamiek van rivierbeddingen (paragraaf 2.2) en uiterwaarden en weerden (paragraaf 2.3) bepalen opgesomd. De morfodynamiek van de Nederlandse rivieren kan worden bevorderd of belemmerd door rivierkundige maatregelen die ingrijpen op deze factoren, die daarom ook wel sleutelfactoren worden genoemd. In Tabel 6.1 worden deze factoren nogmaals opgesomd en worden per factor de

rivierkundige maatregelen genoemd die deze factor beïnvloeden en de aard van het verwachte effect van deze maatregel op morfodynamiek.

Het stromingsvermogen van de Nederlandse rivieren kan in het algemeen slechts door ingrijpende maatregelen beïnvloed worden die de afvoer dan wel de gradiënt van de waterspiegel veranderen. De afvoer per riviertak wordt bijvoorbeeld bepaald door de, door waterstaatkundige werken gestuurde, afvoerverdeling op splitsingspunten. De gradiënt is in het verleden aanzienlijk veranderd door het afsnijden van meanders en wordt in bepaalde riviertakken momenteel in een groot deel van het jaar door stuwen bepaald. Grootschalige ingrepen zijn nodig om deze sleutelfactor te beïnvloeden. Op kleinere schaal kan voor nevengeulen bij de aanleg geprobeerd worden het stromingsvermogen gunstig te beïnvloeden door een zo natuurlijk mogelijke vormgeving zonder stromingsbelemmerende constructies.

Tal van maatregelen grijpen in op de breedte/diepte-verhouding van het zomerbed, een zeer bepalende factor voor zowel de morfodynamiek in het zomerbed als die van de nevenliggende oevers (zie paragrafen 2.2 en 2.3). alle maatregelen die leiden tot een natuurlijker (in de huidige praktijk grotere) breedte/diepte-verhouding van het zomerbed hebben een positief effect op morfodynamiek. Het lokaal aanbrengen van harde lagen in de bedding om zomerbedinsnijding, en dus verlaging van de breedte/diepte-verhouding tegen te gaan heeft om die reden ook een positief effect op morfodynamiek.

Een aantal maatregelen beïnvloedt de aard en beschikbaarheid van beddings sediment. Hoe het aanbrengen van harde lagen de morfodynamiek zal beïnvloeden is moeilijk in te schatten. Het onttrekken van beddings sediment werkt uiteraard negatief en het suppleren van sediment (bijvoorbeeld om de voortgaande beddinginsnijding van de bovenrivieren tegen te gaan) werkt positief op morfodynamiek. Het verwijderen van de oeververdediging en het daarop volgende vrijkomen van sediment uit oevererosie kan ook bijdragen aan verhoogde morfodynamiek elders in het systeem.

De getijslag, als belangrijke motor voor morfodynamiek in de benedenrivieren, wordt uiteraard sterk bepaald door de mate waarin de zeewering gesloten blijft, maar kan lokaal ook positief beïnvloed worden door het verwijderen van kades en dammen in op de rivieren aangesloten kreeksystemen.

De sedimentatiesnelheid in de uiterwaarden en weerden neemt snel af met toenemende afstand tot het zomerbed. Een belangrijke conclusie van dit onderzoek is dat de in het veld zichtbare morfodynamiek zich grotendeels tot de oeverzone beperkt. Maatregelen die het zomerbed en de oeverzone dichterbij brengen, vergroten derhalve de lokale morfodynamiek. Te denken valt hierbij aan het graven van nevengeulen, het uitgraven van kribvakken en het afgraven van de oeverzone.

Ook maatregelen die de inundatieduur en –frequentie verhogen, zoals het verlagen van uiterwaarden en weerden en het verwijderen of doorlatend maken van kades, vergroten de sedimentatie in de uiterwaarden en weerden, en zijn dus gunstig vanuit het oogpunt van morfodynamiek.

Een aantal maatregelen beïnvloedt het morfodynamisch processencomplex in de oeverzone. Verwijdering van de oeververdediging, bijvoorbeeld, zorgt voor een betere verbinding tussen bedding en oeverzone voor sedimenttransport. Aanleg van langsdammen blokkeert juist het sedimenttransport naar de oeverzone. Maatregelen met betrekking tot de kribben zijn moeilijk in te

schatten voor wat betreft hun effect op morfodynamiek: enerzijds zal de morfodynamiek in de oeverzone een natuurlijker karakter krijgen bij bijvoorbeeld verwijdering van de kribben, anderzijds vangen de kribvakken momenteel zand in dat bijdraagt aan (weliswaar enigszins kunstmatige) morfodynamiek in de oeverzone. Verlaging van de oeverzone creëert in ieder geval ruimte voor morfodynamiek.

Geconcludeerd kan worden dat de sleutelfactoren met een aantal gerichte lokale maatregelen zo beïnvloed kunnen worden dat de morfodynamiek vergroot wordt. Hieronder zullen de morfodynamische processen per uiterwaard-/weerdzone besproken worden, samen met lokale maatregelen die kunnen worden genomen om de morfodynamiek te stimuleren.

Tabel 6.1 Factoren en maatregelen die morfodynamiek beïnvloeden.

Sleutelfactor	Maatregel	Effect
Stromingsvermogen	verwijderen stuwen/ natuurlijk stuwbeheer	+
	aantakken meanders	+
	wijziging afvoerdeling	+/-
	aanleg natuurlijke nevengeulen	+
Breedte/diepte-verhouding	verwijderen oeversverdediging	+
	verwijderen kribben	+
	verwijderen kades	+
	zomerbedverdieping	-
	aanbrengen harde lagen	+
Korrelgrootte en beschikbaarheid beddingmateriaal;	baggeren/sedimentwinning	-
	aanbrengen harde lagen	+/-
	sedimentsuppletie	+
Consistentie van de oevers	verwijderen oeversverdediging	+
Getijslag	openen zeekering	+
	verwijderen kades en dammen	+
Afstand tot het zomerbed	aanleg nevengeulen	+
	uitgraven kribvakken/ afgraven oeverzone	+
Inundatieduur en -frequentie;	uiterwaardverlaging	+
	verwijderen/doorsteken kades	+
Inrichting oeverzone	verwijderen oeversverdediging	+
	aanleg langsdammen	-
	verwijdering kribben	+/-
	verlaging/doorsteken kribben	+/-
	verlaging oeverzone	+

6.3 Oeverzone

Zoals aangegeven is morfodynamiek langs de huidige grote rivieren vooral aanwezig in de oeverzone. Voor een deel komt dit omdat ook bij lage en gemiddelde afvoeren er sedimenttransport vanuit het zomerbed naar de oeverzone plaatsvindt door golfwerking en verstuiving. In andere zones van de uiterwaard beperkt de morfodynamiek zich tot hoogwaterperiodes. De inrichting van de oeverzone is van grote invloed op effectiviteit van de sedimenttransportprocessen. Oevers die verdedigd zijn met harde materialen of beschermd met een langsdam verhinderen het zandtransport van de hoofdgeul naar de oeverzone tijdens lage en gemiddelde afvoeren. Bij hoge afvoeren spelen deze structuren veel minder een rol en kan het sedimenttransport vanuit de geul door turbulente diffusie en convector over de geïnnundeerde oever plaatsvinden.

Langs de Waal is de morfodynamiek in de oeverzone het sterkst ontwikkeld. Voor een deel is dit een natuurlijk gegeven: de Waal heeft de grootste afvoer. Daarnaast speelt een rol dat de Nederrijn-Lek en de Maas gestuwd zijn en daarom een waterstandsdynamiek missen die essentieel is voor het goed op gang komen van eolische processen. Verder is ook de inrichting van de oeverzone langs de Nederrijn-Lek, de IJssel en de Maas minder gunstig voor morfodynamiek door de aanwezigheid van harde oeeververdediging en lokale langsdammen.

Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek in de oeverzone te bevorderen zijn:

1. het verwijderen harde oeeververdediging;
2. het verwijderen/doorbreken van kribvak afsluitende langsdammen;
3. het zodanig wijzigen van het stuwbeheer dat meer variabiliteit in waterstanden ontstaat;
4. het lokaal verwijderen van vegetatie om verstuiving te bevorderen;
5. het verjongen van de oeverzone door afgraving.

In het algemeen kan gesteld worden dat langs de meeste riviertakken een aanzienlijke natuurlijke potentie aanwezig is voor morfodynamiek in de oeverzone en dat met bescheiden ingrepen in de inrichting al veel bereikt kan worden. Rigoureuze ingrepen zoals het afgraven van de oeverzone zijn in de meeste gevallen, vanuit het oogpunt van morfodynamiek, waarschijnlijk teveel van het goede. Het verdient tevens aanbeveling om bij afgraving van de oeverzone rekening te houden met aanwezige aardkundige waarden (zoals kronkelwaardreliëf), die door de huidige morfodynamische processen niet opnieuw gevormd kunnen worden.

Enkele andere actuele rivierkundige maatregelen in de oeverzone kunnen de morfodynamiek in de oeverzone sterk, maar veelal op nu nog onbekende wijze, beïnvloeden. Meer onderzoek hiernaar is geboden. Het gaat hier om:

1. het verlagen/verwijderen van kribben;
2. het anders vormgeven van kribben;
3. het een andere oriëntatie geven van kribben;
4. het plaatselijk doorbreken van kribben.

6.4 Nevengeulen en crevasses

De nevengeulen die in deze studie zijn meegenomen zijn laag-dynamisch: ze stromen niet of beperkt mee bij lage tot gemiddelde afvoeren door drempels en inlaatwerken die ook de sedimentaanvoer bij hogere afvoeren beperken. Bij de instroomopening van de bestudeerde nevengeulen is wel veel dynamiek. Voor nevengeulen en strangen geldt dat geleidelijke opvulling met fijn materiaal momenteel de meest algemene vorm van morfodynamiek is in deze milieus. Wanneer oevers van laagdynamische nevengeulen geleidelijk aflopen kunnen, vanuit morfodynamisch oogpunt interessante, slikkige milieus met waterstandsdynamiek ontstaan. Het steil aanleggen van oevers in een laagdynamische nevengeul biedt hiervoor weinig kansen, terwijl door de ontbrekende erosieprocessen de steiloever snel begroeid zal raken.

Spontane vorming van crevasseachtige geulen in de uiterwaard is op enkele plaatsen waargenomen, maar bleek overal afhankelijk van zeer specifieke (deels toevallige) lokale condities. Dit maakt geulvorming een lastig te voorspellen en te sturen proces. Het bewust aanbrengen van lokale verlagingen/onderbrekingen in oeverwallen of kades kan een manier zijn om crevasseachtige systemen te doen ontstaan. Het creëren van grote lokale terreingradiënten dwars op het zomerbed, bijvoorbeeld door uiterwaardverlaging achter de oeverwal, kan ook bijdragen aan crevassevorming.

Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek in relatie tot uiterwaardgeulen te bevorderen zijn:

1. inlaatwerken van nevengeulen anders vormgeven om meer dynamiek toe te staan;
2. oevers van nevengeulen vormgeven in overeenstemming met de toegestane dynamiek (steile oevers horen bij hoog-dynamische geulen waarin erosieprocessen plaats kunnen vinden, flauwe slikkige oevers passen bij laag-dynamische geulen);
3. lokale verlagingen/onderbrekingen in oeverwallen of zomerkades aanbrengen om crevassevorming te bevorderen.

6.5 Uiterwaard-/weerdvlakte

In de uiterwaard-/weerdvlakte is langzame opslibbing het meest voorkomende proces. De hoeveelheid sediment die per hoogwater op een bepaalde plaats wordt afgezet wordt voornamelijk bepaald door (1) de overstromingsduur en (2) de waterdiepte. Op lage plaatsen (zoals afgesloten strangen) waar het water lang blijft staan bezinkt al het in de waterkolom aanwezige slib. Hoewel slibafzetting in de overstromingsvlakte een veel minder spectaculair morfodynamisch proces is dan bijvoorbeeld oeverwalvorming, is het een onlosmakelijk onderdeel van een natuurlijk riviersysteem, dat bovendien over grote oppervlaktes actief is. Voor slechts enkele in het veld bezochte plaatsen kon dit subtiele proces worden vastgesteld met behulp van slibmatmetingen uit eerder onderzoek. We kunnen er echter zonder meer vanuit gaan dat dit het meest wijdverbreide morfodynamische proces in het rivierengebied is.

Maatregelen die kunnen worden genomen om morfodynamiek in de uiterwaard-/weerdvlakte te bevorderen zijn:

1. het verwijderen van zomerkades om de overstromingsfrequentie te verhogen;
2. het verlagen van delen van de uiterwaard om de overstromingsfrequentie en -duur te verhogen.

Evenals bij vergraving van de oeverzone, verdient het bij uiterwaardverlaging aanbeveling rekening te houden met aanwezige aardkundige waarden (zoals kronkelwaardreliëf), die door de huidige morfodynamische processen niet opnieuw gevormd kunnen worden.

6.6 Getijvlakte

Het benedenrivierengebied kenmerkt zich door dagelijkse dynamiek in de vorm van een getijbeweging. Veel van de hiermee geassocieerde potentiële morfodynamiek blijft thans nog onbenut doordat kades delen van de getijvlakte van deze dynamiek vrijwaren. Met zeer beperkte ingrepen kan in grote gebieden het getij opnieuw worden toegelaten en kunnen morfodynamisch zeer actieve systemen met kreken en slikkige vlaktes ontstaan.

De belangrijkste maatregelen die kunnen worden genomen om de morfodynamiek in riviergetijvlaktes te herstellen zijn:

1. het doorsteken van kades;
2. het zodanig vormgeven van in- en uitstroomopeningen dat de getijslag in het achterliggende bekken maximaal is.

Gezien de grote dagelijkse dynamiek zullen kreeksystemen zich in relatief korte tijd vormen in riviergetijvlaktes wanneer de getijdynamiek eenmaal hersteld is. Het verdient daarom aanbeveling de natuur zelf dit werk te laten doen, in plaats van kreeksystemen aan te leggen.

Literatuur

Ancker JAM van den, Jungerius PD (1997) Eolische processen langs de Waal; zomer 1997, ICG-rapport 97/9, Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek, Amsterdam, 43 p.

Anoniem (1999) Trajectnota/MER Zandmaas/Maasroute. De Maaswerken, Maastricht, 15 p.

Anoniem (2003) Milieu-effectrapport Grensmaas 2003; hoofdrapport. De Maaswerken, Maastricht, 352 p.

Anoniem (2007) Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier, deel 4; vastgesteld besluit, nota van toelichting. Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, Den Haag, 43 p.

Anoniem (2011a) Handboek DTB-Droog en DTB-Nat, Rijkswaterstaat, Delft, 425 p.

Anoniem (2011b) Productspecificaties Digitaal Topografisch Bestand, Rijkswaterstaat, Delft, 43 p.

Anoniem (2009) Nationaal Waterplan 2009-2015. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 140 p.

Berendsen HJA (2008a) De vorming van het land; inleiding in de geologie en de geomorfologie. Van Gorcum, Assen, 420 p.

Berendsen HJA (2008b) Landschappelijk Nederland. Van Gorcum, Assen, 256 p.

Brinke W ten (2004) De beteugelde rivier; Bovenrijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn-Lek en IJssel in vorm. Veen Magazines, Diemen, 228 p.

Cushing CE, Cummins KW, Minshall GW (Red.) (2006) River and stream ecosystems of the world. University of California Press, Berkely/Los Angeles, 817 p.

Dorenbosch M, Kessel N van, Kranenbarg J, Spikmans F, Verberk W, Leuven R (2011) Nevengeulen in uiterwaarden als kraamkamer voor riviervissen. Rapport nr. 2011/OBN143-RI, Bosschap, Driebergen, 98 p.

Ferguson RI (1981) Channel form and channel changes. In: Lewin J (Red.), British Rivers. Allen & Unwin, Londen, pp. 90-211.

Gordon ND, McMahon TA, Finlayson BL, Gippel CJ, Nathan RJ (2004) Stream hydrology; an introduction for ecologists. Wiley, 444 p.

Heerd RM van, Kuijlaars EAC, Teeuw MP, Zand RJ van 't (2000) Productspecificatie AHN 2000. Rapport MDTGM 2000.13, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ICT, Delft, 22 p.

Hobo N, Makaske B, Middelkoop H, Wallinga J (2010) Reconstruction of floodplain sedimentation rates: a combination of methods to optimize estimates. *Earth Surface Processes and Landforms* 35 (13), pp. 1499-1515.

Isarin RFB, Berendsen HJA, Schoor MM (1995) De morfodynamiek van de rivierduinen langs de Waal en de Lek, RIZA, Lelystad, 54 p.

Koomen AJM, Maas GJ (2004) Geomorfologische Kaart Nederland (GKN); achtergronddocument bij het landsdekkende digitale bestand. Alterra-rapport 1039, Alterra, Wageningen, 38 p.

Liefveld WM, Maas GJ, Wolfert HP, Koomen AJ, Rooij SAM van (2000) Richtlijnen voor de ruimtelijke verdeling van ecotopen langs de Maas op basis van ecologische netwerken en geomorfologische kansrijkdom. RIZA, Arnhem, 73 p.

Maas GJ (1998) Historisch-geomorfologische ontwikkeling van enkele riviertrajecten langs de IJssel. Rapport 620, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 35 p.

Maas GJ (2000) Historische geomorfologie Maas en Benedenrivieren; Oude Maas, Merwede-Hollandse Biesbosch, Afgedamde Maas en Maaskant. Alterra-rapport 075, Alterra, Wageningen, 63 p.

Maas GJ (2002) Historische ecotopen en morfologische processen rivieren; Haringvliet - Hollandsch Diep, Roerdalslenkmaas en Grensmaas. Alterra-rapport 505, Alterra, Wageningen, 60 p.

Maas GJ, Makaske B (2003) Sedimentation on embanked floodplains of the rivers Waal and IJssel. In: Leuven RSEW, Os AG van, Nienhuis PH (Red.), *Proceedings NCR-days 2002: current themes in Dutch river research*. NCR-publication 20-2003, Nederlands Centrum voor Rivierkunde, Delft, pp. 122-124.

Maas GJ, Hobo N (2007) Locaties voor ontwikkeling van stroomdalgrasland en hardhoutooibos in de uiterwaarden van de Waal, Nederrijn-Lek en IJssel. Alterra, Wageningen, 5 p.

Maas GJ, Makaske B, Hommel PWFM, Nijhof BSJ, Wolfert HP (2003) Verstoring en successie; rivierdynamiek en stroomdalvegetaties in de uiterwaarden van de Rijntakken. Alterra-rapport 759, Alterra, Wageningen, 100 p.

Maas GJ, Wolfert HP, Schoor MM, Middelkoop H (1997) Classificatie van riviertrajecten en kansrijkdom voor ecotopen; een voorbeeldstudie vanuit historisch-geomorfologisch en rivierkundig perspectief. Rapport 552, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 157 p.

Makaske B (2001) Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Science Reviews* 53, pp. 149-196.

Makaske B, Weerts HJT (2005) Muddy lateral accretion and low stream power in a subrecent confined channel belt, Rhine-Meuse delta, central Netherlands. *Sedimentology* 52 (3), pp. 651-668.

Middelkoop H, Stouthamer E, Schoor MM, Wolfert HP, Maas GJ (2003) Kansrijkdom voor rivierecotopen vanuit historisch-geomorfologisch perspectief; Rijntakken, Maas, Benedenrivieren. NCR-publication 21-2003, Nederlands Centrum voor Rivierkunde, Delft, 124 p.

Middelkoop H, Asselman NEM (1998) Spatial variability of floodplain sedimentation at the event scale in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, pp. 561-573.

Molen DT van der, Aarts HPA, Backx JJGM, Geilen N, Platteeuw M (2000) RWES aquatisch. RIZA rapport 2000.038, RIZA, Lelystad, 114 p.

Nanson GC, Croke JC (1992) A genetic classification of floodplains. *Geomorphology* 4, pp. 459-486.

Peters B (2008) Preadvies rivierengebied; trends, knelpunten en kennisvragen uit het rivierengebied. Rapport DK nr. 2008/dk093-O, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede, 174 p.

Peters B, Kater E, Geerling G (2006) Cyclisch beheer in uiterwaarden; natuur en veiligheid in de praktijk. Centrum voor Water en Samenleving, Radboud Universiteit, Nijmegen, 206 p.

Peters B, Kurstjens G (2008) Maas in beeld; succesfactoren voor een natuurlijke rivier. Projectgroep Maas in Beeld. Bureau Drift/Kurstjens ecologisch adviesbureau, Berg en Dal/Beek Ubbergen, 99 p.

Petts GE, Amoros C (Red.) (1996) *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall, London, 336 p.

Rademakers JGM, Wolfert HP (1994) Het rivieren-ecotopen-stelsel: een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijks rivierengebied. RIZA, Lelystad, 77 p.

Schumm SA (1977) *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 p.

Schoor MM, Sorber AM (1998) *Morfologie Natuurlijk*. RIZA, Arnhem, 28 p.

Schoor MM, Greijdanus M, Geerling GW, Van Kouwen LAH, Postma R (2011) Een nevengeul vol leven, handreiking voor een goed ecologisch ontwerp. Rijkswaterstaat, Arnhem, 84 p.

Sieben J (2009) Sediment management in the Dutch Rhine Branches. *International Journal of River Basin Management* 7, pp. 43-53.

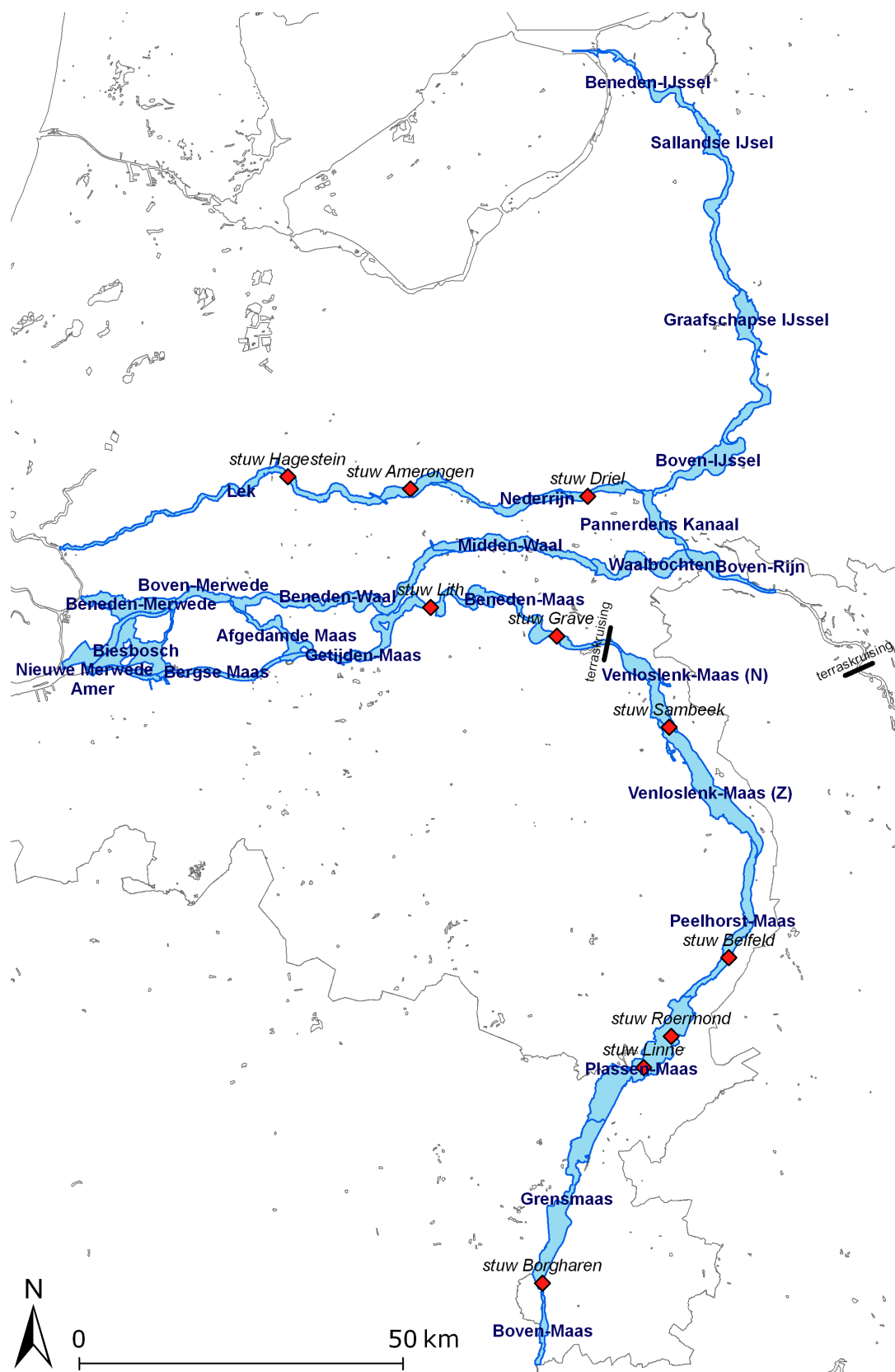
Sorber AM (1997) Oeversedimentatie tijdens de hoogwaters van 1993/1994 en 1995. RIZA rapport 97.015, RIZA, Lelystad, 40 p.

Stuurgroep Nadere Uitwerking Rivierengebied (1991) Nadere uitwerking rivierengebied; eindrapport van de stuurgroep. Stuurgroep Rivierengebied, Rijksplanologische Dienst, Den Haag, 132 p.

Wolfert HP (1998) Geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen in de riviertrajecten van de Rijnakken. Rapport 621, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 43 p.

Wolfert HP (2001) Geomorphological change and river rehabilitation; case studies on lowland fluvial systems in the Netherlands. Alterra Scientific Contributions 6, Alterra, Wageningen, 200 p.

Bijlage 1 Beschrijving van riviertrajecten: riviermorfologie, morfodynamiek en kansen voor herstel van fysiotopen



Figuur B1.1 Trajectindeling Rijntakken en Maas met locaties van stuwen en terrassenkruisingen.

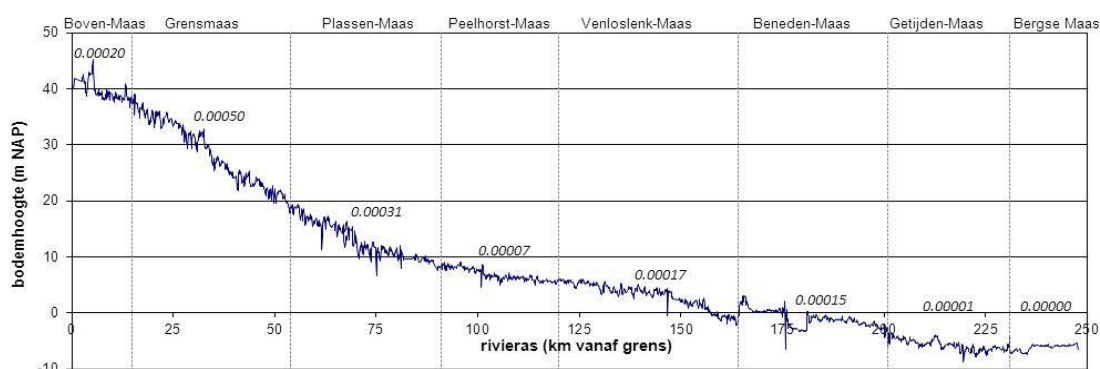
Riviertrajecten van de Maas

De Maas komt Nederland binnen bij Eijsden, en tot aan Heumen stroomt de Maas als terrassenrivier door het Maasdal (transportzone) (Berendsen, 2008a). Van Heumen tot aan de monding is sprake van een bedijkte laaglandrivier (depositiezone). In de eerste helft van de twintigste eeuw zijn verschillende stuwen aangelegd in het traject bovenstrooms van Lith. In Tabel B1.1 is een aantal afvoercharacteristieken van de Maas gegeven.

Tabel B1.1 Afvoercharacteristieken van de Maas bij Borgharen.

Afvoer	Q (m ³ s ⁻¹)
Q minimaal	10
Q gemiddeld	236
Q geulvullend	1.000-1.400
Q maximaal (gemeten)	3.120
Q maatgevend	3.800

In Figuur B1.2 is het verloop van de bodemhoogte langs de as van de rivier (bodemverhang) gegeven. In de figuur zijn de verschillende riviertrajecten aangegeven. In Tabel B1.2 zijn historische en huidige waarden van diverse rivierkundige parameters gegeven.



Figuur B1.2 Verhanglijn van de rivierbodem van de Maas. Ook is het gemiddelde bodemverhang voor ieder traject in de figuur aangegeven (gegevens: Rijkswaterstaat).

Tabel B1.2 Rivierkundige parameters voor de Maas. B/d = Breedte/diepte-verhouding, ssp = specifiek stromingsvermogen (Middelkoop et al., 2003).

Riviertrajecten	Historische waarden			Huidige waarden	
	jaar	B/d	ssp (W/m ²)	B/d	ssp (W/m ²)
Boven-Maas				20-45	15-45
Grensmaas	1896	38	39,4	15-35	25-100
Plassen-Maas	1903	40	10	15-35	15-100
Peelhorst-Maas				20-35	3-10
Venloslenk-Maas				15-30	4-15
Beneden-Maas	1898	31	3,3	15-30	7-20
Getijden-Maas				20-45	0,5-5
Afgedamde Maas	1884	88	1,2		
Bergsche Maas					

De Boven-Maas (Eijsden–Maastricht, km 0-15) is van oorsprong een dynamische, grindrijke terrassenrivier. Na de rivierregulering is het traject volledig gestuwd en is op een aantal plekken veel grind gewonnen. Tegenwoordig wordt nauwelijks grind afgezet. In de overstromingsvlakte vindt vooral afzetting van zand en leem plaats. Een aanzienlijk deel van de Boven-Maas stroomt door Maastricht (Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

De Grensmaas (Borgharen-Maasbracht, km 15-54) ligt naast het Julianakanaal en is niet gestuwd. Oorspronkelijk was dit riviertraject een ondiepe, meanderende grindrivier met kronkelwaarden, zand- en grindbanken, steilranden en oeverwallen. Door de sterk verminderde aanvoer van sediment ligt de Grensmaas thans diep ingesneden in het landschap (Maas, 2002; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

De Plassen-Maas of Roerdalslenk-Maas (Maasbracht-Beesel, km 54-91) had voor de grootschalige grindwinningen in het bovenstroomse deel het karakter van een sterk meanderende grindrivier, zoals de Grensmaas. Het Maasdal is in dit traject relatief breed, vanwege de ligging in de (Berendsen, 2008b) Roerdalslenk. Halverwege het traject wordt het verhang kleiner. Vanwege de ligging in de tektonisch dalende slenk heeft de Maas in dit traject altijd veel (grindig) sediment afgezet. Door het brede dal zijn meanders in dit traject goed ontwikkeld. Door de stuwen bij Linne en Roermond en de grootschalige grindwinningen is het karakter van de rivier totaal veranderd. Zoals de trajectnaam suggereert wordt dit riviertraject gedomineerd door grote, diepe grindwinplassen, van elkaar gescheiden door dammen (Maas, 2002; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

In de Peelhorst-Maas (Beesel-Arcen, km 91-120) en de Venloslenk-Maas (Arcen-Grave, km 120-164) krijgt het Maassediment een meer zandig karakter (het traject wordt ook aangeduid als de Zandmaas). Het traject is volledig gestuwd en grotendeels onbedijkt, vanwege de ligging in de Maasvallei. Tot aan Venlo is het Maasdal relatief smal, omdat de rivier hier de Peelhorst kruist. Dit traject is van oorsprong zwak meanderend. Kenmerkend voor dit traject zijn de oeversteilranden en de diepe insnijding ten opzichte van de hoger gelegen terrassen. Stroomafwaarts van Venlo wordt het Maasdal geleidelijk breder, en zijn de (vroegere) meanders sterker ontwikkeld. Dit traject wordt de Venloslenk-Maas genoemd. Kenmerkende fysiotopten voor dit traject zijn de beekmondingen en de laat-pleistocene rivierduinen. Op veel plaatsen langs de terrassen komt kwel voor (Berendsen, 2008b; Peters, 2008).

De Beneden-Maas of Maaskant-Maas (Grave–Lith, km 164-201) is een bedijkte laaglandrivier in de depositiezone. Oorspronkelijk was de Beneden-Maas een sterk meanderende rivier met een diep zomerbed en kronkelwaardreliëf. Door het relatief kleine verhang ging de meandermigratie langzaam. Processen als het opslibben van kronkelwaarden en het dichtslibben van restgeulen vonden plaats. In het verleden zijn echter vele meanders afgesneden. De oevers zijn verdedigd met stortsteen en het traject is volledig gestuwd en bedijkt. De dijken liggen dicht langs de rivier, zodat grote delen van de oorspronkelijke overstromingsvlakte van de rivier zijn afgesneden (Maas, 2002; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Vanaf de stuw bij Lith stroomt de Maas ongestuwd tot aan de monding. In het traject van Lith tot aan Heusden is de invloed van de getijdenbeweging merkbaar. Dit traject is de Getijden-Maas (km 201-231). Met de aanleg van de Haringvlietsluizen (1970) is de getijdeninvloed sterk verminderd. In de huidige situatie is de getijdenbeweging maximaal 30 cm. In dit traject is

nauwelijks oeververdediging aangebracht, zodat plaatselijk erosiewanden en (actieve) oeverwallen te vinden zijn. Vanaf Heerewaarden is het zand kalkrijk omdat de ondergrond deels bestaat uit door de Waal afgezette sedimenten (Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

De Bergsche Maas (Heusden-Geertruidenberg, km 231-251) is in 1904 gegraven tussen Heusden en de Amer. Sindsdien stroomt de Maas niet meer via de Boven-Merwede richting Haringvliet en de Noordzee. Gedeeltelijk loopt de Bergsche Maas door een oude arm van de Maas.

De Afgedamde Maas (Heusden-Woudrichem, km 229-247) was tot 1904 de benedenloop van de Maas die - samen met de Waal - uitmondde in de Boven-Merwede. Het was een zwak meanderende rivier met langzaam stroomafwaarts migrerende meanders en kronkelwaardvorming. Sinds de aanleg van de Bergsche Maas en de afdamming is de invloed van de Maas verdwenen, en zijn grote delen van de uiterwaarden bekaad (Maas, 2000).

Tabel B1.3 Kansrijkdom van ontwikkeling, herstel en behoud van fysiotopen per riviertraject van de Maas (Maas, 2000; Maas 2002; Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Fysiotop	Boven-Maas	Grensmaas	Plassen-Maas	Peelhorst-Maas	Venlosenk-Maas	Beneden-Maas	Getijden-Maas	Afgedamde Maas	Bergsche Maas
rivierbedding (ondiep)	1,4	1,2	1			1	1		
zand- of grindbank		1							
steiloever		1	1	1	1	1	1		
nevengeul (breed, ondiep)	1	1	1			1			
nevengeul (smal, diep)						4			
kreek							1		
buitendijkse platen							1		
meanderruggen en geulen		2				4		4	
oeverwal			1	1	1	4			
rivierduin								4	
strang						3	2,3	3	
restgeul		2	4	4	4	2,4		2	
plas				3	3	3			
beek	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4				

1 = Natuurlijke ontwikkeling

2 = Verjongen

3 = Duurzaam creëren

4 = Behoud

cursief: kansrijkdom matig

In Tabel B1.3 is een overzicht gegeven van de kansrijkdom voor het herstel van verschillende fysiotopen in de riviertrajecten van de Maas. In deze tabel is de informatie uit de literatuur samengevat. In de tabel wordt de kansrijkdom voor het herstel van een specifiek fysiotop aangeduid in de onderstaande categorieën.

1. Natuurlijke ontwikkeling: het fysiotoop kan zich in dit riviertraject spontaan ontwikkelen en verjongen.
2. Verjongen: de rivier kan het fysiotoop niet via natuurlijke wijze verjongen. Na kunstmatige verjonging kan het fysiotoop zich wel natuurlijk ontwikkelen.
3. Duurzaam creëren: het creëren van fysiotoopen die niet op eigen kracht kunnen ontstaan of worden verjongd.
4. Behoud: het behouden van relictten van morfodynamische processen uit het verleden.

Riviertrajecten van de Boven-Rijn en de Waal

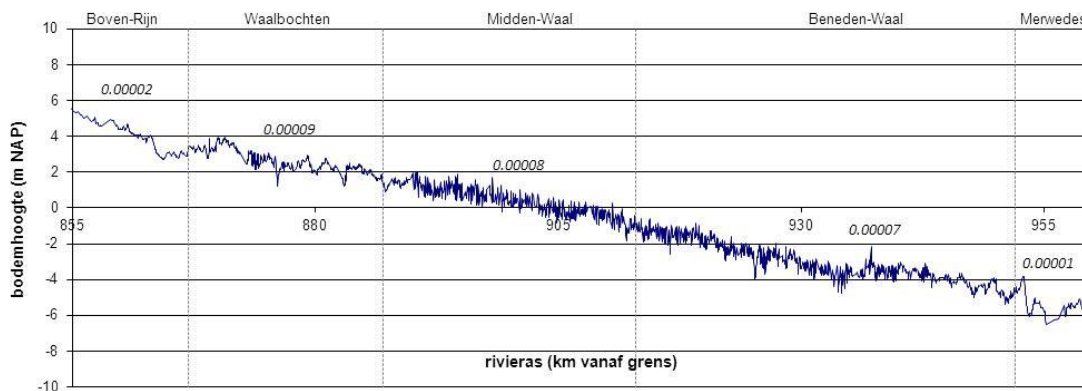
De Rijn stroomt bij Lobith (Tolkamer) Nederland binnen als een bedijkte laaglandrivier in de depositiezone. De terrassenkruising van de Rijn ligt net bovenstrooms van de grensovergang bij Xanten (Berendsen, 2008a). De Boven-Rijn en Waal zijn ongestuwd.

In Tabel B1.4 is een overzicht van een aantal afvoercharacteristieken van de Boven-Rijn gegeven. Deze afvoeren zijn representatief voor de Boven-Rijn. Bij de Pannerdense Kop splitst de Boven-Rijn zich in de Waal en het Pannerdens Kanaal. Hier geldt dat grofweg 2/3 van de afvoer van de Boven-Rijn door de Waal stroomt.

Tabel B1.4 Afvoercharacteristieken van de Rijn bij Lobith.

Afvoer	Q (m ³ s ⁻¹)
Q minimaal	782
Q gemiddeld	2.300
Q geulvullend (oevers)	3.500
Q geulvullend (zomerkades)	7.000
Q maximaal (gemeten)	12.060
Q maatgevend	16.000

In Figuur B1.3 is het verloop van de bodemhoogte langs de as van de rivier (bodemverhang) gegeven. In de figuur zijn de verschillende riviertrajecten aangegeven. In Tabel B1.5 zijn historische en huidige waarden van diverse rivierkundige parameters gegeven.



Figuur B1.3 Verhanglijn van de rivierbodem van de Boven-Rijn en de Waal. Ook is het gemiddelde bodemverhang voor ieder traject in de figuur aangegeven. (gegevens: Rijkswaterstaat)

Tabel B1.5 Rivierkundige parameters voor de Boven-Rijn en de Waal. B/d = Breedte/diepte-verhouding, ssp = specifiek stromingsvermogen (Middelkoop et al., 2003).

	Historische waarden			Huidige waarden	
	jaar	B/d	ssp (W/m ²)	B/d	ssp (W/m ²)
Riviertrajecten					
Boven-Rijn				30-55	2-15
Waalbochten				30-55	2-15
Midden-Waal	1800	151	5,6	30-55	2-15
Beneden-Waal				30-55	2-15

De Boven-Rijn (Lobith–Pannerden, km 854-867) bestaat grotendeels uit het Bijlands Kanaal: een in 1776 gegraven rivier. Vanaf het moment van aanleg van het Bijlands Kanaal zijn de huidige Rijnstrangen, de oude loop van de Rijn, afgesneden van de rivier. Bij de Pannerdensche Kop splitst de Waal zich af. Tussen Pannerden en Nijmegen ligt het riviertraject Boven-Waal of Waalbochten (km 867-887). De trajecten van Lobith tot aan Nijmegen worden gekenmerkt door brede uiterwaarden en grote vastgelegde meanders. De laagwaterbedding is vastgelegd met kribben. De overige delen van de oevers zijn niet verdedigd. Door de aanwezigheid van de kribben en een beperkte sedimentaanvoer is in de hoofdgeul sprake van insnijding. Op de overstromingsvlakten vindt relatief veel afzetting van zand plaats (mede door de beperkt verdedigde oevers). Lokaal zijn ook afzettingen met fijn grind te vinden. De sedimentafzetting leidt tot actieve oeverwalvorming langs de hoofdgeul. Door de gunstige ligging ten opzichte van de wind en van rivierstranden ontwikkelen sommige oeverwallen in de Millingerwaard zich tot rivierduinen. In de uiterwaarden zijn ook diverse zandwinputten te vinden. Door de bedijking is er geen directe verbinding meer van de riviervlakte met de stuwwallen bij Nijmegen.

De Midden-Waal (Nijmegen–Tiel, km 887-913) heeft van oorsprong een zwak slingerende (bijna rechte) loop en brede uiterwaarden. Uit historisch-geomorfologisch onderzoek blijkt dat de dynamiek van deze rivier vooral tot uiting kwam in de vorming van alternerende banken en eilanden, met benedenstrooms aangekoppelde strangen (Maas et al., 1997). Door het hoge specifieke stromingsvermogen in combinatie met de bedijking migreerden de bochten stroomafwaarts. Door de opwassen in de bedding had de rivier een hoge breedte/diepte-verhouding. Door de aanleg van kribben en het vastleggen van eilanden is de aanvankelijke morfodynamiek van de bedijkte Midden-Waal verstoord. Omdat de oevers tussen de kribben niet zijn verdedigd, vindt nog steeds actieve oeverwalvorming plaats. Net als in de bovenstroomse trajecten is er in dit traject ook sprake van insnijding van de hoofdgeul, en zijn er in de uiterwaarden grote zandwinputten te vinden (Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Het karakter van de Beneden-Waal (Tiel–Woudrichem, km 913-952) is enigszins vergelijkbaar met de Midden-Waal. In dit traject wordt vanaf Zaltbommel de getijdenbeweging beperkt merkbaar. De insnijding van de hoofdgeul slaat hier om naar ophoging van het zomerbed (Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

In Tabel B1.6 is een overzicht gegeven van de kansrijkdom voor het herstel van verschillende fysiotopen in de riviertrajecten van de Boven-Rijn en Waal. In de voorgaande sectie over de Maas is deze tabel nader toegelicht.

Tabel B1.6 Kansrijkdom van ontwikkeling, herstel en behoud van fysiotopen per riviertraject langs de Boven-Rijn en de Waal (Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Fysiotop	Boven-Rijn	Waalbochten	Midden-Waal	Beneden-Waal
rivierbedding (ondiep)		3*	3*	3*
zand- of grindbank	2*	2*	2*	2*
steiloever	1	1		
nevengeul (breed, ondiep)	2,3	2,3	2,3	2,3
oeverwal	1	1	1	
rivierduin	1	1	1	
strang	2	2,4	2,4	2
restgeul	2	4		
plas	3	3		
beken		1		

1 = Natuurlijke ontwikkeling

2 = Verjongen

3 = Duurzaam creëren

4 = Behoud

cursief: kansrijkdom matig

* = eventueel via vervangingsfysiotop in nevengeulen en kribvakken

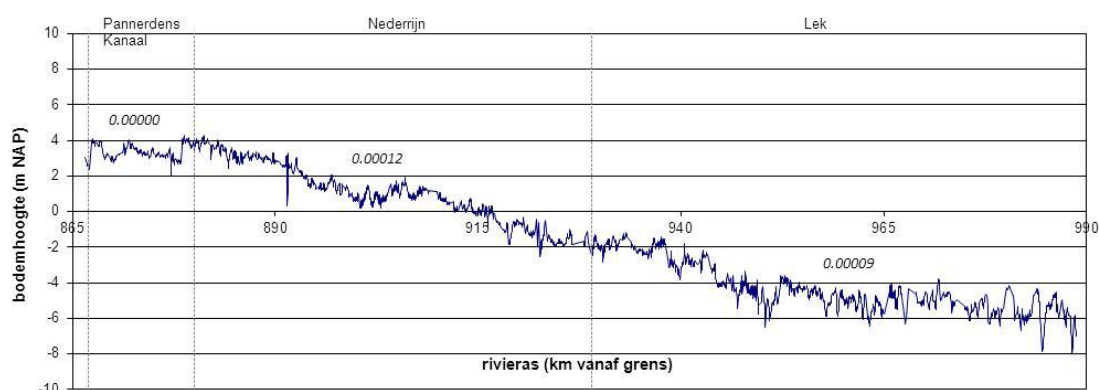
Riviertrajecten van het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek

Bij de Pannerdensch Kop splitst de Boven-Rijn zich in de Waal en het Pannerdensch Kanaal. In Tabel B1.7 is een aantal afvoercharacteristieken van het Pannerdensch Kanaal gegeven. Bij de IJsselkop splitst de IJssel zich af van de Nederrijn. Bij gestreken stuwen stroomt grofweg 2/3 van de afvoer van het Pannerdensch Kanaal door de Nederrijn stroomafwaarts van de IJsselkop.

Tabel B1.7 Afvoercharacteristieken van het Pannerdensch Kanaal.

Afvoer	Q (m ³ s ⁻¹)
Q minimaal	260
Q gemiddeld	767
Q geulvullend (oevers)	1.167
Q geulvullend (zomerkades)	2.333
Q maximaal (gemeten)	4.020
Q maatgevend	5.333

In Figuur B1.4 is het verloop van de bodemhoogte langs de as van de rivier (bodemverhang) gegeven. In de figuur zijn de verschillende riviertrajecten aangegeven. In Tabel B1.8 zijn historische en huidige waarden van diverse rivierkundige parameters gegeven.



Figuur B1.4 Verhanglijn van de rivierbodem van het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek. Ook is het gemiddelde bodemverhang voor ieder traject in de figuur aangegeven. (gegevens: Rijkswaterstaat)

Tabel B1.8 Rivierkundige parameters voor het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek. B/d = Breedte/diepte-verhouding, ssp = specifiek stromingsvermogen (Middelkoop et al., 2003).

Riviertrajecten	Historische waarden			Huidige waarden	
	jaar	B/d	ssp (W/m ²)	B/d	ssp (W/m ²)
Pannerdensch Kanaal				10-30	2-15
Nederrijn				10-30	2-15
Lek	1818	75	3,1	10-30	2-15

Het Pannerdensch Kanaal (Pannerdensche Kop–IJsselkop, km 867-880) is in 1707 gegraven tussen de Pannerden en Angeren om het Rijnwater beter te verdelen over de verschillende Rijntakken. In 1775 is dit gevolgd door een grootschalige reconstructie van de Pannerdensche Kop. Bij Angeren begint officieel de Nederrijn. In deze studie wordt het traject tot aan de IJsselkop echter aangeduid als Pannerdensch Kanaal.

De Nederrijn (IJsselkop-Wijk bij Duurstede, km 880-929) is gestuwd. Dit riviertraject kende van oorsprong al een beperkte dynamiek, en na de aanleg van de stuwen (1954-1967) is deze dynamiek verder beperkt. Bij afvoeren tot $1500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith zijn de stuwen volledig gesloten, en is er vrijwel geen stroming. In deze omstandigheden kan er slib sedimenteren in het zomerbed. Bij hogere afvoeren worden de stuwen geleidelijk open gezet. Bij afvoeren hoger dan $3300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ staan alle stuwen volledig open. Door de stuwing zijn de grondwaterpeilen in de uiterwaarden relatief hoog, waardoor moerassige fysiotopten zich goed kunnen ontwikkelen. Oeverwalvorming treedt hier nauwelijks op, vooral vanwege de aanwezige oeverbestorting. Een deel van het traject grenst aan de hoge stuwwallen van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. In dit deel is de rechteroever onbedijkt, en de landschappelijke overgang van stuwwal naar uiterwaard is hier nog redelijk intact. Lokaal treedt grondwater van de stuwwal uit in de uiterwaarden (Middelkoop et al., 2003). De Nederrijn was oorspronkelijk een meanderende rivier met goed ontwikkelde kronkelwaarden die hier en daar nog binnen de uiterwaarden voorkomen.

De Lek (Wijk bij Duurstede-Krimpen aan de Lek, km 929-989) lijkt tot aan de stuw bij Hagestein sterk op de Nederrijn. Stroomafwaarts van de stuw bij Hagestein wordt de dynamiek in de waterstanden mede bepaald door getijden (0,5 m-1,5 m). Door deze getijdendynamiek ontstaan zoetwatergetijdengebieden met droogvallende slikoevers en andere moerassige fysiotopten. De hoofdgeul kent een lage sinuositeit met smalle uiterwaarden en strangen, enkele eilanden en beperkte kronkelwaardvorming (zonder expliciet ruggen- en geulenpatroon). In dit traject liggen ook enkele waardevolle oude oeverwalafzettingen (Middelkoop et al., 2003).

In Tabel B1.9 is een overzicht gegeven van de kansrijkdom voor het herstel van verschillende fysiotopten in het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek.

Tabel B1.9 Kansrijkdom van ontwikkeling, herstel en behoud fysiotoopen per riviertraject langs het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek (Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008)

Fysiotooop	Pannerdensch Kanaal	Nederrijn	Lek
rivierbedding		3*	3*
zand- of grindbank		1**	1**
steiloevers		1	
nevengeul (breed, ondiep)			1
nevengeul (smal, diep)	3	2	2
kreek			3
buitendijkse platen			1
oeverwal		4**	1,4
rivierduin			4
strang		2,4	2,4
plas		3	3
beek		1,3	
moerassige laagte		1	1

1 = Natuurlijke ontwikkeling

2 = Verjongen

3 = Duurzaam creëren

4 = Behoud

cursief: kansrijkdom matig

* = eventueel via vervangingsfysiotooop in nevengeulen

** = kansrijk bij verwijderen oeverbestorting

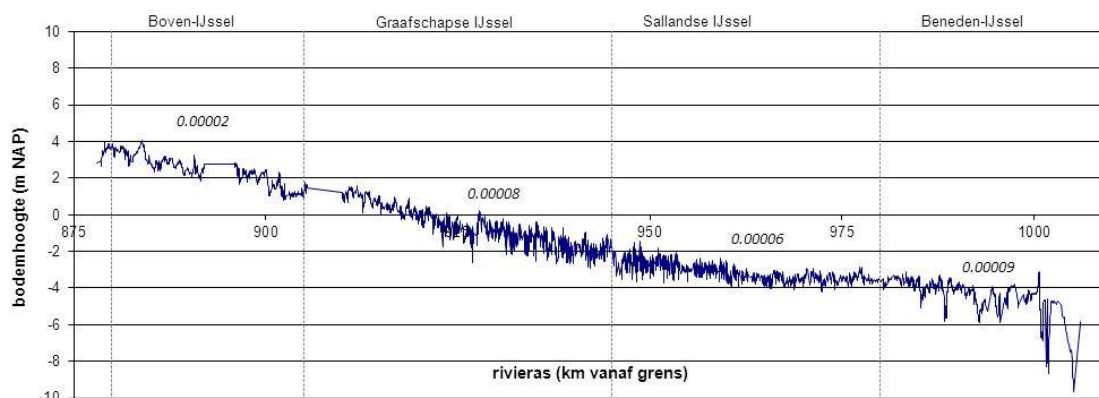
Riviertrajecten van de IJssel

Bij de IJsselkop splitst de IJssel zich af van de Nederrijn. De IJssel is ongestuwd, en over de hele lengte is de oever verdedigd met kribben en/of verharde oeverbekleding. In Tabel B1.10 is een aantal afvoercharacteristieken van de IJssel gegeven.

Tabel B1.10 Afvoercharacteristieken van de IJssel.

Afvoer	Q (m ³ s ⁻¹)
Q minimaal	87
Q gemiddeld	266
Q geulvullend (oevers)	389
Q geulvullend (zomerkades)	778
Q maximaal (gemeten)	1.340
Q maatgevend	1.778

In Figuur B1.5 is het verloop van de bodemhoogte langs de as van de rivier (bodemverhang) gegeven. In de figuur zijn de verschillende riviertrajecten aangegeven. In Tabel B1.11 zijn historische en huidige waarden van diverse rivierkundige parameters gegeven.



Figuur B1.5 Verhanglijn van de rivierbodem van de IJssel. Ook is het gemiddelde bodemverhang voor ieder traject in de figuur aangegeven. (gegevens: Rijkswaterstaat)

Tabel B1.11 Rivierkundige parameters voor de IJssel. B/d = Breedte-diepte verhouding, ssp = specifiek stromingsvermogen (Middelkoop et al., 2003).

	Historische waarden			Huidige waarden	
	jaar	B/d	ssp (W/m ²)	B/d	ssp (W/m ²)
Riviertrajecten					
Boven-IJssel	1800	37	3	13-30	2-9
Graafschapse IJssel				13-30	2-9
Sallandse IJssel				13-30	2-9
Beneden-IJssel	1900	37	0,5	13-30	2-9

De Boven-IJssel (IJsselkop–Dieren, km 880-905) is een sterk meanderende rivier met een brede riviervlakte, kronkelwaarden en een smalle, diepe hoofdgeul. Strangen en restgeulen komen voor maar zijn deels dichtgeslibd. Door de oeververdediging is meandermigratie niet meer mogelijk (Maas et al., 1997).

Langs de Graafschapse IJssel (Dieren–Deventer, km 905-945) en de Sallandse IJssel (Deventer–Zwolle, km 945-980) is veel kronkelwaardreliëf aanwezig. De IJssel doorkruist hier oude rivierterrassen. De omgeving van dit traject is ook reliëfrijk door de aanwezige dekzandruggen en oude rivierduinen. Met het afnemen van de afvoer, het vastleggen van de hoofdgeul en het afsnijden van meanders zijn de vormende processen voor kronkelwaarden aan banden gelegd, en treedt oeverwalvorming slechts beperkt op. Langs de westkant van de IJssel zijn veel mondingen van beken uit de Veluwe terug te vinden.

De Beneden-IJssel (Zwolle–Kampen, km 980-1006) heeft deels een ander karakter dan de bovenstroomse trajecten. Na Zwolle verlaat de IJssel het pleistocene dal. De hoofdgeul van de Beneden-IJssel kent hier zowel sterk als zwak meanderende trajecten. Langs het zomerbed komen kronkelwaarden, opwassen en eilanden voor. De uiterwaarden zijn relatief smal en de ondergrond bestaat vooral uit klei op oude veenpakketten. Het verhang is laag, en de variatie in waterstanden gering. Dat biedt vooral kansen voor moerassige vegetaties als riviermoeras en rietland. De oeverwal en het rivierduinencomplex in de Vreugderijkerwaard zijn zowel vanuit geomorfologisch als ecologisch perspectief waardevol. In Tabel B1.12 is een overzicht gegeven van de kansrijkdom voor het herstel van verschillende fysiotopen in de riviertrajecten van de IJssel.

Tabel B1.12 Kansrijkdom van ontwikkeling, herstel en behoud fysiotopen per riviertraject langs de IJssel (Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Fysiotop	Boven-IJssel	Graafschapse IJssel	Sallandse IJssel	Beneden-IJssel
rivierbedding (ondiep)	1/3**	1/3**	1/3**	
zand- of grindbank	1**	1**	1**	
steiloever	1**	1**	1**	1**
nevenggeul (breed, ondiep)				2
nevenggeul (smal, diep)	3	3	3	3
meanderruggen en geulen	2,4	2,4		2,4
oeverwal	1	1	2	1
strang	2	2	2	2
restgeul	2	4		
plas	3	3	3	3
beek	1,4	1,4	1,4	
moerassige laagte	3			1

1 = Natuurlijke ontwikkeling

2 = Verjongen

3 = Duurzaam creëren

4 = Behoud

cursief: kansrijkdom matig

* = eventueel via vervangingsfysiotop in nevenggeulen

** = kansrijk bij verwijderen oeverbestorting

Riviertrajecten van de Merwedes en de Biesbosch

De Merwedes en de Biesbosch liggen in het benedenrivierengebied waar de Maas, de Waal en de Lek uitmonden. In Tabel B1.13 zijn de historische en huidige waarden van de rivierkundige parameters gegeven.

Oorspronkelijk bestond dit gebied uit uitgestrekte zoetwatergetijdengebieden. Door inpoldering en verstedelijking zijn deze grotendeels verdwenen, met uitzondering van de Biesbosch. In de Biesbosch is de overstromingsvlakte nog redelijk intact, maar zijn de kenmerkende zoetwatergetijdenprocessen wel gedeeltelijk verdwenen. Van de oorspronkelijke getijslag van ca. 2 m is na de afsluiting van het Haringvliet (1970) nog slechts 30-70 cm over. Hierdoor is de oppervlakte aan zoetwatergetijdengebieden met geleidelijke gradiënten sterk verkleind.

De Boven-Merwede (Woudrichem–Werkendam, km 952-961) was oorspronkelijk een brede benedenrivier met eilanden en platen. Door de verticale getijdenbeweging konden slikken en gorzen zich ontwikkelen. Sinds de aanleg van de Bergsche Maas wordt de Boven-Merwede alleen gevoed door de Waal (Maas, 2000; Middelkoop et al., 2003).

Bij Werkendam splitst de Boven-Merwede zich in de Beneden-Merwede (Werkendam–Dordrecht, km 961-975) en de Nieuwe Merwede (Werkendam–Hollandsch Diep, km 961-979). De overstromingsvlakte van de Beneden-Merwede is vrijwel geheel verdwenen, aan de noordzijde door verstedelijking en aan de zuidoever door inpoldering. De Nieuwe Merwede is een gegraven riviertak (1870).

Tabel B1.13 Rivierkundige parameters voor de Merwedes. B/d = Breedte/diepte-verhouding, ssp = specifiek stromingsvermogen (Middelkoop et al., 2003).

Riviertrajecten	Historische waarden			Huidige waarden	
	jaar	B/d	ssp (W/m ²)	B/d	ssp (W/m ²)
Boven-Merwede	1802	137	11,8	55-90	0,007-1
Beneden-Merwede				25-45	0,05-0,5
Nieuwe Merwede	1900	30	10	65-200	0,05-1

In Tabel B1.14 is een overzicht gegeven van de kansrijkdom voor het herstel van verschillende fysiotopen in de Merwedes en de Biesbosch.

Tabel B1.14 Kansrijkdom van ontwikkeling, herstel en behoud van fysiotoopen per riviertraject langs de Merwedes en in de Biesbosch (Maas et al., 1997; Middelkoop et al., 2003; Peters, 2008).

Fysiotooop	Boven-Merwede	Beneden-Merwede	Nieuwe Merwede	Biesbosch
nevengeul (breed, ondiep)	2	2	2	2
buitendijkse platen	1	1	1	1
kreek				1,2
moerassige laagte	1	1	1	2
getijdenvlakte (rietgorzen)	1	1	1	1

1 = Natuurlijke ontwikkeling

2 = Verjongen

3 = Duurzaam creëren

4 = Behoud

Bijlage 2 Inventarisatie van uiterwaardmaatregelen

ID	Projectnaam	Riviertraject	van km	tot km	programma	aanleg nevengeulen	verlagen uiterwaard/weerd	verwijderen oeverbescherming	verwijderen/aanpassen kribben	verleggen dijken/verwijderen zomer- zomerbedverdieping	Omvang (ha)	Jaar realisatie
1	Proefproject Meers	Grensmaas			MW							
2	Kerkeweerd (Maas, België)	Grensmaas			MW							
3	Koningssteen	Maas										
4	Buitenpolder Heenwaarden	Maas			NURG							
5	Rug van Roosteren	Maas			MW	ja	ja				100	1996
6	Geuzenwaard	Boven Rijn			NURG	ja	ja				68	2000
7	Klompewaard: uiterwaardvergraving en aanleg stromende nevengeul, dijkversterking	Waalbochten			NURG	ja	ja				97	2002
8	Millingenwaard/Erlecomse Waard NURG/PKB (2)	Waalbochten			NURG, PKB, WW							
9	Ewijkse plaat (maatregel 1989, cyclisch beheer 2010)	Midden Waal					ja					
10	Aferdensche & Deestsche waarden	Midden Waal			NURG, KRW, WW							
11	Zaltbommel / oude watertoren: uiterwaardvergraving en aanleg plas	Beneden Waal			NURG		ja				46	2002
12	Passewaaij: afgraven uiterwaard, aanleg plassen en strangen	Beneden Waal			NURG, KRW, WW		ja				60	1997
13	Kaliwaal	Beneden Waal										
14	Hondswaard	Beneden Waal			KRW							
15	Gamerense Waard: uiterwaardverlaging, aanleg hoog- en laagdynamische geul. Verwijdering voormalig fabrieksterrein.	Beneden Waal			NURG, KRW	ja	ja		ja		128	1999
16	Crobsche Waard (40)	Beneden Waal			WW							
17	Breemwaard: uiterwaardverlaging, aanleg geul en moerassen	Beneden Waal			NURG, KRW	ja	ja				129	1999
18	Dijkverlegging Hondsbroeksche Pleij	Pannerdens Kanaal			PKB							
19	Dijkverlegging Bakenhof	Nederrijn			PKB							
20	Uiterwaardvergraving Meinerswijk	Nederrijn			NURG, PKB							
21	Blauwe Kamer, Rhenense buitenwaard: kadeverlagingen, uiterwaardvergravingen, aanleg strangen	Nederrijn			NURG		ja				233	1992
22	Spoorbrug Oosterbeek	Nederrijn			PKB							
23	Amerongse Bovenpolder: aanleg kwelmoerassen door uiterwaardvergravingen, inceleidende meestromende kwelstrang				NURG						418 ?	
24	Lexkesveer	Nederrijn										
25	Stuweiland Driel afgraven stuweiland, verlaging toegangsweg, vispassage	Nederrijn			NURG		ja				41	2002
26	Manuswaard / De Spees	Nederrijn			NURG							
27	Steenwaard: uiterwaardverlaging, aanleg nevengeulen, combinatie met dijkversterking, plaatselijk ontwikkeling van oobos	Lek			NURG		ja				168	2001
28	Golberdingenwaard: uiterwaardvergraving, aanleg plassenstructuur, dijkversterking	Lek			NURG		ja				171	2001
29	Beusichemse Waard: uiterwaardvergraving in combinatie met dijkversterking	Lek			NURG		ja				237	1999
30	Lazaruswaard: uiterwaardvergraving, herstel oude rivierarm in combinatie met dijkversterking	Lek			NURG	ja	ja				73	2001
31	Keizers- en Stobbenwaard?	Sallandse IJssel										
32	Duursche waarden (fase 1): aanleg nevengeulen	Sallandse IJssel			NURG	ja	ja				140	1992
33	Koppelenwaard: aanleg plassen, kleiwinning tbv dijkversterking	Beneden IJssel			NURG		ja				10	2000
34	Engelse werk (fase 1): aanleg open plassen, maaiveldverlaging	Sallandse IJssel			NURG		ja				30	1998
35	Vreugdenikerwaard: aanleg meestromende nevengeul, plassen en maaiveldverlaging	Beneden IJssel			NURG	ja	ja				134	2003
36	Groesplaat, Gors den Aanwas, Sleeuwijk: aanleg nevengeul, natuurvriendelijke inrichting uiterwaard	Boven Merwede			NURG	ja	ja		ja		131	2001
37	Kleine Noordwaard: dijkverlegging, aanleg krekken en overige vergravingen, openingen in deijk, graven krekken/geulen	Biesbosch Amer			PKB	ja	ja		ja		610	
38	Slidrechtse Biesbosch: aanleg geulen en moerassen. Aantakking op Merwede. Bodemsanering bestaande krekken.	Biesbosch Amer			NURG						293	2004?
39	Pilot kribverlaging Midden-Waal	Midden Waal										