

---

# Kansrijkdom voor rivierecotopen vanuit historisch-geomorfologisch perspectief

Rijntakken – Maas - Benedenrivieren

H. Middelkoop  
E. Stouthamer  
M.M. Schoor  
H.P. Wolfert  
G.J. Maas

November 2003



NCR Publication 21-2003



---

---

# Inhoudsopgave

---

## **Inhoudsopgave 3**

## **Woord vooraf 5**

## **Samenvatting 7**

### **1 Inleiding 11**

- 1.1 Kader 11
- 1.2 Probleemstelling 11
- 1.3 Doelstelling 12
- 1.4 Afbakening 13
- 1.5 Aanpak 15

### **2 Geomorfologie en ecotopen 19**

- 2.1 Methode 19
- 2.2 Geomorfologische processen, fysiotopen en ecotopen 20
  - 2.2.1 Rivieren 20
  - 2.2.2 Benedenrivieren - estuarium 24

### **3 Rivierkundige parameters 27**

- 3.1 Definitie en bepaling van parameters 27
  - 3.1.1 Morfodynamiek 27
  - 3.1.2 Hydrodynamiek 29
- 3.2 Classificatie van riviertrajecten 30

### **4 Ecotopenverdeling en rivierkundige parameters – historische situatie 33**

- 4.1 Ecotopen 33
- 4.2 Rivierkundige kenmerken 34
  - 4.2.1 Morfodynamiek 34
  - 4.2.2 Hydrodynamiek 38
- 4.3 Karakterisering van riviertrajecten 41
  - 4.3.1 Rivieren 41
  - 4.3.2 Benedenrivieren - estuarium 45
  - 4.3.3 Overgang rivier - estuarium 46
- 4.4 Relatie tussen rivierkundige parameters en ecotopen 46
  - 4.4.1 Beddingecotopen en morfodynamische parameters 46
  - 4.4.2 Uiterwaardecotopen en hydrodynamische parameters 48
- 4.5 Conclusies 50

### **5 Huidige situatie en kansrijkdom voor ecotopen 53**

- 5.1 karakterisering huidige riviertakken 53
- 5.2 Kansrijkdom ecotopen 58
- 5.3 Discussie 64

### **6 Conclusies en aanbevelingen 69**

## **Literatuur 75**

---

**Bijlagen**

Bijlage 1	Overzicht van in deze studie gebruikte gegevens	77
Bijlage 2	Ecotopen en classificatiesysteem van de Ecotopen-Stelsels	83
Bijlage 3	Beschrijving van fysiotopen – rivierengebied en estuarium	85
Bijlage 4	Berekening rivierkundige parameters	89
Bijlage 5	Beschrijving van de riviertrajecten – historische referentie	91
Bijlage 6	Arealen beddingecotopen per riviertraject, weergegeven binnen het classificatiediagram voor morfodynamiek	115
Bijlage 7	Arealen uiterwaardecotopen per riviertraject, weergegeven binnen het classificatiediagram voor hydrodynamiek	117
Bijlage 8	NCR Supervisory Board and NCR Programme Committee	121
Bijlage 9	NCR Publications	123

---

## Woord vooraf

---

Binnen het project 'Geomorfologische geschiktheid ecotopen' wordt door RIZA-WSR onderzoek gedaan naar de (natuurlijke) geomorfologische processen en patronen binnen het winterbed van de grote rivieren in Nederland. Doel hiervan is om ten behoeve van beleid en plannen voor inrichting van het winterbed te onderzoeken in hoeverre en op welke plaatsen natuurlijke morfologische processen kunnen optreden, en waar vanuit historisch-morfologisch oogpunt kansen zijn voor de ontwikkeling van verschillende typen ecotopen. De historische situatie rond 1850 dient hierbij als referentie. Het schaalniveau van deze studie is dat van riviertrajecten.

Eerdere studies hebben een beeld opgeleverd van de ecotopenontwikkeling langs de Rijntakken, Benedenrivieren en de Maas in de historische referentie situatie en van de randvoorwaarden voor het optreden van fluviaatiele processen. Deze studies zijn uitgevoerd door Maas en Wolfert (Alterra). Tevens is onderzocht met welke hydro- en morfodynamische parameters het al dan niet voorkomen van verschillende typen ecotopen samen zou kunnen hangen en zijn hydro- en morfologische parameters opgesteld die geschikt zijn om verschillen tussen riviertrajecten in beeld te brengen. Dit is gedaan in gezamenlijk overleg tussen RIZA, de Universiteit Utrecht, Alterra en WLIDelft Hydraulics.

In dit rapport wordt een synthese gegeven van de verkregen resultaten, om (1) een overzicht te geven van het hele rivierengebied en (2) op basis daarvan richtlijnen te geven voor het beleid met betrekking tot de inrichting van het gehele riviersysteem. Deze laatste fase van het project is in twee stappen uitgevoerd, namelijk (1) analyse van de historische referentie situatie en (2) analyse van de huidige situatie en opstellen van richtlijnen voor de inrichting van het winterbed.

Het rapport is geschreven door H. Middelkoop en E. Stouthamer (beiden Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Departement Fysische Geografie) in opdracht van het RIZA te Arnhem. De berekeningen van de morfodynamische parameters zijn uitgevoerd door R. van der Veen en M. Schoor (RIZA-WSR). De projectleiding vanuit het RIZA was in handen van M. Schoor (RIZA-WSR). Daarnaast hebben de volgende personen een bijdrage geleverd door deelname aan een workshop waarin een eerste concept werd besproken: W. ten Brinke (RIZA-WSR), A. van Spijk (RWS-DZH), U. Menke (RIZA-IHL), J. Goudriaan (RWS-DLb), F. Kok (RWS-DON), E. Mosselman (WLIDelft Hydraulics), H. Wolfert (Alterra), G. Maas (Alterra). Het concept eindrapport is becommentarieerd door M. Schoor (RIZA-WSR), H. Wolfert en G. Maas (beiden Alterra).

---

---

## Samenvatting

---

Binnen het project 'Geomorfologische geschiktheid ecotopen' is door RIZA-WSR onderzoek gedaan naar de (natuurlijke) geomorfologische processen en patronen binnen het winterbed van de grote rivieren in Nederland. Het doel van dit project is te onderzoeken waar nog natuurlijke morfologische processen kunnen optreden, en waar vanuit historisch-morfologisch oogpunt kansen zijn voor de ontwikkeling van verschillende typen ecotopen. De historische situatie rond 1850 dient hierbij als referentie. Het ruimtelijke schaalniveau van het project is dat van riviertrajecten (10 tot 40 km). De resultaten van het project kunnen gebruikt worden bij ontwikkeling van beleid en plannen voor de herinrichting van het winterbed van de grote rivieren.

Dit rapport geeft een synthese van de resultaten die verkregen zijn in verschillende deelstudies binnen het project 'Geomorfologische geschiktheid ecotopen', die in samenwerking met RIZA, zijn uitgevoerd door Alterra, UU, en WL. De deelstudies hebben inzicht verschaft in de ecotopenverdeling langs de verschillende trajecten langs de Rijntakken, Benedenrivieren en de Maas in de historische referentie situatie (omstreeks 1850) en in de randvoorwaarden voor het optreden van fluviaatiele processen. Tevens zijn in deze deelstudies hydrologische en morfologische parameters opgesteld die geschikt zijn om verschillen tussen riviertrajecten in beeld te brengen. Classificatie op grond van hydrodynamiek gebeurt op grond van de volgende parameters: amplitudes van de daggemiddelde waterstanden en van het getij, en de verhouding oppervlaktewater/volume/getijvolume. De morfologische classificatie is gebaseerd op de breedte-diepte verhouding van de bedding, het specifieke stroomvermogen en de Shields parameter. In dit rapport zijn van 12 riviertrajecten de historische ecotopenverdeling en de historische morfologische en hydrologische parameters geanalyseerd. Vervolgens is onderzocht wat de samenhang tussen deze kenmerken was en hoe de huidige morfologische en hydrologische parameters in het gehele rivierengebied zijn. Aan de hand hiervan is de kansrijkdom bepaald voor herstel van ecotopen langs de huidige riviertrajecten.

Voor alle riviertrajecten geldt dat de fysiotopen en ecotopen in samenhangende ruimtelijke patronen voorkwamen, afhankelijk van de ontstaanswijze en de landschappelijke ingrepen van de mens: aanleg van kades, gebruik van de riviervlakte als grienden, grasland, akker en boomgaard. Van de meest bovenstrooms gelegen Grensmaas tot aan het estuarium bestonden rond 1850 grote verschillen in de historische ontwikkeling, de geomorfologische processen en rivierkundige parameters en in de hiermee samenhangende ecotopenverdeling. De relatie tussen ecotopenverdeling en hydrologische en morfologische parameters is in sommige gevallen duidelijk (o.a. zandbanken, eilanden, moerassen, slikken). In veel gevallen is er echter geen één-op-één relatie aanwezig op grond waarvan direct voorspellingen omtrent de kansrijkdom voor herstel gemaakt kunnen worden. Dit komt doordat de ecotopenverdeling niet alleen bepaald wordt door de in 1850 heersende geomorfologische processen, maar ook door het morfologische patroon, dat al vóór 1850 ontstaan was.

---

In vergelijking met de historische situatie is het dynamische karakter van de huidige rivieren sterk afgenomen. Dit is een gevolg van de normalisatiewerken na 1850, het stuwen van de Nederrijn-Lek en de Maas, en de Haringvlietdam. Ecotopen die samenhangen met laterale migratie van de rivierbedding, aanzanding in de rivierbedding of sterke getijwerking (in het zuidelijke benedenrivierengebied) zullen daardoor niet op natuurlijke wijze opnieuw kunnen ontstaan.

Op basis van de huidige kenmerken van de riviertrajecten en de resultaten van de historische referentie kan zinvol onderscheid gemaakt worden tussen verschillende manieren van herstel van ecotopen. Deze manieren zijn, in afnemende mate van natuurlijkheid:

- Natuurlijke ontwikkeling: de fysiotoop die de basis vormt voor het ecotoop kan op natuurlijke wijze ontstaan als resultaat van (herstelde) rivierprocessen (voorbeeld: ontstaan zandbank en ondiepe nevengeul in het zomerbed).
- Verjonging: waar natuurlijke ontwikkeling niet haalbaar is, het 'terugdraaien in de tijd' van de ontwikkeling van een in het verleden gevormd ecotoop (voorbeeld: uitgraven dichtgeslibde nevengeul).
- Duurzame creatie: kunstmatig aanleggen van fysiotoop op een locatie waar deze nooit bestaan heeft, maar binnen een traject waar deze op grond van geomorfologie en processen wel thuis hoort (voorbeeld: graven nevengeul door een uiterwaard).

Daarnaast bestaan er ook ecotopen die pas na zeer lang tijd (in de orde van een eeuw of langer) ontstaan zijn, zoals hardhoutooibos, stroomdalgraslanden, of dichtgeslibde geulen en kolken. Herstel van deze ecotopen door ingrijpen (uit- of afgraven) is in feite niet mogelijk, en ze dienen daarom ongemoeid gelaten te worden.

Trajecten waar werkelijk *ontwikkeling* van fysiotoopen en ecotopen nog mogelijk is zijn:

- Grensmaas: zand- en grindbanken, erosieve steiloevers, kronkelwaardbanken
- Rijntakken: dynamische oeverzones: oeverwalvorming, rivierduinen.
- Hollandsch Diep – Haringvliet (na gedeeltelijk herstel getijbeweging): slikken, gorzen, platen

In het geval van ecotopen die ontstaan zijn als gevolg van beddingmigratie zal herstel vooral door *verjonging* van bestaande fysiotoopen moeten gebeuren. Het betreft met name de aan nevengeulen en strangen gerelateerde ecotopen (dynamische of geïsoleerde strangen, moerassen, grienden, natte uiterwaardgraslanden). Het gaat hierbij voornamelijk om het verwijderen van de kleilagen die het resultaat van opslibbing zijn. Herstel van vegetatietypen die zonder ingrijpen door de mens zouden ontstaan, zoals ooibossen, kan zowel door ontwikkeling plaatsvinden als door verjonging. In het laatste geval wordt eerst de morfologische ontwikkeling 'teruggezet' (verjonging), alvorens weer vegetatiesuccessie (ontwikkeling) kan plaatsvinden.

De resultaten onderbouwen de noodzaak dat voor een werkelijk ecologisch herstel van de grote rivieren en het benedenrivierengebied *differentiatie nodig is op riviertrajectniveau*. In de eerste plaats omdat er van nature verschillen zijn in morfologisch patronen. Daarom zijn er gebiedseigen maatregelen vereist, die passen bij landschap in het traject. Daarnaast vergroten gebiedseigen maatregelen de kansen op een duurzame instandhouding van fysiotoopen en ecotopen. Immers, als alleen die fysiotoopen en ecotopen worden hersteld die passen binnen de morfologische en hydrologische randvoorwaarden, hoeft er niet



---

voortdurend ingegrepen te worden. Op riviertrajectniveau kan deze differentiatie op basis van historisch-geomorfologisch onderzoek gemaakt worden. Het is dan wenselijk dat bij planvorming voor herinrichting van het rivierengebied op twee ruimtelijke schaalniveaus gewerkt wordt. Eerst dient op trajectniveau in een longitudinale gradiënt langs de rivieren vastgesteld worden welke ecotopen ontwikkeld, verjongd of gecreëerd kunnen worden (zie tabel 5.1). Vervolgens kunnen plannen uitgewerkt worden voor te ontwikkelen ecotopen binnen een riviertraject, op uiterwaardniveau en langs een gradiënt loodrecht op de rivier.

---

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Kader

Ten behoeve van de bescherming tegen overstroming en ecologisch herstel zal de komende jaren grootschalige herinrichting van het buitendijkse gebied langs de grote rivieren in Nederland plaatsvinden. Bij het ontwikkelen van de natuurfunctie van het rivierengebied wordt gestreefd naar herstel van de natuurlijke of karakteristieke riviernatuur, het vergroten van de biodiversiteit, en versterken van het rivierengebied als onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur. Bij de herinrichting wordt er tevens naar gestreefd de ingrepen zoveel mogelijk af te stemmen op morfologische patronen en hierbij in te spelen op de natuurlijke rivierprocessen. Daarbij wordt, binnen de randvoorwaarden voor veiligheid en scheepvaart, een grotere dynamiek van waterbeweging en morfologische processen toegelaten. Streefbeelden en doeltypen voor ecologisch herstel worden bij het beleid van het Nederlandse waterbeheer uitgedrukt in termen van ecotopen. Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, zoals bv. zandplaat, structureel uiterwaard-grasland of aangekoppelde strang, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door de abiotische, biotische en antropogene condities ter plekke (zie Bijlage 2).

## 1.2 Probleemstelling

Om streefbeelden voor natuur realistisch te kunnen uitwerken en de resultaten van ecologische monitoring van het rivierengebied op juiste wijze te kunnen beoordelen is het noodzakelijk inzicht te hebben in de realiseerbaarheid van ecotopen. Dit betekent dat er kennis vereist is over:

- de (natuurlijke) ruimtelijke verbreiding van ecotopen binnen het rivierengebied,
- de omstandigheden (geomorfologische patronen en processen) waaronder verschillende ecotopen kunnen voorkomen, en
- op welke plaatsen binnen het rivierengebied op grond van de huidige omstandigheden potenties zijn voor het ontwikkelen of herstellen van ecotopen.

Kernvragen bij het ontwerp van plannen voor natuurontwikkeling zijn dan ook: op welke plaatsen binnen het rivierengebied zijn er kansen voor het ontwikkelen van ecotopen, zoals nevengeulen, moerassen, hardhout oobossen, en in welke delen van het rivierengebied zijn bepaalde inrichtingsmaatregelen zinvol en waar zijn ze dat juist niet.

Langs de grote rivieren in Nederland kunnen verschillende trajecten onderscheiden worden op basis van geomorfologische ontwikkeling, rivierkundige processen, en hiermee samenhangende patronen van fysiotopen en ecotopen (Wolfert, 1992). Binnen de door Rademakers en Wolfert (1994) aangeduide landschapsecologische hiërarchie van riviersystemen ligt dit schaalniveau tussen 'stroomgebiedszone' en 'rivier-ecotoop'. Riviertrajecten maken deel uit van de *longitudinale gradiënt langs de rivier* (Amoros *et al.*, 1987; Lorenz, *et al.*, 1997), en onderscheiden zich in hun morfologische patroon, geuldimensies en de hydraulische en sedimentologische parameters die hiermee samenhangen: debiet,

---

sedimentlast en -type, dalverhang. Het onderscheid in rivierecotopen is juist gebaseerd op de *laterale gradiënt binnen de riviertrajecten*, die samenhangt met de afname van de dynamiek van geomorfologische processen met de afstand tot de hoofdbedding van de rivier. Om de kernvragen voor natuurontwikkeling te kunnen beantwoorden is in de eerste plaats een geomorfologische en rivierkundige karakterisering van de verschillende riviertrajecten nodig, en moet inzicht verkregen worden in de samenhang tussen geomorfologie, rivierkundige processen en de ruimtelijke verdeling van ecotopen.

Als gevolg van de grootschalige menselijke ingrepen in het rivierengebied, met name in de laatste 150 jaar, zijn veel kenmerkende of onder natuurlijke omstandigheden voorkomende ecotopen niet of nauwelijks meer in het Nederlandse rivierengebied aanwezig. Bovendien zijn geomorfologische processen als oevererosie en laterale aanwas grotendeels stilgelegd. Als gevolg hiervan zijn de huidige ontwikkelingen en processen in de riviertakken niet meer dezelfde als die tot het huidige (en vroegere) geomorfologische patroon geleid hebben. Door de huidige processen zal het nu aanwezige geomorfologische patroon niet kunnen ontstaan. Er is dus in de huidige situatie geen eenduidig verband tussen proces en met patroon samenhangende ecotopenverdeling langs de grote rivieren. Omdat de natuurlijke samenhang tussen geomorfologische kenmerken, rivierkundige processen en ecotopen grotendeels is verstoord, is het niet goed mogelijk hieruit de potenties voor de ontwikkeling en het herstel van ecotopen af te leiden. Daarom zijn voor dit doel referenties nodig van vergelijkbare, meer natuurlijke rivieren elders (ruimtelijke analoog) of van dezelfde rivier in het verleden, voordat er grootschalig in het rivierengebied werd ingegrepen (temporele analoog). In deze studie is de historische referentie gebruikt.

Als historische referentie is de situatie rond 1850 beschouwd. De keuze voor deze periode is ingegeven door de volgende argumenten:

- Het is enerzijds weliswaar een situatie waarin de mens al nadrukkelijk in heeft gegrepen in het rivierengebied door het afsnijden van rivierarmen, aanpassing van de splitsingspunten van de rivieren, rivierverruiming en door de uiterwaarden al grotendeels in cultuur te brengen. Anderzijds is het de situatie waarin de rivierbedding nog niet volledig vastgelegd was en er nog geen grootschalige riviernormalisatie had plaatsgevonden. De rivierdynamiek was nog aanzienlijk groter dan thans, en er waren nog grote arealen met natuurlijk gebied. Landbouw was nog kleinschalig zonder gebruik van kunstmest of bestrijdingsmiddelen.
- Uit deze historische periode zijn nog voldoende gegevens (waterstanden, peilingen van rivierbeddingen, stroomsnelheidsmetingen) beschikbaar om de rivierkundige karakteristieken van de riviertrajecten te bepalen. Ook zijn er veel rivierkaarten uit deze perioden waaruit de ligging van de verschillende ecotopen in deze periode afgeleid kan worden. Voor oudere perioden bestaan van de meeste gebieden weliswaar kaarten, maar met name de gegevens om rivierkundige karakteristieken uit af te leiden bleken voor perioden ouder dan de 19e eeuw te fragmentarisch en/of te onnauwkeurig voor het doel van deze studie.

### 1.3 Doelstelling

Het project 'Geomorfologische geschiktheid ecotopen' van RIZA-WSR heeft als hoofddoelstelling om op grond van historisch-morfologische kennis te bepalen in hoeverre de verschillende riviertrajecten van de huidige Rijntakken, de Maas en het Benedenrivierengebied kansen bieden voor de

---

ontwikkeling van verschillende ecotopen, teneinde hieruit richtlijnen op te kunnen stellen voor inrichtings- en natuurontwikkelingsplannen.

Om deze hoofddoelstellingen te bereiken zijn de volgende nevendoelestellingen geformuleerd:

- Bepalen welke ecotopen in de historische situatie voorkwamen binnen en kenmerkend waren voor de verschillende riviertrajecten, met als referentie de periode rond 1850;
- Reconstrueren van de geomorfologische kenmerken en geomorfologische ontwikkeling van de riviertrajecten in de periode voorafgaand aan 1850;
- Karakteriseren van de hydro- en morfodynamiek van de riviertrajecten in de historische situatie aan de hand van een classificatie op basis van rivierkundige parameters;
- Relateren van het voorkomen van verschillende ecotopen binnen riviertrajecten aan geomorfologische kenmerken, en aan de hydro- en morfodynamiek van deze trajecten;
- Op grond van de historische patronen en relaties tussen ecotopen en hydro- en morfodynamische condities aangeven wat de potenties voor ontwikkeling van verschillende ecotopen bij natuurontwikkelingsprojecten zijn binnen de huidige riviertrajecten.

#### 1.4 Afbakening

Het onderzoek naar de geomorfologische potenties van rivierecotopen heeft betrekking op de schaal van riviertrajecten. De benedenlopen van de Maas en de Rijntakken kunnen onderverdeeld worden in 20 tot 50 km lange trajecten die zich op grond van morfologische kenmerken en rivierkundige processen van elkaar onderscheiden (Wolfert, 1992; Rademakers *et al.*, 1996; Wolters *et al.*, 2001). In deze studie zijn voor de historische situatie 12 trajecten geselecteerd binnen het Nederlandse rivierengebied, inclusief het benedenrivierengebied (tabel 1.1, figuur 1.1). Daarnaast zijn voor de historische situatie van 8 stations buiten deze trajecten aanvullende waterstandsgegevens geanalyseerd. De rivierkundige kenmerken in de huidige situatie zijn gebiedsdekkend (per km) geanalyseerd. Het in deze studie gehanteerde ruimtelijke schaalniveau houdt in dat ook de kansrijkdom voor ecotopen op deze schaal wordt benaderd. Het doel is aan te geven binnen welke trajecten onder welke voorwaarden bepaalde ecotopen al dan niet ontwikkeld kunnen worden. Hiermee worden op hoofdlijnen richtlijnen gegeven voor het ontwerpen van herinrichtingsplannen. Bijvoorbeeld: 'nevengeulen kunnen het beste aangelegd worden in trajecten x en y' of 'de kansrijkdom voor herstel van moerassen is het grootst in trajecten p en q en wel onder voorwaarde dat '. Het valt echter buiten het bestek van het project om binnen de riviertrajecten of binnen en uiterwaard op inrichtingsniveau aan te geven waar exact bepaalde ecotopen het meest kansrijk zijn.

Tabel 1.1 Onderzochte riviertrajecten historische referentie

Traject waarvan historische ecologie en geomorfologie onderzocht is	Meetstations
1. Grensmaas	Grevenbicht
2. Roerdalslenkmaas	Roermond
3. Maaskant Maas	Grave
4. Heusdense Maas (thans: Afgedamde Maas)	Heusden / Heesbeen
5. Boven IJssel	Doesburg
6. Beneden IJssel	Katerveer en Kampen
7. Lek	Culemborg en Schoonhoven
8. Midden Waal	Nijmegen
9. Merwede* – Hollandse Biesbosch	Gorkum en Werkendam
10. Oude Maas	Dordrecht, Puttershoek en Spijkenisse
11. Hollandsch Diep	Moerdijk
12. Haringvliet	Hellevoetsluis
Trajecten waarvan alleen waterstanden onderzocht zijn	Meetstation
13. Boven Maas	Maastricht Brug
14. Venlo Maas	Arcen
15. Bovenrijn	Lobith
16. Nederrijn	Arnhem
17. Beneden Waal	Zaltbommel
18. Bergsche Maas	Keizersveer
19. Nieuwe Maas	Rotterdam
20. Het Scheur (Nieuwe Waterweg)**	Maassluis

\* Rond 1850 was de Nieuwe Merwede nog niet gegraven, en in deze referentie situatie wordt met 'Merwede' dan ook de Boven- en Beneden Merwede aangeduid, het traject Gorkum-Dordrecht.

\*\* Maassluis lag voor de doorgraving van de Nieuwe Waterweg in het verlengde van de Nieuwe Maas aan Het Scheur

Figuur 1.1

Ligging van de onderzochte riviertrajecten



---

Een tweede afbakening van het onderzoek is dat het gericht is op het aangeven van potenties voor ecotopen op basis van een historisch-geomorfologische referentie. Dit houdt in dat randvoorwaarden gesteld door veiligheid of ten behoeve van scheepvaart niet in het onderzoek betrokken zijn. Bij de evaluatie van kansrijkdom op trajectniveau worden deze randvoorwaarden echter wel op hoofdlijnen betrokken. Evenmin is het project gericht op technische of rivierkundig ontwerp van inrichtingsmaatregelen.

### 1.5 Aanpak

In dit onderzoek zijn voor 12 verschillende riviertrajecten langs de Rijntakken, de Maas en in het Benedenrivierengebied de volgende analyses uitgevoerd:

- De genese en morfologische veranderingen in het winterbed/estuarium in historische tijd zijn gereconstrueerd op basis van historische rivierkaarten uit de 16e tot 19e eeuw, aangevuld met gegevens van geomorfologische kaarten en bodemkaarten.
- De ruimtelijke verdeling van ecotopen langs de grote rivieren en in het estuarium is gereconstrueerd op basis van het ruimtelijk patroon van de vegetatiestructuur- en landgebruiktypen dat op de 19<sup>e</sup>-eeuwse rivierkaarten is weergegeven, aangevuld met recente en historische informatie over bodemstructuur en relatieve hoogteligging. Per riviertraject zijn de relatieve oppervlakten van de verschillende ecotopen in de 19e eeuw bepaald.
- Voor de situatie rond 1850 en de huidige situatie zijn de volgende rivierkundige parameters bepaald: breedte/diepte verhouding, stroomvermogen per eenheid van rivierbreedte, Shields parameter, bereik van dagelijkse waterstanden, en voor de overgang van het rivierengebied naar het estuarium aanvullend: getijamplitudes, verhouding tussen doorstroomd wateroppervlak onder geulvullende omstandigheden en bij GHW, verhouding getijvolume/opperwatervolume. Deze parameters zijn gereconstrueerd op basis van historische meetreeksen van waterstanden van meetstations langs de onderzochte riviertrajecten, en gegevens van dieptepeilingen die op oude kaarten zijn weergegeven (Bijlage 1). Daarnaast zijn rivierkundige karakteristieken van de riviertrajecten in de 19e eeuw afgeleid uit literatuurgegevens (met name Haring (1977) voor het benedenrivierengebied en Lely (1890) voor de grote rivieren). Voor twee trajecten (Waal en Boven IJssel) zijn deze gegevens aangevuld met hydraulische berekeningen voor de situatie in de 19e eeuw met een 1-dimensionaal model (SOBEK), met name voor debiet- en stroomsnelheidsbepaling. Gegevens omtrent karakteristieken van het beddingsediment ontbraken voor de meeste trajecten; in deze gevallen zijn de huidige sedimentkenmerken ook voor de historische situatie aangenomen. In enkele gevallen (Waal, Boven IJssel) zijn korrelgroottegegevens ontleend aan het boorarchief van de Universiteit Utrecht.
- Voor de huidige situatie zijn de rivierkundige parameters bepaald aan de hand van recente hydrologische meetgegevens, rivierprofielen en modelberekeningen met SOBEK en ZWENDL.

Vervolgens zijn op basis van de rivierkundige parameters classificatie-diagrammen opgesteld waarmee de hydrodynamiek en morfodynamiek van de riviertrajecten onderling vergeleken en geanalyseerd kan worden.

De reconstructie van de ecotopenverdeling in de verschillende riviertrajecten in de historische situatie en de samenhang tussen ecotopen en

geomorfologische processen is in verschillende deelstudies binnen het project reeds uitgevoerd. In eerste instantie zijn alleen trajecten langs de Waal en IJssel en Lek onderzocht (Maas *et al.*, 1997; Lambeek & Mosselman, 1998; Hesselink, 1998). De keuze van rivierkundige parameters en het classificatiediagram is in gezamenlijk overleg tussen RIZA, Alterra en WL bepaald (Maas *et al.*, 1997). Een eerste samenvatting van de resultaten van het onderzoek naar de geomorfologische geschiktheid voor rivierecotopen langs de Rijntakken is gemaakt door Wolfert (1998; 2001) en Wolfert *et al.* (2001).

Vervolgens zijn in opdracht van RIZA door Alterra analyses van historische ecotopen en geomorfologie van trajecten langs de Maas en in het benedenrivierengebied uitgevoerd. (Maas, 1998, 2000, 2002; Koomen *et al.*, 2000). De historische hydrologische situatie langs de Maas en in het benedenrivierengebied is nader verkend door de UU (Middelkoop & Kroon, 1999; Middelkoop & Ruessink, 2000; Middelkoop, 2001). De historische rivierkundige parameters zijn berekend door Schoor, v.d. Veen & Stouthamer (RIZA, in voorbereiding.). Daarna is in gezamenlijk overleg tussen RIZA, RWS-DZH, Alterra, UU en WL besloten welke rivierkundige parameters in het classificatiediagram voor de benedenrivieren moesten komen. Tabel 1.2 geeft een overzicht van de uitgevoerde analyses en de deelrapporten waarin deze beschreven zijn. In bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de brongegevens waarop deze studie is gebaseerd.

Tabel 1.2.

Deelstudies en hun onderwerpen binnen het project Geomorfologische geschiktheid rivierecotopen

Auteurs	Riviertraject	Onderwerp
Maas, Wolfert, Schoor & Middelkoop, 1997	Waal, IJssel	Rivierkundige classificatie riviertrajecten, verdeling ecotopen, kansrijkdom ecotopen
Hesselink, 1998	Lek	Morfologische ontwikkeling
Lambeek & Mosselman, 1998	Rijntakken	Rivierkundige parameters
Maas, 1998	Sallandse IJssel, Beneden IJssel	Historisch-geomorfologische ontwikkeling
Wolfert, 1998	Waal, Lek, IJssel	Geomorfologische geschiktheid ecotopen
Schoor, Wolfert, Maas, Middelkoop & Lambeek, 1999	Waal, Lek, IJssel	Methodiek
Middelkoop & Kroon, 1999	Maas, Benedenrivierengebied	Hydrodynamiek
Maas, 2000	Maaskant, Afdamde Maas, Oude Maas, Merwede- Hollandse Biesbosch	Ecotopenverdeling, geomorfologie en rivierprocessen
Middelkoop & Ruessink, 2000	Maas, Benedenrivierengebied	Hydrodynamiek
Koomen, Maas, Wolfert, 2000	Maas	Geomorfologische kansrijkdom
Middelkoop, 2001	Rivieren, benedenrivierengebied	Analyse rivierkundige parameters hydrodynamiek en morfodynamiek
Wolfert, Schoor, Maas & Middelkoop, 2001	Waal, IJssel	Rivierkundige classificatie riviertrajecten, verdeling ecotopen, kansrijkdom ecotopen
Wolfert, 2001	Rijntakken	Geomorfologische geschiktheid ecotopen
Maas, 2002	Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Hollandsch Diep, Haringvliet	Ecotopenverdeling, geomorfologie en rivierprocessen
Schoor, v.d. Veen & Stouthamer; in voorb.	Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Maaskant, Heusdense Maas, Merwede, Holland Diep, Haringvliet,	rivierkundige parameters

Dit rapport geeft in de eerste plaats een synthese van de resultaten van de eerdere deelonderzoeken. Op basis van de deelonderzoeken zijn voor de historische referentie de ecotopenverdelingen van de 12 riviertrajecten onderling vergeleken, en zijn de trajecten op basis van de rivierkundige



---

parameters in de classificatiediagrammen ondergebracht en vergeleken. Vervolgens is op basis van de historische gegevens de samenhang tussen geomorfologisch patroon, rivierkundige processen, en verdeling van fysiotopten en ecotopten onderzocht. Vervolgens zijn ook voor de huidige situatie de riviertrajecten in de classificatiediagrammen ondergebracht. Op grond van de resultaten van de historische analyses, en de huidige rivierkundige karakteristieken van de riviertrajecten is voor verschillende ecotopten nagegaan binnen welke riviertrajecten hiervoor de beste kansen zijn om deze in de toekomst te ontwikkelen, en onder welke voorwaarden dit mogelijk is.



---

## 2 Geomorfologie en ecotopen

---

### 2.1 Methode

De informatie over de geomorfologie, vegetatiestructuur en landgebruiktype is grotendeels afgeleid uit 19<sup>e</sup>-eeuwse en oudere rivierkaarten (zie bijlage 1). Met name de rivierkaarten van B.H. Goudriaan die in de eerste helft van de 19<sup>e</sup> eeuw vervaardigd zijn ter voorbereiding van de normalisatiewerken en tot doel hadden een inventarisatie te maken van de topografie en het landgebruik in het winterbed vormen de belangrijkste bron van informatie. De wijze waarop deze informatie uit oude kaarten af te leiden is, is o.a. beschreven in Middelkoop (1997), Wolfert (2001) en Hesselink (2002). Uitgangspunt bij de analyse van ecotopen in historische tijd is de indeling van het Rivier-Ecotopen-Stelsel en het Benedenrivier-Ecotopen-Stelsel (RES en BES), waarvan een samenvattende beschrijving gegeven is in bijlage 2. Op historische kaarten wordt niet altijd voldoende informatie gegeven omtrent de abiotische en biotische kenmerken van het landschap om hieruit rechtstreeks af te leiden welke ecotopen in de historische situatie voorkwamen. In sommige gevallen is het mogelijk een verregaand onderscheid tot op het meest gedetailleerde niveau van de ecotopen indeling van het RES te maken, terwijl in andere gevallen alleen door interpretatie en combinatie met andere gegevens (bodemkaart, geomorfologische kaart) afgeleid kan worden welke ecotopen voorkwamen. Om de diverse riviertrajecten op consistente wijze met elkaar te kunnen vergelijken, en overall dezelfde ecotopen indeling te kunnen hanteren, is gebruik gemaakt van een vereenvoudigde versie van de ecotopenindeling van het RES en het BES. Tabel 2.1 laat zien welke ecotopen en ecotoop-groepen bij deze studie onderscheiden zijn, en wat hun relatie is met de ecotopen uit het RES en BES. Bij een uniform beheer en ontwikkelingsstadium van de vegetatie wordt de begrenzing van een ecotoop bepaald door een abiotische eenheid van gelijke omvang, die fysiotoop genoemd wordt (Wolfert, 1998). Fysiotoop zijn daarmee ongeveer equivalent aan geomorfologische eenheden. De fysiotoop staan centraal in deze studie: enerzijds omdat ze gevormd zijn door de geomorfologische processen, en anderzijds doordat de hoogteligging van de fysiotoop (=terreinvorm) een directe relatie heeft met de overstromingsduur en daarmee met de uiterwaardvegetatie. Tevens zijn aan de hand van fysiotoop de potenties voor ecotopen bepaald.

Per deeltraject is onderscheid gemaakt in 'uiterwaardecotopen' (binnen de uiterwaard) en 'beddingecotopen' (binnen de geul). Bij het bepalen van de verbanden tussen rivierkundige parameters en ecotopenverdeling is het aandeel uiterwaardecotopen en beddingecotopen ten opzichte van respectievelijk de oppervlakte uiterwaard en oppervlakte van de geul bepaald. Hierdoor hangt de verdeling van ecotopen binnen de geul niet meer af van de oppervlakte van de aanliggende uiterwaard.

**Tabel 2.1**

Ecotopen en ecotoop-groepen die in deze studie onderscheiden zijn. In de eerste kolom is de naam van de onderscheiden ecotopen gegeven. In de 2<sup>e</sup> kolom staan de codes die binnen de ecotoop-groepen samengenomen zijn, en in de 3<sup>e</sup> kolom staan de overeenkomstige codes volgens het BES. Uit de tabel blijkt dat in deze studie ecotopen op verschillende niveaus zijn onderscheiden. Dit is met verschillende grijs tinten in de tabel onderscheiden.

Ecotoop groep	RES	BES / ZD
<b>Beddingecotopen</b>		
<b>Laagwaterbedding</b>	<b>Zd/o</b>	<b>Bz/d/o / Ez/d/o</b>
Grindbank, zandplaat, natuurlijke oever	Zs-1/2/4	Bs-2 / Es-2
Slikken		Bs-3 / Es-3
Steiloever	Zs-5	
<b>Ondiep water / nevengeulen / killen</b>	<b>Zo / Wn</b>	<b>Bo / Eo</b>
Aangekoppelde strang	Ws-1	
<b>Uiterwaardecotopen</b>		
<b>Water</b>		
Afgesloten / geïsoleerde strang / plas / kolk	Ws-2 / Wp	
Beekstrang	Ws-5	
<b>Moeras, kom, gors</b>		
<b>Uiterwaardigte / riet- en biezenmoeras</b>	<b>Mr</b>	
<b>Bebost uiterwaardmoeras</b>	<b>Mb</b>	
<b>Grazig uiterwaardmoeras / kwelgrasland</b>	<b>Mg</b>	
<b>Ruigte / riet- en biezen gors</b>		<b>Kr / Gr</b>
<b>Vloedbos / griend / productiebos</b>		<b>Kb / Gb</b>
<b>Grasgors</b>		<b>Kg / Gg</b>
<b>Uiterwaard / oeverwal</b>		
Oeverwalruigte + duin	Or-1/2	Or-1/2
Zachthoutoobos	Ob-3	Ob-3
Zachthoutbos / griend	Ub-2/6	Ub-2/6
Hardhoutbos	Ub-1 / Ob-1	Ub-1 / Ob-1
Uiterwaardgrasland	Ug-1/2/3	Ug-1 /2/3
Stroomdalgrasland	Og-1	Og-1
Akker, boomgaard	Ur-3/Or-3; Ub-5/Ob-5	Ur-3/Or-3; Ub-5/Ob-5
<b>Hoogwatervrij terrein</b>	<b>H</b>	<b>H</b>

## 2.2 Geomorfologische processen, fysiotopen en ecotopen

In tabel 2.2 wordt een overzicht gegeven van de meest voorkomende processen in het gebied. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van erosie- en sedimentatieprocessen, en is voor drie typen rivieren aangegeven wat de hierbij behorende fysiotopen zijn.

### 2.2.1 Rivieren

Het rivierengebied is gevormd door meanderende rivieren. Het grootste deel van het rivierengebied ligt in een dalingsgebied met continue accumulatie. De riviertakken zijn hier bedijkt, en de actieve riviervlakte wordt gevormd door uiterwaarden. Op enkele trajecten worden de uiterwaarden door stuwwallen begrensd. Drie bovenstroomse trajecten van de Maas (Bovenmaas, Grensmaas en Peelhorstmaas) bevinden zich in een gebied met tektonische opheffing. Deze kunnen gekarakteriseerd worden als een 'terrassenrivier' (Maas, 2002), die zich in de loop van tienduizenden jaren heeft ingesneden, waarbij de riviervlakte gevormd wordt door een dalbodem die ingeklemd ligt tussen hoger gelegen Pleistocene rivierterrassen.

Tabel 2.2

Processen en fysiotoopen in het rivierengebied (naar: Maas, 2002)

Proces	Fysiotoop Getijderivier	Fysiotoop Laaglandrivier	Fysiotoop Terrassenrivier
<b>Erosie</b>			
⇓ Bedding erosie	getijgeul	rivierbedding	rivierbedding terras insnijding
⇐ Oevererosie	klif	afslagoever	afslagoever terrasrand
⇐⇓ Oeverversnijding	kreek wiel	crevasse wiel	ingesneden beek, crevasse, wiel
⇐⇓ Meanderbocht afsnijding		rivierbedding restgeul (hoefijzermeer)	rivierbedding restgeul (hoefijzermeer)
<b>Sedimentatie</b>			
↑ Opwas	plaat kil	eiland nevengeul	eiland nevengeul
⇒ Aanwas	slik	kronkelwaardbank alternerende bank	kronkelwaardbank alternerende bank
↑ Oeverwalvorming	oeverwal	oeverwal	oeverwal
↑ Opslibbing	gors	uiterwaard	riviervlakte
↑ Dichtslibbing	verlaten kil	strang kronkelwaardgeul	strang kronkelwaardgeul
↑⇒ Verstuiving	kustduin	rivierduin	rivierduin

Erosieprocessen:

⇓ = verticale insnijding

⇐ = laterale erosie

Sedimentatieprocessen:

↑ = verticale accretie

⇒ = laterale accretie

### Processen

De morfologie van de riviertrajecten, en de hiermee samenhangende ruimtelijke verdeling van fysiotoopen en ecotopen wordt bepaald door de werking van erosie- en sedimentatieprocessen. Erosieprocessen in rivieren treden in de eerste plaats op bij insnijding van de rivierbedding. Waar de stroomdraad dicht langs de oevers ligt (met name aan de buitenbocht), vindt laterale erosie plaats, waardoor steile buitenoevers ontstaan. Door oevererosie verplaatsen meanders zich zijwaarts en in stroomafwaartse richting. Wanneer meanderbochten dicht bij elkaar zijn komen te liggen kan bij hoogwater een doorbraak ontstaan, waarbij de meander afgesneden wordt, en ter plaatse van de afsnijding een nieuwe geul ontstaat. De afgesneden meander blijft als hoefijzermeer achter. Bij hoogwater kan het rivierwater dat over de oeverwallen stroomt deze eroderen, en kan er een insnijding ontstaan waardoor het rivierwater vanuit de bedding de kom in stroomt (crevasse). Tijdens een dijkdoorbraak ontstaat door de sterke erosie van het water dat met hoge snelheid de polder binnenstroomt een diepe kolk.

Sedimentatie kan zowel in verticale als laterale richting plaatsvinden. Wanneer de stroomsnelheid en daarmee het transporterend vermogen van het water (lokaal) afneemt kunnen binnen rivierbedding zand- en grindplaten ontstaan. Wanneer deze verder opwassen kunnen ze eilanden worden, die verder opslibben met fijner sediment (verticale accretie). In de binnenbocht van meanderende beddingen ontwikkeling zich uit beddingsediment zand- en grindbanken (kronkelwaardbanken) die zich

zowel lateraal uitbreiden (aanwas) als verticaal, waarbij het sediment hoger in het profiel fijner is ('fining upwards'). Bij hoogwater wordt op de oevers en verder buiten de bedding van de hoofdgeul sediment afgezet. Dicht langs de bedding bestaat dit uit fijn zandig materiaal, en op grotere afstand van de rivier uit fijner, kleiig materiaal. De zandige beddingafzettingen van de kronkelwaarden raken hierdoor op den duur bedekt door een laag zavelige en kleiige oeverafzettingen. Naarmate de oeverwallen hoger opslibben wordt het materiaal fijner. Verlaten meanders, restgeulen en strangen worden op de duur opgevuld met klei die tijdens overstroming afgezet wordt. Lokaal kan er zelfs veenvorming en verlanding optreden.

### Fysiotopen en ecotopen

De fysiotopen die in het rivierengebied voorkomen zijn beschreven in bijlage 3, terwijl hun ruimtelijke ligging schematisch weergegeven is in figuur 2.1 en 2.2.

**Figuur 2.1**

Schematische voorstelling van het patroon van fysiotopen in een uiterwaard van een meanderende laaglandrivier.

so = steiloever;

n = nevengeul; as = aangekoppelde strang;

s = afgesloten strang;

kb = kronkelwaardbank;

kr = kronkelwaardrug; kg =

kronkelwaardgeul;

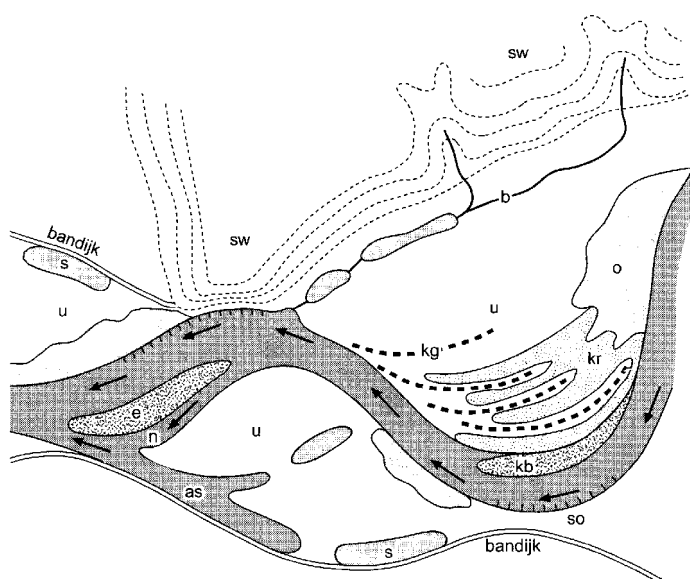
o = oeverwal;

u = uiterwaard;

b = beek/beekstrang;

sw = stuwwal.

(uit: Maas, 2002)



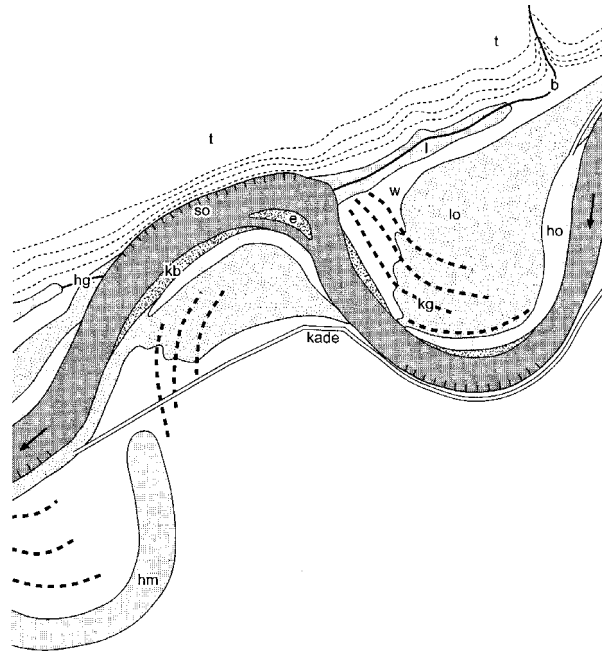
Als gevolg van voortgaande processen van erosie en sedimentatie, evenals successie van de vegetatie veranderen de fysiotopen en ecotopen in de loop van de tijd. In het rivierengebied kan een ontwikkelingsreeks van ecotopen herkend worden die schematisch is weergegeven in figuur 2.3. De ontwikkeling begint bij het fysiotoopecotoop zomerbed. Aanvankelijk wordt de ontwikkeling bepaald door fysische processen van erosie en laterale en verticale accretie van sediment die leiden tot de vorming van fysiotopen. Bij voortgaande ophoging en opslibbing wordt de ontwikkeling steeds meer bepaald door biologische processen als kolonisatie met pioniervegetatie en successie. De invloed van de mens is al aanwezig bij het sturen van de processen (aanleg kribben, kades), maar wordt vooral bij de vegetatiesuccessie dominant. De vegetatiesuccessie eindigt tegenwoordig slechts in enkele gevallen (zoals moeras) als gevolg van natuurlijke omstandigheden en als natuurlijke vegetatie. In de meeste gevallen greep de mens in door landbouwkundig beheer van grienden, het rooien van ooibos en het grasland en bouwland. Dit leidt op den duur tot de in figuur 2.3 weergegeven onderverdeling van ecotopen binnen de fysiotopen.

**Figuur 2.2**

Schematische voorstelling van het patroon van fysiotopten in een rivierlakte van een meanderende terrassenlandrivier.

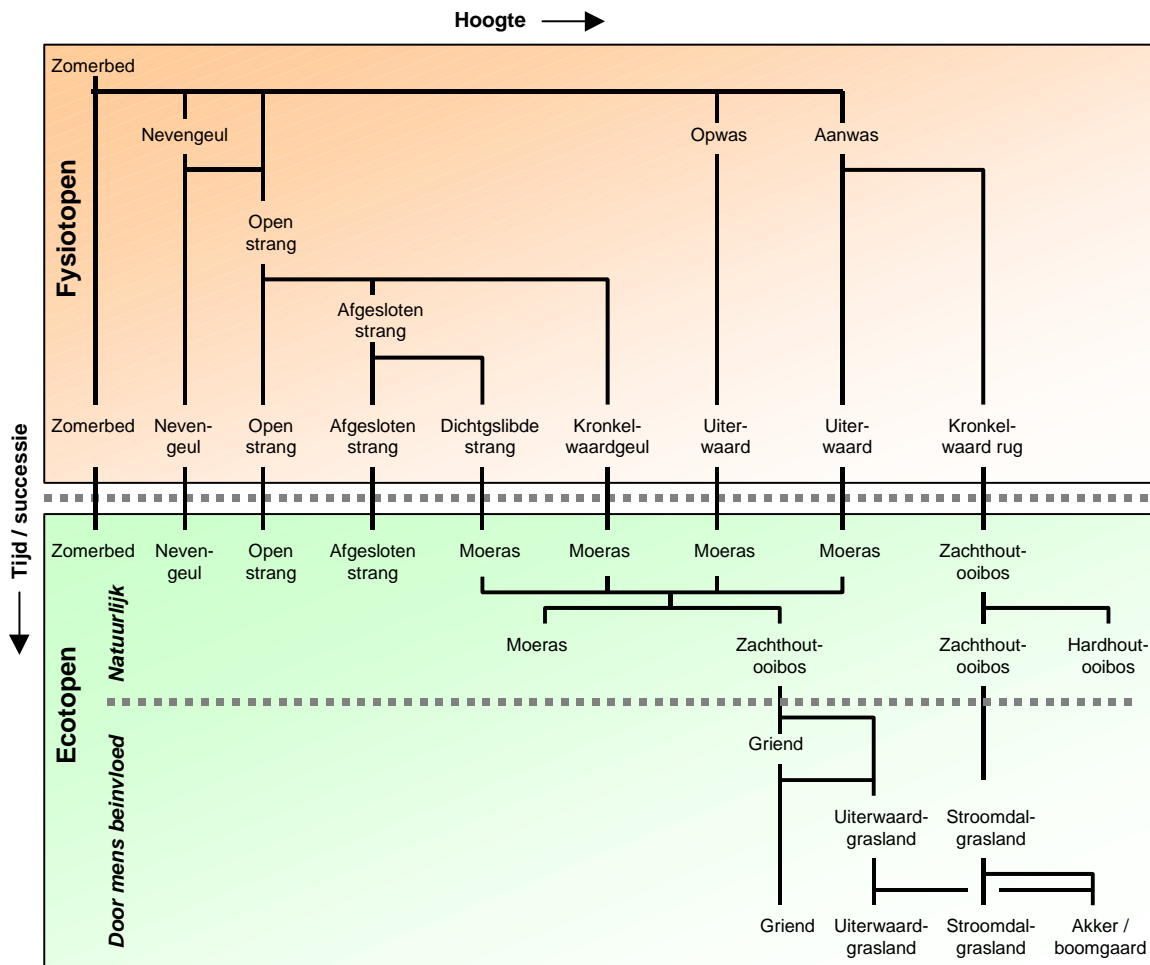
- so = steiloever;
- e = eiland;
- kb = kronkelwaardbank;
- kg = kronkelwaardgeul;
- ho = hoge oeverwal;
- lo = lage oeverwal;
- w = weerd;
- l = laagte/restgeul;
- b = beek/beekstrang;
- hg = hoogwatergeul;
- hm = hoefijzermeer;
- t = terras.

(uit: Maas, 2002)



**Figuur 2.3**

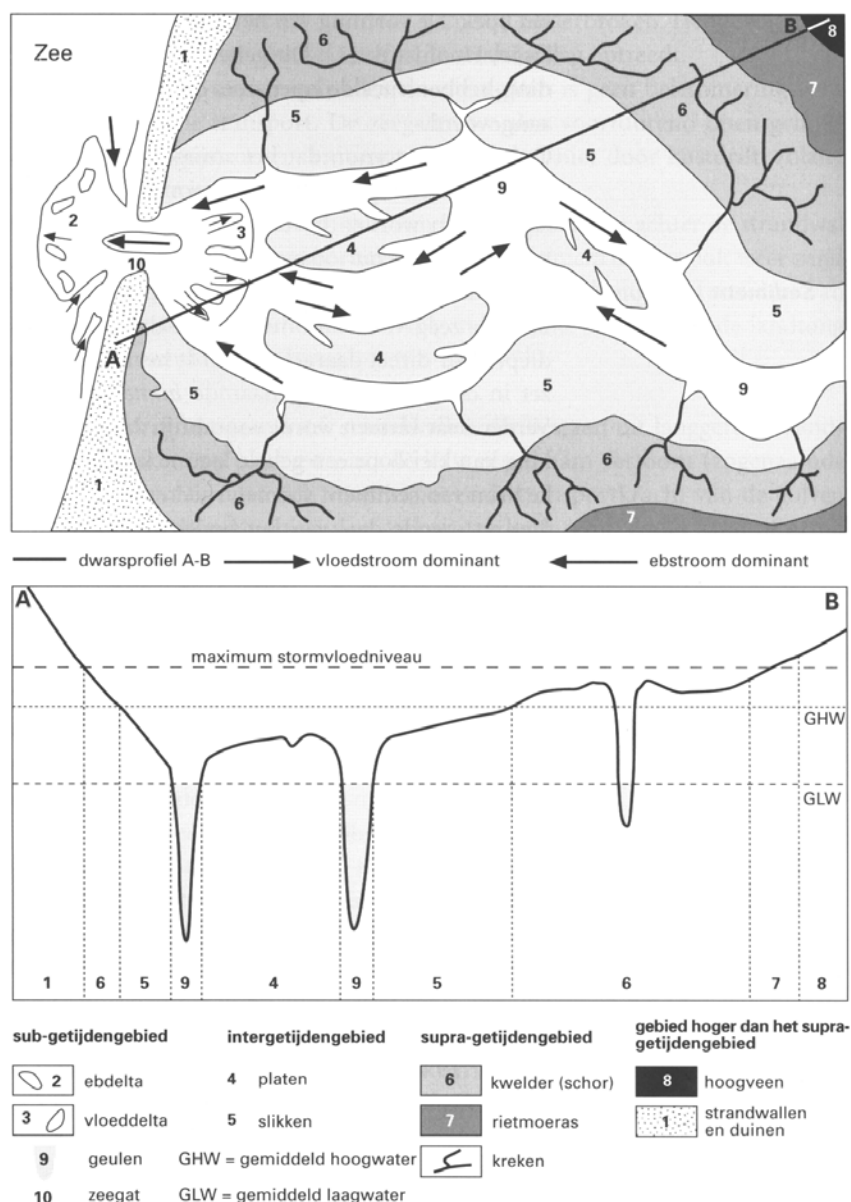
Successiereeks van morfologie, fysiotopten en ecotopen in het rivierengebied (gewijzigd naar: Wolfert, 1998 en Hesselink, 2002)



### 2.2.2 Benedenrivieren - estuarium

Het benedenrivierengebied bestaat uit de benedenlopen van de Lek, Waal-Merwede en Maas, en de overgang naar het (voormalig) estuarium (Hollandsch Diep - Haringvliet). Door de St-Elisabethsvloed en daaropvolgende inbraken was de zee ver landinwaarts gedrongen en reikte het estuarium tot in de Grote Waard, ter plaatse van de huidige Biesbosch (Maas, 2000). Vanuit de toenmalige Merwedemond bouwde hier geleidelijk een rivierdelta uit. Het gebied kende een morfologie die aan het eind van de 16<sup>e</sup> eeuw gekarakteriseerd werd door langzaam opslibbende platen en slikken, en vele krek en killen. In de loop van de 17<sup>e</sup> en begin van de 18<sup>e</sup> eeuw ontstonden er opwassen in het estuarium en langs de randen ervan, die successievelijk door de mens bedijkt werden, en met name in de 18<sup>e</sup> eeuw werden veel killen afgedamd. Het Hollandsch Diep en Haringvliet hebben tot aan de deltawerken in de jaren 1960-1970 een breed estuarium gevormd, terwijl de Oude en Nieuwe Maas en de verbindende takken hiertussen veel meer de dimensies hadden van de benedenrivieren van Rijn en Maas.

**Figuur 2.4**  
Ruimtelijke verdeling fysiotopten binnen en estuarium (Bron: Berendsen, 1996)





### Processen

Beddingerosie vindt voornamelijk plaats in de diepe getijdgeulen, als gevolg van de hoge stroomsnelheden die hier bij eb en vloed optreden. De oevers en slikken langs de oevers kunnen door krekens versneden worden. Sedimentatie kan zowel verticaal als lateraal optreden. Binnen het estuarium kunnen door opwas zand- en sliedplaten ontstaan. Langs de oevers is aanwas van slikken een belangrijk proces van laterale accretie. In de loop van de tijd slijden de slikken op, waardoor ze hoger komen te liggen en begroeid raken. De begroeiing versnelt het proces van opwas. Op den duur ontstaat er een ruimtelijke sequentie van slikken, lage en hoge gorzen tot bedijkte gorzen, waar alleen bij extreem hoogwater sedimentatie plaatsvindt. De laatste vorm van sedimentatie treedt op in de vorm van het dichtslibben van verlaten killen.

### Fysiotopen en ecotopen

De fysiotopen die in het benedenrivierengebied voorkomen zijn beschreven in bijlage 2, terwijl hun ruimtelijke ligging schematisch weergegeven is in figuur 2.4. De huidige landschapsecologische zonering in dit gebied is weergegeven in tabel 2.3. De samenhang tussen fysiotopen en ecotopen in de referentieperiode is weergegeven aan de hand van een voorbeeld uit het Hollandsch Diep in figuur 2.5 en tabel 2.4. Met name langs de oevers was de ruimtelijke zonering van ecotopen nauw gerelateerd aan de opwas van de slikken en gorzen, en de hiermee samenhangende afname in hydro- en morfodynamiek. Net als langs de bovenrivieren was het eindstadium van een successiereeks van ecotopen vaak door de mens beïnvloed. Het gaat hierbij met name om grienden en de aanleg van kades, waarachter hoogwatervrije graslanden en akkers aangelegd werden.

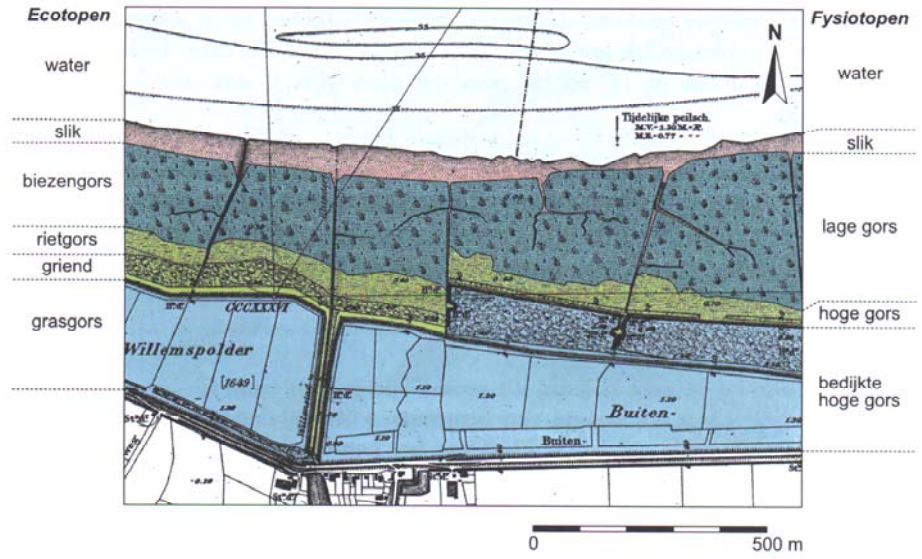
**Tabel 2.3**

Landschapsecologische zonering binnen het benedenrivierengebied (bron: Maas, 1998)

Landschapsecologische zone benedenrivierengebied	Karakterisering
1. Zeer diepe zoete getijdewateren	Zone dieper dan 5 m - GLW
2. Diepe zoete getijdewateren	Zone tussen 5 m en 1.5 m – GLW
3. Zoete getijdewateren	Zone tussen 1.5 m – GLW en GLW
4. Platen, slikken	Lage intergetijdzone; tussen GLW en 50% overstromingsduur bij gemiddelde omstandigheden
5. Kommen, getij-oeverwallen en lage gorzen	Hoge intergetijdzone; tussen 50% overstromingsduur en gemiddeld springtij hoogwater
6. Hoge gorzen	Zelden overspoelde zone; tussen gemiddeld springtij hoogwater en overstromingsvrije zone
7. Hoogwatervrije terreinen	Overstromingsvrije zone

**Figuur 2.5**

Zonering van verschillende ecotoopzones in de intergetijdzone van het Hollandsch Diep (bron: Maas, 2002)



**Tabel 2.4**

Hoogteligging van verschillende ecotoopzones in de intergetijdzone van het Hollandsch Diep (bron: Maas, 2002)

Ecotoop	Hoogte in cm t.o.v. AP
Slikken	AP-60 - AP-40
Biezengors	AP-40 - AP+40
Rietgors	AP+40 - AP+100
Griend (gedeeltelijk bedijkt)	AP+70 - AP+100
Grasgors (bedijkt)	AP+100 - AP+120

---

## 3 Rivierkundige parameters

---

### 3.1 Definitie en bepaling van parameters

Om de hydro- en morfodynamiek van de riviertrajecten langs de grote rivieren en in het Benedenrivierengebied te karakteriseren en onderling te vergelijken, zijn verschillende rivierkundige parameters gedefinieerd. Deze parameters dienen als basis voor een morfologische classificatie van de riviertrajecten. De keuze van de parameters is ingegeven door de volgende uitgangspunten:

- De classificatie dient een algemene karakterisering te geven van *riviertrajecten*, niet van gedetailleerde processen of ecotopen binnen een traject. De parameters dienen op een relatief hoog abstractieniveau indicatief te zijn voor de voor ecotopen relevante hydro- en morfodynamische processen binnen een riviertraject.
- De classificatie dient zowel voor het rivierengebied als het benedenrivierengebied toepasbaar te zijn en, indien mogelijk, met gelijke of gelijkwaardige criteria te gebeuren.
- De gegevens die nodig zijn voor het berekenen van de criteria dienen niet alleen voor de huidige situatie, maar ook voor de situatie eind 19e eeuw afgeleid te kunnen worden uit de beschikbare historische gegevens.
- De classificatie moet uitmonden in een morfologische indeling op riviertrajectniveau, die tevens onderscheid oplevert naar karakteristieke ecotopen.

Uitgaande van deze randvoorwaarden en een inventarisatie van mogelijke parameters (Middelkoop, 2001) zijn de onderstaande parameters geselecteerd voor classificatie van de riviertrajecten. De berekening van deze parameters op basis van historische gegevens is beschreven in Maas *et al.* (1997) en Middelkoop (2001). De berekening van het stroomvermogen en Shields parameter is weergegeven in bijlage 4.

#### 3.1.1 Morfodynamiek

##### Breedte/diepte verhouding

De verhouding tussen breedte en diepte van een rivier kan beschouwd worden als maat voor de verhouding tussen de erosieve kracht van de waterstroom in een rivier om zijn oevers te eroderen en de weerstand die de oevers bieden tegen erosie. De sterkte van de oevers wordt daarbij bepaald door de samenstelling van het oevermateriaal, aanwezige vegetatie of kunstmatige oeververdediging (kribben). Verschillen tussen rivierpatronen (vlechtend, meanderend, anastomoserend) komen tot uitdrukking in de breedte/diepte verhouding. De B/d verhouding hangt nauw samen met de aanwezigheid van banken in het laagwaterbed. Wanneer de B/d verhouding klein is zullen zich in de rivierbedding geen of weinig banken ontwikkelen. Rivieren met een lage B/d verhouding vertonen vaak weinig laterale erosie, waardoor patronen van strangen en grote kronkelwaarden er niet te verwachten zijn. Bij een grote B/d verhouding kunnen banken en eilanden in de bedding ontstaan. In deze studie zijn de breedte en diepte bij geulvullend debiet bepaald, zowel voor de rivier als de door getij beïnvloede takken. De breedte die ingenomen wordt door de

---

oeverzones aan de randen van het estuarium vallen hier niet binnen, wel platen en banken in de geul.

Door de Vriend & Struiksma (1983) en Struiksma *et al.* (1985) zijn parameters gedefinieerd die een maat zijn voor de snelheid waarmee waterbeweging en sedimentbeweging kunnen reageren op fluctuaties in waterafvoer. De zogeheten Interactie Parameter IP geeft aan in hoeverre een rivier morfologisch stabiel is, en of er binnen de geul zandbanken of eilanden zullen ontstaan. Omdat deze IP evenredig is met het kwadraat van de B/d verhouding, is de B/d verhouding alleen ook een goede indicator voor het optreden van banken en eilanden in de rivierbedding. De Interactie Parameter is voor meanderende rivieren gedefinieerd en is derhalve van minder betekenis voor het estuarium.

#### **Verhouding natte geuldoorsnede / maximale natte doorsnede**

In rivieren zonder verticale getijbeweging wordt de natte doorsnede van de geul gehanteerd bij geulvullende afvoer. In zeewaartse richting neemt de getijbeweging toe. Waar in het estuarium geulen en platen in de doorsnede aanwezig zijn, zal de natte geuldoorsnede onder geulvullende omstandigheden kleiner zijn dan tijdens hoogwater, wanneer alle platen en de oeverzones onderlopen. De verhouding tussen de natte doorsnede van de geul ( $A_g$ ) en de maximale natte doorsnede in het estuarium ( $A_x$ ) is dus een maat voor het al dan niet aanwezig zijn van een afwisseling van geulen en platen. Hoe verder deze waarde onder 1 daalt hoe groter de natte doorsnede in het dwarsprofiel is boven platen en oeverzones. Een lage waarde geeft dus aan dat er naast de geulen in het systeem veel ruimte is waar water kan stromen tijdens hoogwater. Bij rivieren buiten de getijdezone is deze verhouding gelijk aan 1.

#### **Stroomvermogen**

Fysisch gezien vertegenwoordigt deze parameter de energie die in het systeem aanwezig is. Het stroomvermogen  $\Omega$  is de afname van de potentiële energie van een rivier per eenheid van lengte (eenheid:  $W m^{-1}$ ), welke voornamelijk wordt bepaald door het debiet en het verhang. Het is een maat voor het vermogen van een rivier om sediment te eroderen en te transporteren, hetgeen resulteert in morfologische veranderingen. De lokale sterkte van de stroming wordt het best aangegeven met het stroomvermogen per eenheid van geulbreedte, het specifiek stroomvermogen (Engels: '*specific stream power*') (eenheid:  $W m^{-2}$ ). Het specifieke stroomvermogen wordt eveneens gebruikt om verschillende morfologische riviertypen te klassificeren (o. a. Van den Berg, 1995). Het specifieke stroomvermogen kan zowel voor rivieren, getijdegebieden, als voor de overgang hiertussen gedefinieerd worden. In rivieren wordt het stroomvermogen vooral door de waterstroom bepaald, binnen het estuarium wordt de energie vooral door de getijden geleverd. Additionele energie-input door golfwerking, wind en scheepvaart zou fysisch gezien opgeteld kunnen worden bij het stroomvermogen veroorzaakt door rivierafvoer en/of getij.

#### **Shields parameter**

De Shields parameter  $\theta$  is een maat voor het sedimenttransporterend vermogen van een rivier, vergeleken met eigenschappen (korrelgrootte) van het sediment in de rivierbedding. De Shields parameter is daarmee een mobiliteitsparameter en wordt berekend uit de stroomsnelheid, de beddingruwheid en de mediane korrelgrootte van het sediment. Naarmate de waarde van de Shields parameter groter is kan een rivier gemakkelijker het beddingsediment transporteren. Voor het benedenrivierengebied is het

niet mogelijk om op eenduidige wijze de Shields parameter te berekenen, omdat het sediment in het estuarium uit zowel zand als klei bestaat. Hierdoor heeft een mediane korreldiameter geen reële betekenis. De Shields parameter is daarom alleen voor het rivierengebied berekend.

### 3.1.2 Hydrodynamiek

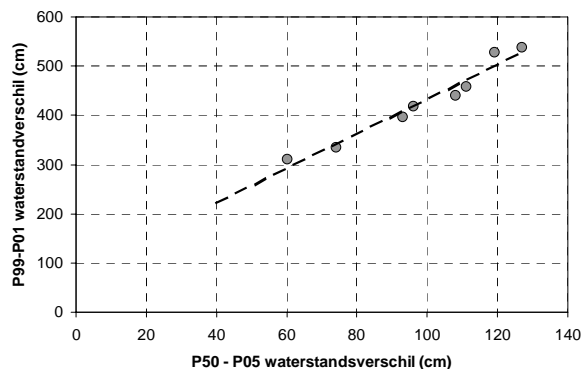
#### Amplitude van getijslag en gemiddelde dagwaterstanden

In de ecotopenclassificatie wordt gebruik gemaakt van overstromingsduur als hydrodynamische parameter. Overstromingsduur is gerelateerd aan de optredende waterstandsfluctuaties, de hoogteligging van een gebied en de eventuele aanwezigheid van kades. Dit maakt de amplitude van de gemiddelde dagwaterstanden en de getijslag een belangrijke onafhankelijke hydrodynamische parameter.

De overgang van rivierengebied naar het estuarium wordt gekenmerkt door een toenemende getijwerking. Waar op de rivieren de waterstanden geheel door relatief langzaam verlopende veranderingen in debiet bepaald worden, worden de waterstandsfluctuaties in het estuarium gedomineerd door het tweemaal-daagse getij. Door beide waterbewegingen op afzonderlijke assen te zetten krijgt men tevens een beeld van (1) de overgang van rivier naar getijdegebied doordat de amplitude van de getijbeweging relatief steeds groter wordt, en (2) een maat voor de absolute verticale waterstandsbeweging. Voor de getijbeweging is de 95-percentiel van de getijamplitude (verschil tussen opeenvolgend HW-LW) als criterium gekozen, omdat deze niet gevoelig is voor variaties in rivierafvoer en de amplitude is waarbij de intergetijdezone overstroomt. In plaats van de maximale amplitudes van de dagelijkse (dag-gemiddelde) waterstanden zijn percentielen gehanteerd, omdat deze minder gevoelig zijn voor het al dan niet toevallig optreden van een extreme afvoerpiek binnen de referentieperiode.

Op basis van literatuurgegevens en het voorkomen van moerassen langs riviertrajecten geeft Wolfert (1998) aan dat de amplitude van de lage rivierstanden, uitgedrukt als het verschil tussen de mediane waterstand en de 5-percentiele waterstand (waterstand die 5% van de tijd onderschreden wordt), een bepalende randvoorwaarde is voor het al dan niet voorkomen van o.a. moerassen. Om na te gaan in hoeverre de 1-99-percentiele amplitudes van waterstanden als maat gebruikt kunnen worden voor de amplitude van lage waterstanden is in figuur 3.1 voor verschillende stations langs de rivieren de 5-50 percentiel van de waterstanden uitgezet tegen de 1-99 percentiel van de waterstanden. Hieruit blijkt dat er een goed verband bestaat tussen deze twee parameters, waardoor de 5-50 percentiel niet als afzonderlijke parameter toegevoegd hoeft te worden.

**Figuur 3.1**  
Verband tussen de 1-99 percentiel en 5-50 percentiel van dagwaterstanden bij verschillende meetstations langs de grote rivieren. Een waterstandsverschil van 60 cm tussen de 5-percentiele en mediane stand blijkt overeen te komen met een verschil van ongeveer 3 m tussen de 1 en 99 percentiele waterstand.



### Verhouding oppervatervolume / getijvolume

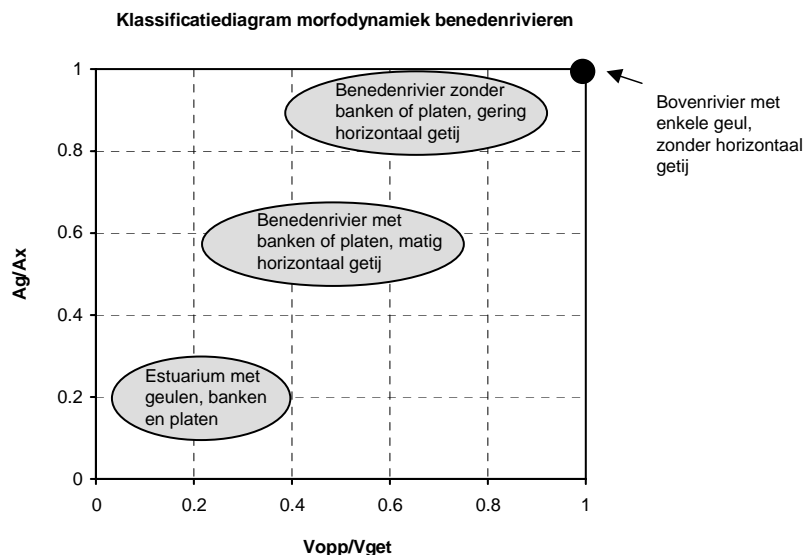
Zeewaarts van het punt waar kentering van het getij optreedt is er in de benedenrivieren sprake van een rivierafvoer in combinatie met een vloed- en ebstroom. Naarmate men dichterbij zee komt wordt het aandeel rivierwater in de totale getijvolume geringer. Aan de hand van de verhouding tussen oppervatervolume  $V_o$  en getijvolume  $V_g$  kan de overgang van rivier- naar getijdegebied goed zichtbaar gemaakt worden (Haring, 1977):  $V_{opp} / V_{get}$ , waarin:  $V_{get} = V_{eb} + V_{vl}$ ;  $V_{eb}$  = ebvolume;  $V_{vl}$  = vloedvolume;  $V_{opp}$  = oppervatervolume =  $V_{eb} - V_{vl}$  (in een riviermonding is dit de bijdrage door rivierafvoer tijdens een getijslag). De volumina worden berekend over de duur van de getijslag (hier: 12 uur 25 min.). In een rivier zonder horizontale getijkentering is  $V_{opp} / V_{get} = 1$ , terwijl deze verhouding met toenemende getijwerking in zeewaartse richting steeds kleiner wordt, maar in riviermondingen altijd groter dan 0 blijft.

### 3.2 Classificatie van riviertrajecten

Het specifieke stroomvermogen, de Shields parameter en de breedte/diepte verhouding zijn onafhankelijke morfologische karakteristieken die zowel voor rivieren, het overgangsgebied als het getijdegebied ingevuld kunnen worden. Deze drie parameters reflecteren samen de afhankelijkheid tussen ondergrond, waterstroming, sedimenttransport en de hieruit voortvloeiende morfologie van rivieren (Maas *et al.*, 1997). De waarden voor deze parameters zijn bepaald bij geulvullende omstandigheden, omdat deze gezien worden als morfologisch het meest bepalend. De verhouding (natte geuldoorsnede) / (maximale natte doorsnede) levert een maat op voor de 'ruimte' binnen het systeem, de aanwezigheid van geulen en platen en daarmee de morfologische stabiliteit van het traject (figuur 3.2).

**Figuur 3.2**

Classificatiediagram morfodynamiek Benedenriviereengebied, op basis van verhouding geuloppervlak / totaal oppervlak ( $A_g/A_x$ ) en oppervatervolume / getijvolume ( $V_{opp}/V_{get}$ ).

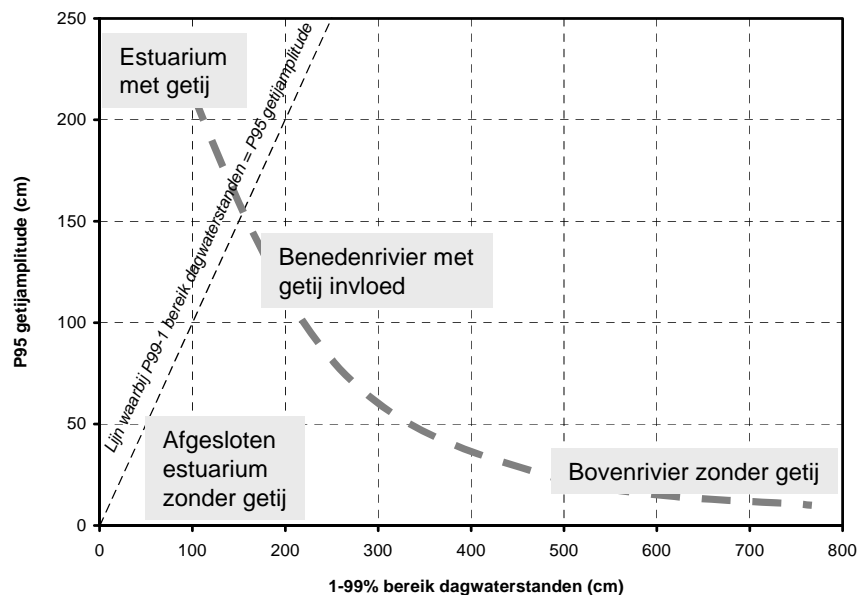


De overgang van rivier naar getijdegebied komt hierin echter nog niet expliciet naar voren. De amplitude van de verticale waterbeweging en de verhouding tussen de volumina van rivierwater en die van het getij zijn daarom onafhankelijke aanvullende parameters die op directe wijze de overgang van riviergebied naar getijdegebied weerspiegelen. De beide amplitudes van waterstanden geven ze een beeld van de absolute dynamiek en de verhouding tussen de hoogfrequente (door getij) en laagfrequente (door fluctuaties in rivierafvoer) dynamiek. Onder natuurlijke omstandigheden zijn sommige parameters gecorreleerd. Zo zal in het

algemeen de breedte/diepte verhouding vanuit de rivier naar het estuarium groter worden, terwijl de verhoudingen (natte doorsnede geul)/(maximale natte doorsnede) en (opperwatervolume)/(getijvolume) juist kleiner worden (o.a. Haring, 1977). In het Nederlandse benedenrivierengebied, waarin zowel brede als smalle door getij beïnvloede takken voorkomen, en waarin de mens nadrukkelijk heeft ingegrepen, zijn deze natuurlijke verhoudingen verstoord. Aan de hand van deze vier criteria kunnen daarom juist deze 'onnatuurlijke' karakters van riviertrajecten zichtbaar gemaakt worden.

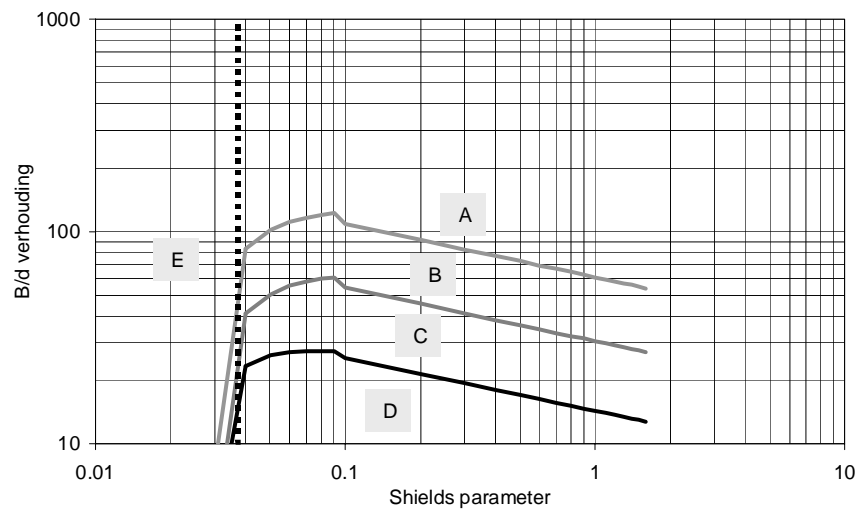
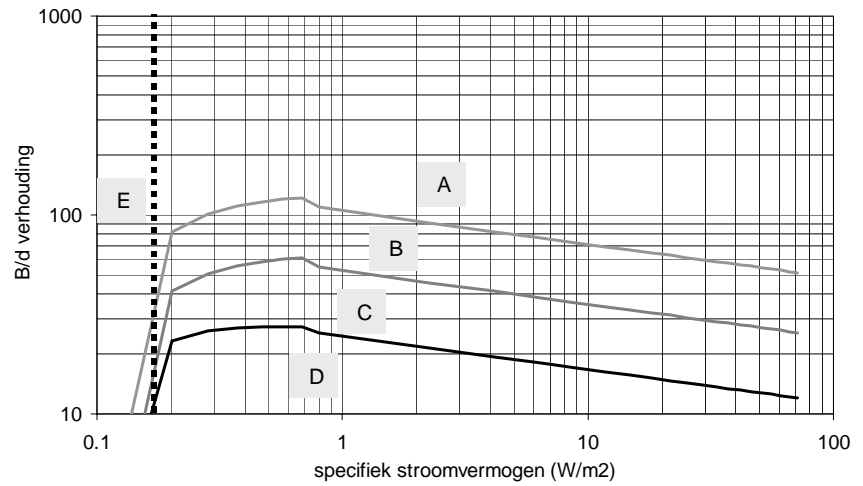
De classificatie van de riviertrajecten gebeurt in twee stappen en maakt onderscheid tussen hydrodynamische en morfologische karakteristieken. De overgang van rivierengebied naar estuarium wordt aangegeven in een diagram voor hydrodynamiek met op de horizontale as het 1-99 percentiel van de dagwaterstanden en op de verticale as de 95-percentiel van de getijamplitudes (figuur 3.3). In dit diagram is de afstand tot de oorsprong een maat voor de mate van verticale waterstandsdynamiek. Classificatie naar morfodynamiek gebeurt aan de hand van een diagram met op de horizontale as het specifieke stroomvermogen, en op de verticale as de breedte/diepte verhouding (figuur 3.4, 1<sup>e</sup> diagram). Voor de rivieren is een afzonderlijk diagram opgesteld waarbij in plaats van het specifieke stroomvermogen de Shields parameter op de horizontale as staat (figuur 3.4, 2<sup>e</sup> diagram). In de laatste twee diagrammen zijn tevens de lijnen aangegeven die de kritische breedte/diepte verhoudingen aangeven waarbij in theorie de vorming van banken en eilanden al dan niet kan plaatsvinden. Bij riviertrajecten die binnen het gebied D onder de onderste lijn vallen ontstaan geen banken; in beddingen van rivieren die binnen het gebied C vallen komen alleen plaatsvasten banken voor, waarvan de plaats bepaald wordt door de lokale bedding geometrie; binnen gebied B komen plaatsvasten en alternerende banken voor, terwijl bij rivieren in het gebied A eilanden en vrije banken in de bedding kunnen voorkomen. Bij Shields waarden kleiner dan 0.03 treedt geen transport meer op (gebied E).

**Figuur 3.3**  
Classificatiediagram Hydrodynamiek



.....  
**figuur 3.4**

Classificatiediagrammen Morfodynamiek, op basis van specifiek stroomvermogen (boven) en Shields parameter (onder). Binnen deze diagrammen worden de volgende gebieden onderscheiden op grond van de Interactie Parameter die met de B/d verhouding samenhangt:  
A = vorming van eilanden en vrije banken;  
B = vorming van alternerende banken;  
C = vorming van plaatsvaste (kronkelwaard)banken;  
D = vorming van banken onderdrukt;  
E = beddingsediment kan niet gemobiliseerd worden (te gering transporterend vermogen)





---

## 4 Ecotopenverdeling en rivierkundige parameters – historische situatie

---

In bijlage 5 is per riviertraject een overzicht gegeven van de geomorfologie, alsmede van de kenmerkende ecotopen zoals die bestonden in het midden van de 19e eeuw.

### 4.1 Ecotopen

In figuur 4.1 is van alle riviertrajecten de ecotopenverdeling weergegeven. Hierbij zijn de trajecten in de figuur van links naar rechts geordend in stroomafwaartse richting vanaf de meest bovenstrooms gelegen Maastrajecten naar het Hollandsch Diep en Haringvliet in het estuarium. Op grond van de typen ecotopen en hun relatieve areaal kunnen de riviertrajecten in eerste instantie ruwweg in drie groepen onderverdeeld worden: (1) de riviertrajecten bovenstrooms van de Merwede, met inbegrip van de IJssel; (2) de overgangszone Merwede - Hollandse Biesbosch en Oude Maas; (3) het estuarium met Hollandsch Diep en Haringvliet.

In benedenstroomse richting nam in het algemeen het aandeel van de *bedding ecotopen* (*laagwaterbedding, grindbank, zandplaat, natuurlijke oever, slikken, steiloever, ondiep water / nevengeulen / killen, aangekoppelde strang*) toe. Bij de Grensmaas, Roerdalslenkmaas en Boven IJssel werd 10-15% van het areaal door beddingecotopen ingenomen, langs de Maaskant en Heusdensed Maas was dit 22 respectievelijk 28%, terwijl langs de Lek en vooral langs de Midden Waal 30% tot bijna 40% van het winterbed door beddingecotopen ingenomen werd. De Beneden IJssel en de Oude Maas waren relatief smalle benedenlopen, waarbij ongeveer 25% van het gebied door beddingecotopen ingenomen werd. In de estuariumtrajecten Hollandsch Diep en Haringvliet namen de beddingecotopen verreweg het grootste areaal in, tot ongeveer 90% van het totale oppervlak in het westelijke deel.

Karakteristieke *beddingecotopen* in de Grensmaas en Roerdalslenkmaas waren de *steiloevers* en *grindbanken*. In de middenstroomse trajecten Heusdensed Maas, Midden Waal en ook de Beneden IJssel waren naast *zandplaten* en *natuurlijke oevers* ook *nevengeulen* karakteristieke beddingecotopen. Rond 1780 lagen in de Waal nog veel eilanden en banken (12% van het laagwaterbedding oppervlak), in 1830 was het aandeel eilanden en banken gedaald tot 3%. In de Merwede-Hollandse Biesbosch waren *zandplaten* en *natuurlijke oevers* karakteristiek en werd bijna de helft van het water ingenomen door *ondiep water / nevengeulen* en *killen*. In de estuarium (Hollandsch Diep en Haringvliet) waren naast *zand- en slibplaten ondiep water* en *slikken* de kenmerkende beddingecotopen.

De *uiterwaardecotopen* van de trajecten bovenstrooms van de Merwede werden gedomineerd door *graslanden*. Langs de Grensmaas en de Roerdalslenkmaas kwamen relatief grote oppervlakten *natte* en *moerassige graslanden* voor, die samenhangen met kwel vanuit naastgelegen hogere

---

rivierterrassen. Ook langs de Maaskantmaas en de Beneden IJssel waren moerassige graslanden karakteristiek. De overige graslanden bestonden langs de Grensmaas en Roerdalslenkmaas voornamelijk uit *stroomdalgrasland* (ongeveer tweederde van de droge graslanden), terwijl langs de overige riviertrajecten 75-90% van de graslanden *uiterwaardgrasland* was. *Ooibos* werd langs alle riviertrajecten aangetroffen. Er kan onderscheid gemaakt worden in (1) *zacht houtbos* dat vooral op recente aan- en opwassen en oeverwallen langs de rivierbedding groeide - dit kwam langs alle riviertrajecten voor-, (2) *zacht houtooibos en grienden* binnen de lagere delen van de uiterwaard - met name langs de Maaskant- en Heusdense Maas, Waal en Nederrijn-Lek, en (3) *hard houtooibos* - langs de Grensmaas kwam dit voor op oude oeverwallen en langs niet door kwel beïnvloede restgeulen, en langs de IJssel op oude oeverwalcomplexen. *Akkers* en *boomgaarden* namen langs de Grensmaas bijna 40% van de riviervlakte in; ook langs de Roerdalslenkmaas en de IJssel waren akkers en boomgaarden met een oppervlak tussen 10 en 20% nadrukkelijk in het landschap aanwezig. Langs de Waal en de Lek kwamen *boomgaarden* en *akkers* lokaal wel voor, maar namen slechts enkele procenten van het totaaloppervlak in, terwijl ze langs de Maaskant- en Heusdense Maas vrijwel ontbraken. Het aandeel *uiterwaardruigte* langs de Waal was tussen 1780 en 1830 afgenomen van 18% naar 1%. Langs de Beneden Merwede en de Waal was het areaal *zacht houtooibos / griend* in de 18e eeuw nog bijna 2 maal zo groot als in de 19e eeuw. Om de afvoer bij hoogwater te bevorderen en het ontstaan van ijssdammen tegen te gaan zijn in de 18e eeuw veel grienden en houtopslag verwijderd.

De *uiterwaardecotopen* langs de Merwede-Hollandse Biesbosch en de Oude Maas werden gedomineerd door *ruigten, riet- en biezengorzen* (5 tot 10% van het uiterwaardoppervlak), *vloedbossen en grienden* (15 - 20% van het uiterwaardoppervlak) en relatief grote arealen *hoogwatervrije terreinen* met akkers en weiland (bijna 40% langs de Oude Maas). Langs de Merwede kwamen op verspreide plaatsen uiterwaard *zacht houtbos* en *stroomdalgrasland* voor. De gebieden die langs het Hollandsch Diep en Haringvliet bij GHW boven water lagen bestonden voor ongeveer de helft uit *riet- en biezengorzen*. Alleen langs het Hollandsch Diep kwamen nog *vloedbossen* voor (bijna 20% van het gebied boven GHW), terwijl verder de hoogste delen van de gorzen in het estuarium uit *grasgorzen* bestonden die in westelijke richting tot ongeveer de helft van de landecotopen innamen.

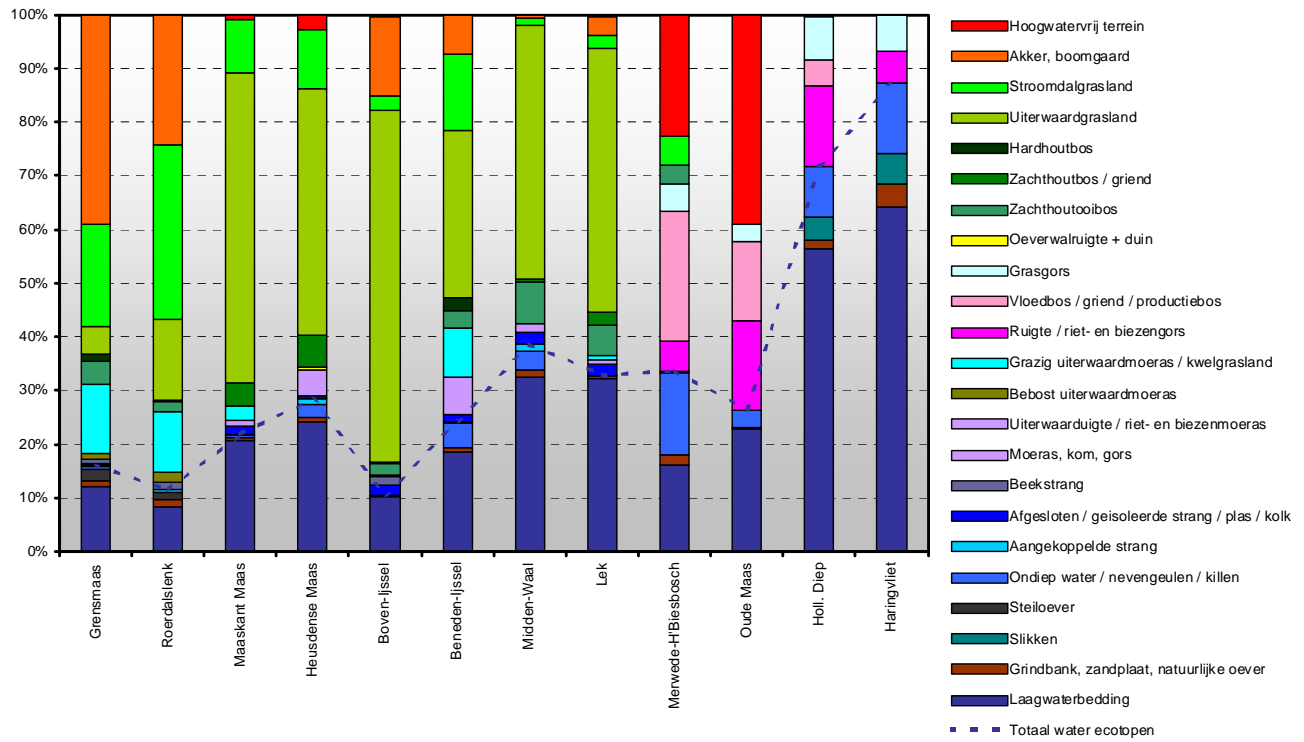
## 4.2 Rivierkundige kenmerken

### 4.2.1 Morfodynamiek

Figuur 4.2 en tabel 4.1 tonen de gemiddelde waarden van de rivierparameters voor de riviertrajecten. De classificatiediagrammen op basis van Breedte/diepte verhouding, Shields parameter en specifiek stroomvermogen met daarin de waarden voor de trajecten en de hierin gelegen stations zijn weergegeven in figuur 4.3 en 4.4. In het diagram met de Shields parameter zijn de trajecten uit het benedenrivierengebied niet weergegeven, omdat hiervoor geen betekenisvolle mediane korrelgrootte bepaald kan worden.

**Figuur 4.1**

Ecotopenverdeling langs de riviertrajecten, situatie rond 1850



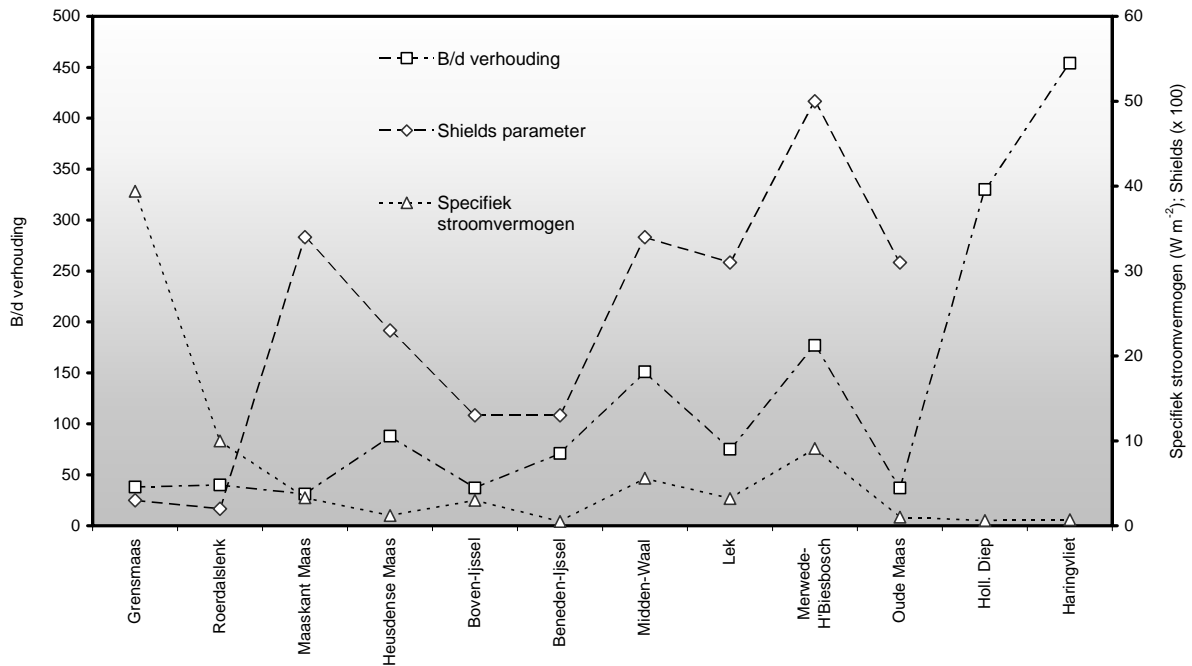
**Tabel 4.1**

Breedte/diepte verhouding, specifiek stroomvermogen, Shields parameter, verhouding natte geuldoorsnede / maximale natte doorsnede ( $A_g/A_x$ ) en verhouding oppervlaktvolume / getijvolume ( $V_{opp}/V_{get}$ ) voor de verschillende riviertrajecten in de historische situatie. De waarden zijn gemiddelden per riviertraject.

	Breedte/diepte verhouding	Shields parameter	Specifiek stroomvermogen ( $W m^{-2}$ )	$A_g/A_x$	$V_{opp}/V_{get}$
Grensmaas	38	0.025	39.4	1	1
Roerdalslenkmaas	40	0.025	10.0	1	1
Maaskant	31	0.34	3.3	1	1
Heusdense Maas	88	0.23	1.2	1	1
Boven IJssel	37	0.13	3.0	1	1
Beneden IJssel	37	0.13	0.5	1	1
Midden Waal	151	0.34	5.6	1	1
Nederrijn-Lek	75	0.29	3.1	1	1
Boven Merwede	137	0.52	11.8	0.94	0.97
Oude Maas	37	0.35	0.9	0.95	0.39
Haringvliet	454	niet bepaald	0.7	0.05	0.25
Hollandsch Diep	330	niet bepaald	0.6	0.04	0.22

Figuur 4.2

Verloop van de rivierparameters langs de verschillende riviertrajecten, situatie rond 1850

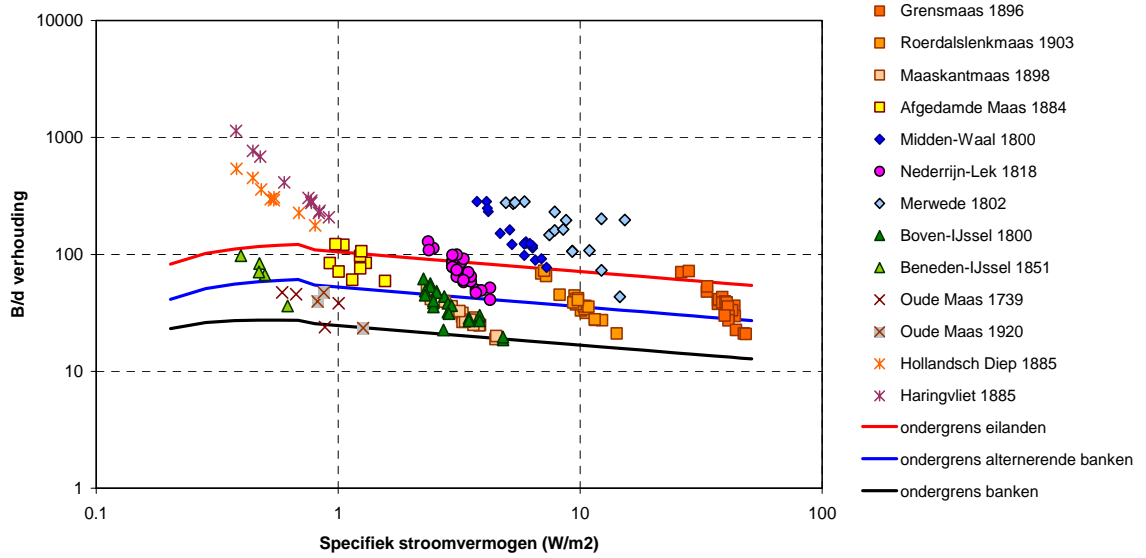


Van de riviertrajecten was de *breedte/diepte verhouding* van het zomerbed van de Waal en Merwede de grootste en varieerde tussen 45 en 285. Met gemiddelde waarden lager dan 40 was de B/d verhouding van de Grensmaas, Roerdalslenk, Maaskant, IJssel en Oude Maas relatief klein.

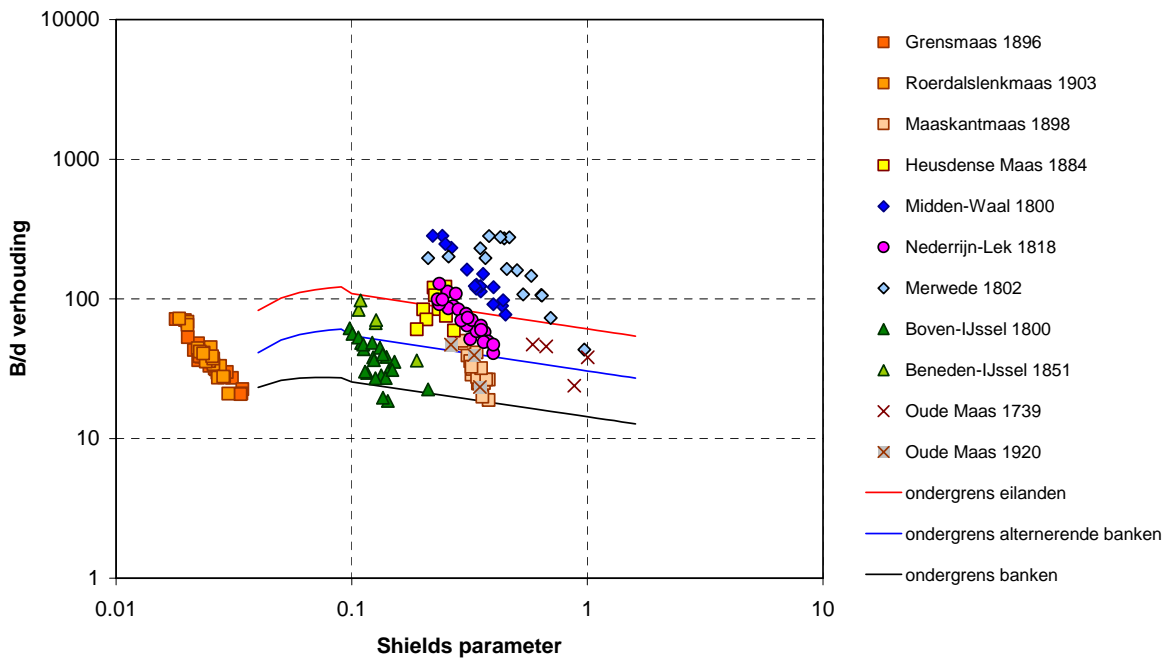
De classificatiediagrammen laten zien dat het *specifieke stroomvermogen* (figuur 4.3) van de Grensmaas het grootst was ( $25-50 W/m^2$ ), terwijl ook de Roerdalslenk, de Waal en de Merwede relatief hoge waarden hadden ( $5-15 W/m^2$ ). Het specifieke stroomvermogen van de Boven-IJssel, Lek en Maaskant Maas verschilde onderling weinig van elkaar, en ligt tussen  $2$  en  $5 W/m^2$ . De benedenrivieren, inclusief de Heusdense Maas, hadden het geringste stroomvermogen (waarden kleiner dan  $2 W/m^2$ ). Als gevolg van de grote breedte was het specifieke stroomvermogen binnen het estuarium gemiddeld genomen over het gehele dwarsprofiel relatief klein (minder dan  $1 W m^{-2}$ ). Verwacht mag worden dat het stroomvermogen binnen de geulen, waar de grootste debieten optraden echter veel groter was dan in de ondiepere delen binnen het estuarium.

De positie van de riviertrajecten op grond van de *Shields parameter* is enigszins verschillend (figuur 4.4) in vergelijking met de indeling op grond van het stroomvermogen. Dit hangt mede samen met de onzekerheden in de schatting van de mediane korrelgrootte van het beddingsediment binnen de trajecten. In de meeste gevallen is verondersteld dat de korrelgrootte van het beddingsediment in de huidige situatie dezelfde is als rond 1850. Op grond van figuur 4.4 kan gesteld worden dat de mobiliteit voor sedimentbeweging het grootst was in de Oude Maas en Merwede, vanwege het relatief fijne sediment in deze takken. De waarden voor de IJssel waren relatief laag, terwijl de waarden voor de Grensmaas het laagst waren, en in het diagram zelfs in het gebied liggen waar het bodemsediment niet in beweging komt. Dat wil zeggen dat bij geulvullende afvoer het beddingsediment niet getransporteerd werd.

**Figuur 4.3**  
 Classificatiediagram historische situatie op basis van specifiek stroomvermogen en B/d verhouding



**Figuur 4.4**  
 Classificatiediagram op basis van Shields parameter en B/d verhouding



---

In de huidige situatie is er op de bodem van de Grensmaas een zogeheten 'afpleisterlaag' van grof sediment ontstaan, die het fijnere onderliggende sediment bedekt en verhindert dat het meegevoerd wordt. Hierdoor is de mobiliteit van beddings sediment in de Grensmaas erg laag, ondanks het grote specifieke stroomvermogen. Op grond van waarnemingen aan het bodemsediment in de huidige Grensmaas op verschillende diepten onder het beddingoppervlak blijkt dat de bovenste sedimentlaag een mediane korreldiameter van bijna 4 cm heeft, terwijl de mediane korrelgrootte op enige dm diepte gemiddeld minder dan 2 cm is. Het is mogelijk dat dit minder grove sediment in de historische situatie het beddingmateriaal vormde (Sorber & de Vaan, 1995). De oevers van de Grensmaas werden echter wel geërodeerd. Deze oevers zijn zeer heterogeen van opbouw, grof grind wordt afgewisseld met fijner grind, zand en klei. Het grove materiaal wordt na erosie in de geul afgezet (het kan immers niet getransporteerd worden), terwijl het fijnere materiaal wel wordt meegevoerd. Mogelijk vormde het van de oevers geërodeerde materiaal dan ook de belangrijkste bron van sediment voor de vorming van grind- en zandbanken. Ook voor de Roerdalslenkmaas, met kleiner verhang, lijkt oevererosie een belangrijke bron van sediment geweest te zijn. Tot slot zal tijdens perioden met hoogwater de stroomsnelheid in de Grensmaas en Roerdalslenkmaas wel voldoende groot geweest zijn om beddingmateriaal te transporteren.

Op grond van de *Breedte/diepte verhouding* voorspellen de diagrammen dat binnen de Waal, Merwede, Hollandsch Diep en Haringvliet eilanden voor konden komen, terwijl in de Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Lek, Heusdense Maas en Beneden IJssel vrije, alternerende banken konden ontstaan. Hierbij moet echter de kanttekening geplaatst worden dat de Interactie Parameter waarop deze lijnen gebaseerd zijn vooral voor meanderende rivieren gedefinieerd is en derhalve minder betekenis heeft voor het estuarium (zie p 26). Voor de Grensmaas geldt echter dat de mobiliteit van het beddings sediment dermate gering was (Shields parameter  $< 0.03$ ) dat hierdoor bij gulvullende afvoer minder banken ontstonden dan op grond van de B/d verhouding verwacht zou worden. Hier konden banken alleen bij extreem hoge debieten ontstaan en verplaatsen. Voor de overige riviertakken (Boven-IJssel, Maaskant Maas, Oude Maas) geeft het diagram aan dat hier alleen plaatsvaste banken gevormd konden worden. Deze theoretische onderverdeling lijkt in grote lijnen goed overeen te stemmen met de waarnemingen op de oude kaarten. Met name in de Midden Waal en Merwede, die binnen het classificatiediagram door een B/d verhouding van meer dan 100 in de zone met eilanden en hoge kronkelwaardbanken vielen, bestonden dynamische, onbegroeide eilanden en banken. In de veel smallere IJssel en Maaskant Maas, die volgens de classificatie in de zone met plaatsvaste banken vielen bevonden zich alleen langs enkele buitenbochten een eiland, en ontstonden voornamelijk smalle lage aanwassen in de binnenbocht langs de kronkelwaarden.

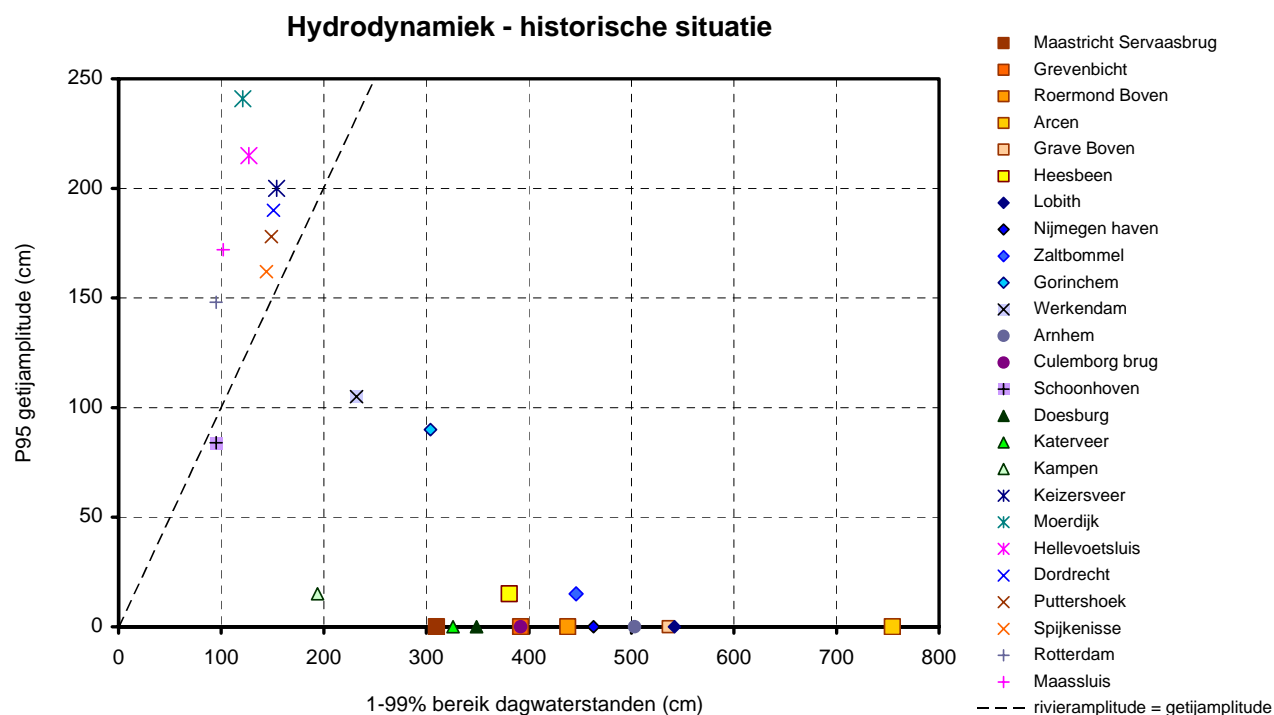
#### 4.2.2 Hydrodynamiek

In figuur 4.5 zijn voor verschillende meetstations (ook stations buiten de onderzochte trajecten) de waarden van de  $P_{95}$  getijamplitude en het 1-99% bereik van de dagwaterstanden geplot zoals deze in het begin van de 19<sup>e</sup> eeuw waren. Bovenstrooms van Gorkum (Boven Merwede/Waal), Jaarsveld (Nederrijn-Lek) en Heusden (Maas) werden de waterstanden uitsluitend beïnvloed door de rivierafvoer. Stroomafwaarts van deze stations werden de waterstanden in toenemende mate beïnvloed door het getij. De lijn in de figuur geeft aan waar de rivier- en getijamplitudes gelijk waren. Ruimtelijk gezien lag deze lijn tussen Dordrecht en Werkendam: ten westen hiervan was de getijamplitude groter dan de rivieramplitude. In het algemeen

werden bij een jaaramplitude van meer dan 450 cm de rivierwaterstanden niet meer beïnvloed door het getij. De waterstanden in de IJssel werden bij Kampen nog beïnvloed door het getij, verder stroomopwaarts bij Katerveer werden ze uitsluitend bepaald door de rivierafvoer. De punten die het dichtst bij de oorsprong in het diagram liggen zijn op grond van de amplitude van de waterstanden het minst dynamisch. Dit was het geval voor de Beneden-IJssel en Beneden Lek. Langs de beneden IJssel kwamen in de historische situatie vrij grote oppervlakten rietlanden voor, maar langs de beneden Lek, waar de uiterwaarden ook in 1850 al zeer smal waren, niet. In vergelijking met het bereik van de dagwaterstanden in het bovenrivierengebied, is het bereik van de getijamplitude in het bendenrivierengebied klein. Zo is de grote waterstandsfluctuaties door getij in het Hollands Diep en Haringvliet (200-250 cm) altijd nog kleiner dan de waterstandsfluctuaties (als gevolg van afvoervariaties) in het gehele bovenrivierengebied (300-750 cm) De grootste amplitudes traden op in de Maas tussen Roermond en Grave (450-750 cm) en de Rijntakken bovenstrooms Arnhem en Nijmegen(450-550 cm).

**Figuur 4.5**

Karakterisering van de waterstandsregimes rond 1850 aan de hand van het bereik van de gemiddelde dagwaterstanden en getijamplitudes. De waarden voor de jaar- en getijamplitudes zijn afkomstig uit analyse van de dagelijkse waterstanden (Middelkoop, 2001), Lely (1890) en DONAR database RWS.



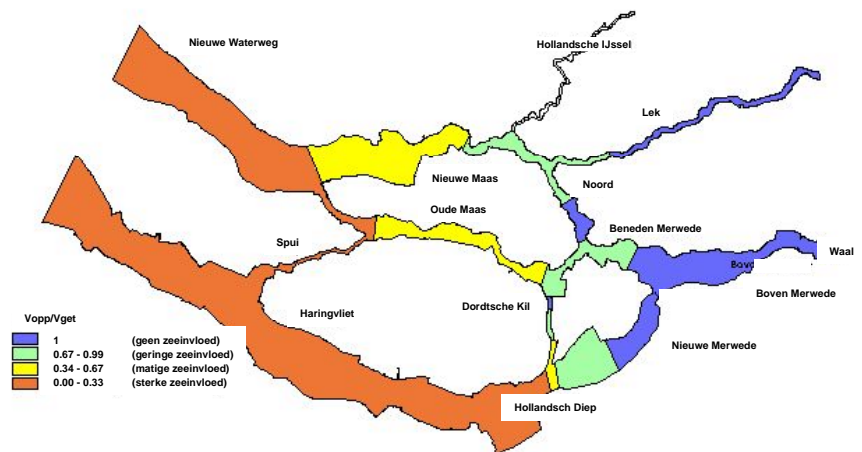
### Verhouding $A_g/A_x$ versus verhouding $V_{opp}/V_{get}$

Voor de riviertrajecten die bovenstrooms van het punt waar kentering optreedt liggen is de verhouding natte geuldoorsnede / maximale natte doorsnede en oppervlakte / getijvolume gelijk aan 1. Opvallend is dat stroomafwaarts van Gorkum de verhoudingen tussen de natte doorsneden van de geul en de totale natte doorsneden niet sterk afnemen. De verhouding natte geuldoorsnede / maximale natte doorsnede in de Merwede was ongeveer gelijk aan die van de Oude Maas. Dit is mede het gevolg van het feit dat de Oude Maas een relatief smal systeem was (en nog steeds is) binnen het Noordelijk Delta Bekken. In het Hollandsch Diep en het Haringvliet was de verhouding natte geuldoorsnede / maximale natte doorsnede wel klein, als gevolg van de relatief grote breedte van het systeem. De invloed van de getijbeweging wordt in westelijke richting duidelijk groter, wat blijkt uit de afname in de verhouding oppervlakte / getijvolume (Fig. 4.6 en 4.7).

**Figuur 4.6**

De verhouding oppervlakte / getijvolume als maat voor de zee-inloed in het benedenrivierengebied in 1879 (bron: Schoor&Stouthamer 2003, naar: Haring, 1977)

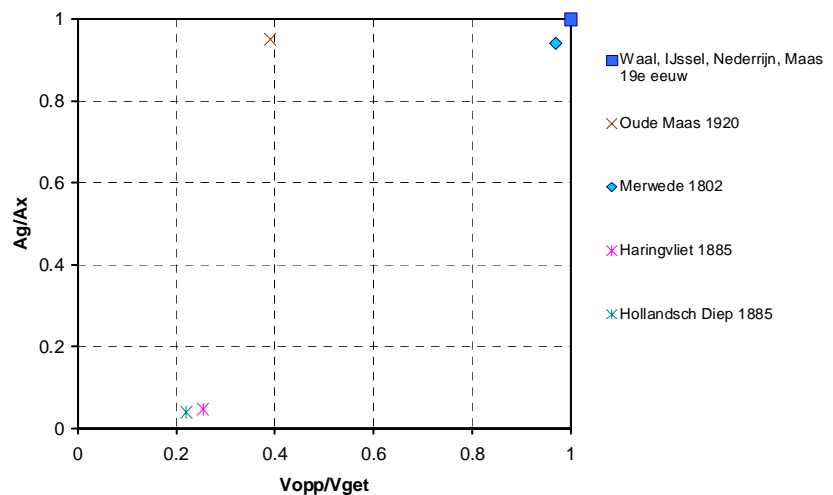
**Zee-inloed na 1879 = restvolume / getijvolume ( $V_{opp}/V_{get}$ )**



**Figuur 4.7**

Verhoudingen oppervlakte / getijvolume en geuloppervlak / totaaloppervlak voor verschillende stations in het benedenrivierengebied in de historische situatie

**Klassificatiediagram Benedenrivieren - historische situatie**





---

### 4.3 Karakterisering van riviertrajecten

Voor alle riviertrajecten geldt dat de fysiotopen en ecotopen in samenhangende ruimtelijke patronen voorkwamen, die de ontstaanswijze weerspiegelen. De beschrijving en interpretatie van verschillen tussen riviertrajecten is daarom niet *alleen* gebaseerd op de arealen van ecotopen afzonderlijk, maar juist op de geomorfologische ontwikkeling, de samenhang met ecotopen, en het voorkomen van karakteristieke combinaties van ecotopen. In bijlage 5 is per traject een overzicht gegeven van de morfologie, processen en hiermee samenhangende ecotopenverdeling. Tabel 4.2 geeft een samenvatting van de belangrijkste morfologische kenmerken en processen en de karakteristieke fysiotopen en ecotopen per riviertraject.

#### 4.3.1 Rivieren

##### Maas

Stroomafwaarts gaande vanaf de Grensmaas tot aan de Heusdense Maas kunnen de riviertrajecten als volgt gekarakteriseerd worden: De Grensmaas was een ondiepe meanderende grindrivier, die in een dal ligt. Door het grote verhang was het specifieke stroomvermogen relatief groot; niettemin was de mobiliteit van het beddingmateriaal relatief gering doordat het uit grof grind bestond. De bedding was ondiep met grindbanken en steiloevers die door de actieve laterale erosie ontstonden. De riviervlakte werd gedomineerd door graslanden, akkers en boomgaarden. Kenmerkend waren hardhoutoibossen op de oude oeverwallen, en restgeulen en beekstrangen met moerassen, evenals de kwelgraslanden aan de voet van de terrasranden. In de Roerdalslenk werd de Maas sterk meanderend, en vormde grote kronkelwaarden. Door meanderafsnijdingen waren er restgeulen gevormd. Ook hier bestond de riviervlakte grotendeels uit graslanden, en waren veel akkers aanwezig. Op de jonge aanwassen stond zachthoutoibos, op de oudere oeverwallen hardhoutbos. Verder benedenstreams langs de Maaskant was de Maas eveneens sterk meanderend. In tegenstelling tot de bovenstroomse trajecten verplaatsten deze meanders zich maar weinig, als gevolg van het relatief geringe verhang en hiermee samenhangende specifieke stroomvermogen. Verscheidene meanders waren afgesneden. Opslibbing van de uiterwaard en het dichtslibben van de restbeddingen waren de dominante processen. De thans afgedamde benedenloop van de Maas tussen Heusden en Woudrichem had een nog geringer specifiek stroomvermogen dan de Maaskantmaas. In dit zwak meanderende traject was reeds een geringe verticale getijwerking (orde 15 cm) merkbaar. In de uiterwaarden was een patroon aanwezig van kronkelwaarden van brede meanders, en aanwaswaarden met strangen van flauwe, stroomafwaarts migrerende meanders. Lokaal ontstonden opwassen in en langs de oevers van het zomerbed. Behalve opslibbing van de uiterwaard ontstonden in het stroomopwaartse deel brede oeverwallen in de binnenbochten van de meanders, waar lokaal rivierduinvorming plaatsvond. Grote delen van de uiterwaarden waren bekaad.

Tabel 4.2

Samenvatting van morfologie, processen, fysiotoen en dominante en karakteristieke ecotoen per riviertraject

Traject	Morfologie	Processen	Fysiotoen	Ecotoen (cursief = onderscheidend)
Grensmaas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondiepe grindrivier</li> <li>• Meanderend patroon</li> <li>• Riviervlakte in dal</li> <li>• Kronkelwaarden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oevererosie</li> <li>• Insnijding beekmonding</li> <li>• Opwas zand- en grindbanken</li> <li>• Aanwas kronkelwaard</li> <li>• Oeverwalvorming</li> <li>• Opslibbing riviervlakte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondiepe bedding met grindbanken en steiloevers</li> <li>• Riviervlakte met restgeulen en zijbeken</li> <li>• Terrasranden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ondiep zomerbed</i></li> <li>• <i>Grindbank</i></li> <li>• <i>Steiloever</i></li> <li>• <i>Beekstrang</i></li> <li>• Oeverwal- en natte graslanden</li> <li>• Bebeste moerassige uiterwaard</li> <li>• <i>Hardhoutooibos</i></li> <li>• <i>Akker en boomgaard</i></li> </ul>
Roerdalslenkmaas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterk meanderende rivier</li> <li>• Dalvlakte met terrasranden</li> <li>• Restgeulen afgesneden meanders</li> <li>• Kronkelwaard reliëf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oevererosie</li> <li>• Erosie terrasrand</li> <li>• Insnijding beekmonding</li> <li>• Opwas zand- en grindbanken</li> <li>• Aanwas kronkelwaard</li> <li>• Oeverwalvorming</li> <li>• Opslibbing riviervlakte</li> <li>• Dichtslibben restgeulen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedding met grindbanken en steiloevers</li> <li>• Riviervlakte met restgeulen en zijbeken</li> <li>• Terrasranden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• <i>Zand- en grindbanken</i></li> <li>• <i>Steiloever</i></li> <li>• Zachthoutooibos</li> <li>• <i>Beekstrang</i></li> <li>• <i>Moerasbos</i></li> <li>• <i>Hardhoutooibos</i></li> <li>• Oeverwal- en uiterwaardgrasland</li> <li>• <i>Moerassig grasland</i></li> <li>• <i>Akker en boomgaard</i></li> </ul>
Maaskant Maas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterk meanderende rivier</li> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• Kronkelwaard reliëf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oevererosie</li> <li>• Aanwas kronkelwaard</li> <li>• Oeverwalvorming</li> <li>• Opslibbing kronkelwaard</li> <li>• Dichtslibben restgeulen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• Eiland en nevengeul</li> <li>• Kronkelwaard</li> <li>• Oeverwal</li> <li>• Restgeul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• <i>Uiterwaard- en stroomdalgrasland</i></li> <li>• <i>Moeras</i></li> <li>• Zachthoutooibos</li> <li>• Akker</li> </ul>
Boven IJssel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterk meanderende rivier</li> <li>• Brede riviervlakte</li> <li>• Kronkelwaard reliëf met ruggen en geulen, strangen en restgeulen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanwas kronkelwaardbank</li> <li>• Oeverwalvorming</li> <li>• Opslibbing kronkelwaard</li> <li>• Dichtslibbing strangen en restgeulen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• Kronkelwaardbanken</li> <li>• Kronkelwaard met ruggen en geulen</li> <li>• Oeverwal</li> <li>• Restgeulen</li> <li>• Beekstrangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• Natuurlijk zachthoutooibos</li> <li>• <i>Geisoleerde strang / kronkelwaardgeul</i></li> <li>• Afgesloten strang</li> <li>• <i>Beekstrang</i></li> <li>• Uiterwaardgrasland</li> <li>• <i>Akker</i></li> <li>• <i>Bebouwd (hoogwaterrij) terrein</i></li> </ul>
Beneden IJssel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meanderende rivier</li> <li>• Zomerbed met opwassen, eilanden en nevengeulen</li> <li>• Kronkelwaard reliëf met ruggen en geulen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oevererosie</li> <li>• Opwas</li> <li>• Aanwas kronkelwaardbanken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• Eilanden of opwassen en nevengeulen</li> <li>• Kronkelwaard</li> <li>• Oeverwal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diep zomerbed</li> <li>• <i>Nevengeul</i></li> <li>• Moerassig uiterwaardgrasland</li> <li>• <i>Moeras</i></li> <li>• Uiterwaard- en stroomdalgrasland</li> <li>• Natuurlijk zachthoutooibos</li> <li>• <i>Hardhoutooibos</i></li> <li>• Akker</li> </ul>

Tabel 4.2 - vervolg

Samenvatting van morfologie, processen, fysiotoen en dominante en karakteristieke ecotoen per riviertraject

Traject	Morfologie	Processen	Fysiotoen	Ecotoen (cursief = onderscheidend)
Midden-Waal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lage sinuositeit rivier</li> <li>Patroen van uiterwaard met aan stroomafwaartse zijde aangekoppelde strangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stroomafwaartse migratie van meanders, aanwas uiterwaarden; afname sinuositeit</li> <li>Opwassen in de bedding</li> <li>Opslibbing uiterwaard</li> <li>Dichtslibben strangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uiterwaard met <i>dynamische strangen</i></li> <li>Oeverwallen</li> <li>Kleiputten</li> <li>Wielen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Aangetakte en gesloten strangen en moerassen</i></li> <li>Moerassige uiterwaard</li> <li>Uiterwaard- en stroomdalgrasland</li> <li>Zachthoutoobos en Grienden</li> </ul>
Lek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lage sinuositeit rivier</li> <li>Smalle uiterwaarden met strangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslibbing uiterwaard</li> <li>Oeverwalvorming</li> <li>Dichtslibben strangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bekade uiterwaard met afgesloten strangen</li> <li>Oeverwallen</li> <li>Kleiputten</li> <li>Wielen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Uiterwaard- en stroomdalgrasland</i></li> <li>Afgesloten en aangetakte <i>strangen</i>, grienden en moerassig <i>uiterwaardgrasland</i></li> <li>Zachthoutoobos, griend</li> </ul>
Heusdense Maas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meanderende rivier</li> <li>Kronkelwaarden</li> <li>Aanwaswaarden met aan stroomafwaartse zijde aangekoppelde strangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oevererosie</li> <li>Dichtslibben strangen</li> <li>Oeverwalvorming</li> <li>Rivierduinvorming</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep zomerbed</li> <li>Uiterwaard met strangen en restgeulen</li> <li>Oeverwallen</li> <li>Rivierduin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep zomerbed</li> <li><i>Nevengeul</i></li> <li>Uiterwaardgrasland, stroomdalgrasland</li> <li>Moeras</li> <li><i>Oeverwalruigte met duinvorming</i></li> </ul>
Merwede – Hollandse Biesbos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brede benedenrivier met eilanden en platen</li> <li>Verticale getijbeweging</li> <li>Voormalige rivierdelta met gorzen en killen</li> <li>Ingepolderde oeverwallen en grazige gorzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opwassen van banken in de rivier</li> <li>Vorming van platen door getijwerking</li> <li>Oevererosie</li> <li>Oeverwalvorming</li> <li>Opslibbing</li> <li>Verzanden killen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep zomerbed</li> <li>Ondiep zomerbed, nevengeulen, killen</li> <li>Eilanden, zandbanken, platen</li> <li>Gorzen</li> <li>Oeverwallen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep zomerbed</li> <li>Ondiep zomerbed</li> <li><i>Nevengeul / Kil</i></li> <li><i>Biezen / rietruigte</i></li> <li><i>Grasgors, bekade grasgors</i></li> <li><i>Vloedbos / griend</i></li> <li>Stroomdalgrasland</li> </ul>
Oude Maas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Benedenrivier met geringe breedte/diepte verhouding</li> <li>Horizontale getijbeweging</li> <li>Oevers met slikken en gorzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plaatvorming door getijstroming</li> <li>Opslibbing door getijkentering</li> <li>Dichtslibben killen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep getijwater</li> <li>Nevengeul / kil</li> <li>Slikken en gorzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diep getijwater</li> <li>Nevengeul / kil</li> <li><i>Biezen / rietgors</i></li> <li><i>Grasgors, bekade grasgors</i></li> <li><i>Vloedbos / griend</i></li> <li><i>Hoogwaterrijke akker</i></li> </ul>
Hollandsch Diep	<ul style="list-style-type: none"> <li>Breed estuarium met platen</li> <li>Horizontale getijbeweging</li> <li>Oevers met slikken en gorzen</li> <li>Brak - zoet water</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beddingerosie in getijgeulen</li> <li>Aanwas slikken en gorzen</li> <li>Opslibbing gorzen</li> <li>Oeverversnijding door krekken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeer diep, diep en ondiep zoet/brak getijwater</li> <li>Platen</li> <li>Slikken en gorzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeer diep, diep en ondiep zoet/brak getijwater</li> <li>Platen en slikken</li> <li><i>Biezen- en rietgors</i></li> <li><i>Grasgors</i></li> <li><i>Vloedbos/griend</i></li> </ul>
Haringvliet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Breed estuarium met platen slikken en gorzen</li> <li>Zout - brak water</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beddingerosie in getijgeulen</li> <li>Opwas platen</li> <li>Aanwas slikken en gorzen</li> <li>Opslibbing gorzen</li> <li>Oeverversnijding door krekken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeer diep, diep en ondiep zout/brak getijwater</li> <li>Platen</li> <li>Slikken en gorzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeer diep, diep en ondiep zout/brak getijwater</li> <li><i>Platen en slikken</i></li> <li><i>Rietgors</i></li> <li><i>Grasgors</i></li> </ul>

---

### **IJssel**

De IJsseltrajecten vertoonden wat betreft morfologische enige gelijkenis met de Maastrajecten. De Boven IJssel lag in een dal en had in vorige eeuwen een riviervlakte met kronkelwaarden van grote meanders gevormd. Door het geringe stroomvermogen en de oeververdediging was laterale migratie van de smalle geul echter nog maar gering. Lokaal ontstonden aanwassen langs de binnenbocht, met daarop zachthoutoibos. De strangen vertoonden een geringe dynamiek, lagen veelal geïsoleerd van de hoofdgeul, en waren grotendeels al dichtgeslibd. Verder kwamen er beekstrangen voor, die gevoed werden vanuit de Veluwezoom. De riviervlakte werd gedomineerd door uiterwaardgrasland, met een groot areaal akkerland op de hogere delen. De benedenloop van de IJssel omvatte zowel zwak- als sterker meanderende deeltrajecten. De uiterwaarden waren veel smaller dan in het bovenstroomse traject, en de morfologische activiteit was gering als gevolg van het relatief geringe debiet en verhang. Niettemin ontstonden er verscheidene eilanden en opwassen in de bedding, erodeerden de buitenbochten, en ontstonden langs de binnenbochten kronkelwaardbanken. De laaggelegen jonge opwassen bestonden voornamelijk uit moerassig uiterwaardgrasland en zachthoutoibos, terwijl in de dichtgeslibde strangen moeras aanwezig was. Op de oudere en hoger opgewassen kronkelwaarden domineerden uiterwaard- en stroomdalgrasland. Op de hoogst gelegen delen van kronkelwaarden bevond zich hardhoutbos (hakhout). Bijna 10 procent van de uiterwaarden was in gebruik als akkerland.

### **Waal**

De Midden-Waal was een flauw meanderend traject, met een relatief grote breedte/diepte verhouding, gecombineerd met een groot specifiek stroomvermogen. De uiterwaarden waren relatief breed met een kenmerkend patroon van uiterwaardwelingen met daartussen strangen, dat ontstaan was door het stroomafwaarts migreren van de meanders. Daarbij werd de buitenoever geërodeerd, terwijl aan de binnenoever stapsgewijs op- en aanwassen ontstonden, met daartussen strangen. Het aanwassen van de uiterwaarden werd versterkt door de aanleg van kribben, waarmee de mens land won op de rivierbedding. De strangen bleven aan de benedenstroomse zijde in het algemeen in open verbinding staan met de rivier. De uiterwaarden bestonden voornamelijk uit uiterwaardgrasland, terwijl in de strangen, afhankelijk van de mate waarin ze dichtgeslibd waren, open water, moeras of dynamische ruigte, natuurlijk zachthoutoibos of griend, of nat uiterwaardgrasland voorkwam. Natuurlijk hardhoutoibos kwam niet voor. Op verspreide plaatsen in de uiterwaard lag een akker of boomgaard.

### **Lek**

Benedenstrooms van Culemborg was de Lek een zeer zwak meanderende rivier met relatief smalle uiterwaarden, als gevolg van het in vergelijking met de Waal geringe stroomvermogen en de relatief grote resistentie van de oevers. Op enkele plaatsen was in de bedding een eiland aanwezig. De uiterwaarden van de Lek bestonden deels uit kronkelwaarden die een weinig geprononceerd reliëf van ruggen en geulen hadden, en deels uit voormalige opwassen en eilanden met dichtgeslibde nevengeulen. Het voor de Waal kenmerkende patroon van naast elkaar gelegen open, dynamische strangen die benedenstrooms met de rivier in verbinding staan kwam langs de Lek slechts op een paar plaatsen voor. Dominante processen waren het opslibben van de uiterwaarden en de vorming van oeverwallen. Bijna driekwart van de uiterwaard was natuurlijk uiterwaardgrasland, met stroomdalgraslanden op de oeverwallen. Op de jongste aanwassen langs

---

het zomerbed groeide zachthoutoibos. Op verspreide plaatsen langs de bandijk lagen akkers en boomgaarden.

#### **4.3.2 Benedenrivieren - estuarium**

Vanuit de benedenmonding van Lek, Waal en Maas lag de overgang naar het benedenrivierengebied / estuarium. In het centrale en noordelijke deel hiervan kwamen relatief smalle riviertrajecten voor, terwijl de zuidrand door het brede estuarium van Hollandsch Diep en Haringvliet gevormd werd. Vanuit de Waal en Maas verliep de voornaamste verbinding via de Beneden Merwede richting Dordrecht, terwijl er via de killen in de Biesbosch ook water afstroomde richting Hollandsch Diep en Haringvliet.

##### **Merwede – Hollandse Biesbosch**

De Merwede was een traject met een grote breedte/diepte verhouding en tegelijkertijd een groot specifiek stroomvermogen en hoge mobiliteit van sediment. De verticale getijbeweging in het gebied varieerde (bij lage rivierafvoer) van ongeveer 80 cm bij Werkendam tot 160 cm bij Dordrecht. Erosie en aanwas waren actieve processen. In de bedding waren zandplaten aanwezig, die deels weer erodeerden. Opwassen en aanwassen slibden in de loop van de tijd op, deels versneld door menselijke ingrepen. Kenmerkend voor dit traject zijn de ecotopen die samenhangen met de ontstane opwassen. Ruim een derde van het gebied werd ingenomen door zomerbed, killen, en nevengeulen en strangen. Hoewel er nog een aanzienlijk areaal aan intergetijde ecotopen voorkwam (platen en slikken, biezen- en rietgors) was een groot deel hiervan omgevormd tot griend, dat samen met vloedbossen ruim een derde deel van de uiterwaarden innam. Veel van de oude grienden waren ontgonnen tot graslandpolders (grazige gorzen). Langs de bovenstroomse delen kwamen op de aanwassen biezen- en rietruigten voor.

##### **Oude Maas**

Binnen het benedenrivierengebied is de Oude Maas een van de smalle takken, die niet tot een breed estuarium is uitgegroeid. Deze tak had een geringe breedte/diepte verhouding en een laag specifiek stroomvermogen. De verticale getijbeweging was bijna 1.5 m, terwijl het aandeel rivierafvoer relatief gering was. De vorming van opwassen was een van de belangrijkste geomorfologische processen in het ontstaan van de overstromingsvlakten langs de Oude Maas. Erosie van oevers kwam vrijwel niet voor. Zandplaten in de Oude Maas en ook de gorzen en bedijkingen langs de randen van de geul slibden relatief snel op, waarbij de mens door de aanleg van kribben en slibvangen dit proces versnelde. Grote delen van de opgewassen gorzen waren bedijkt en als akkerland in gebruik. Ongeveer een kwart van het gebied bestond uit open water. De intergetijdezone besloeg bijna 17% van het gebied, en werd grotendeels ingenomen door biezen- en rietgors. In het westelijke deel waren vloedbossen en grienden karakteristiek. Het grootste deel van de hogere gelegen grasgorzen was bekaad.

##### **Hollandsch Diep – Haringvliet**

Het Hollandsch Diep en Haringvliet vormden de breedste trajecten met de grootste getijbeweging (ruim 2 m) met hierin geulen en platen. Erosie en sedimentatie waren continue actieve processen. Getijgeulen veranderden door beddingerosie geleidelijk van plaats, en door opwas ontstonden zandplaten. Aanwas was het dominante morfologische proces langs de oeverzones. Hier ontstond een enkele honderden meters brede zone met de overgang van recent aangewassen slikken tot hoog opgeslibde gorzen, waarvan de hoogste delen bedijkt waren. Bijna driekwart van het

---

totale oppervlak werd ingenomen door zoet / brak getijdewater. Ongeveer een derde deel van het buitendijkse landoppervlak behoorde tot de inter- en supra getijdezone. Hierbinnen kwam van laag naar hoog de volgende opeenvolging aan ecotopen voor: platen en slikken, biezen- en rietgorzen, vloedbossen / grienden, grazige gorzen. De meeste grienden en grazige gorzen waren omgeven door een kade en liepen alleen onder bij waterstanden boven GHW. De relatieve oppervlakten water, zandplaten en slikken namen van oost naar west toe. In westelijke richting werden biezen- en rietgorzen in de successie vervangen door rietgorzen. Vloedbossen en grienden kwamen alleen voor ten oosten van Willemstad onder invloed van de grens tussen zoet- en brakwater in het estuarium.

#### 4.3.3 Overgang rivier - estuarium

De overgang van het rivierengebied naar het benedenrivierengebied / estuarium wordt schematisch samengevat aan de hand van tabel 4.3, die de relatie weergeeft tussen processen, de aanwezigheid van getijslag, kentering en haliniteit, en de karakteristieke ecotopen zoals die in theorie te verwachten is langs een longitudinale gradiënt vanaf de rivieren tot in het estuarium.

#### 4.4 Relatie tussen rivierkundige parameters en ecotopen

In bijlagen 6 en 7 zijn de arealen van de ecotopen is binnen de verschillende riviertrajecten weergegeven binnen de classificatiediagrammen voor hydrodynamiek en morfodynamiek. In het classificatiediagram voor morfodynamiek (B/d verhouding, specifiek stroomvermogen) zijn de relatieve oppervlakten van de beddingecotopen weergegeven, uitgedrukt in klassen van percentages van het totale beddingoppervlak. De morfo- en hydrodynamische parameters zijn voor meerdere dwarsdoorsneden per riviertraject bepaald. Alle beschikbare punten zijn geplot in de classificatiediagrammen, wat een beeld geeft van de spreiding binnen een traject. Omdat het percentage van voorkomen van ecotopen per traject is bepaald, is er per traject één gemiddelde waarde voor het percentage van de afzonderlijke ecotopen beschikbaar. In het classificatiediagram voor hydrodynamiek (getijamplitude, jaarlijkse amplitude waterstanden) zijn de relatieve oppervlakten van de uiterwaardecotopen weergegeven. Deze zijn uitgedrukt in klassen van percentages van het totale uiterwaardoppervlak. De kleuren in de diagrammen geven de areaalklassen aan.

##### 4.4.1 Beddingecotopen en morfodynamische parameters

- *Laagwaterbedding*: Kwam uiteraard in alle trajecten voor. Alleen in de Merwede was het areaal niet-laagwaterbedding groter dan 30%. Dit traject wordt gekenmerkt door een relatief grote B/d verhouding (40-280) in combinatie met een relatief groot specifiek stroomvermogen ( $\omega$  in de orde van  $10 \text{ W m}^{-2}$ ).
- *Grindbank, zandplaat, natuurlijke oever*: Grootste arealen kwamen voor in trajecten met een relatief hoog specifiek stroomvermogen ( $\omega > 7 \text{ W m}^{-2}$ ) (Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Merwede), of in trajecten met waarvan de B/d verhouding van de geul groter was dan 200 (Haringvliet). Dit ecotoop ontbrak vrijwel in trajecten waarvan zowel de B/d verhouding als het stroomvermogen gering waren (Maaskant, Lek, Oude Maas). Dit betekent dat voor de vorming van banken en platen ofwel een voldoende groot stroomvermogen aanwezig moet zijn om sediment te transporteren, ofwel de geul moet zeer voldoende breed zijn om het opwassen en aanwassen van platen en banken mogelijk te maken.

**Tabel 4.3**

Indeling in trajecten op basis van geomorfologische kansrijkdom met de in theorie voorkomende trajecten in het Benedenrivierengebied in de huidige en de toekomstige situaties (gewijzigd naar: Simons *et al.*, 2002)

Traject	Processen	Getijslag (verticaal)	Kentering (horizontaal)	Haliniteit	Watersysteem	Karakteristieke fysiotopten en ecotopen
1	Plaatvorming Opslibbing Oeverwalvorming Rivierduinvorming Nevengeulen Migratie Oevererosie	-	-	Zoet	Rivier (rivier)	Rivierstranden Nevengeul Oeverwallen Rivierduinen Stroomdalgraslanden Afslagoevers
2	Plaatvorming Opslibbing Oeverwalvorming Rivierduinvorming Nevengeulen Migratie Oevererosie	+	-	Zoet	Rivier (benedenrivier)	Rivierstranden Oeverwallen Rivierduinen Stroomdalgraslanden Vloedbos Afslagoevers
3	Plaatvorming Opslibbing Oeverwalvorming Rivierduinvorming Nevengeulen Migratie Steilranden	+	+	Zoet	Rivier (getij)	Vloedbos Riet- en biezenhorzen
4	Aanslibbing Gorsvorming Platen Killen	+	+	Brak	Rivier (getij)	Riet- en biezenhorzen Grasgorzen
5	Aanslibbing Gorsvorming Killen	+	+	Zout	Rivier (getij)	Riet- en biezenhorzen Grasgorzen
6	Slibdepositie	+/-	+/-	Zoet	Afgedamd estuarium	Slib-beddingen
7	Platen en slikken Aanslibbing Gorsvorming	+	+	Zoet	Estuarium	Platen en slikken Intergetijd-ecotopen
8	Platen en slikken Aanslibbing Gorsvorming	+	+	Brak	Estuarium	Platen en slikken
9	Zandplaten Aanslibbing Gorsvorming	+	+	Zout	Estuarium	Zandplaten Intergetijd-ecotopen
10	Strandvorming Duinvorming Sluftervorming	+	+	Zout	Zee	Stranden Duinen Slufters

- *Slikken*: Slikken kwamen in het gehele estuarium voor, en met name in die trajecten waar de B/d verhouding groter was dan ongeveer 200 (Hollandsch Diep, Haringvliet).
- *Steiloevers*: Omdat steiloevers in horizontale zin weinig ruimte innemen, is hun areaal in het algemeen klein. Het voorkomen van

---

steiloevers en terrasranden langs de Grensmaas en de Roerdalslenkmaas hangt nauw samen de ligging in het Maasdal. Het ecotoop hoort bij actieve meandering, gerelateerd aan een hoog specifiek stroomvermogen in combinatie met een lage Shields parameter. De lage Shields parameter zorgt voor geringe beddingerosie en dientengevolge sterke oevererosie, resulterend in steiloevers die op andere trajecten afwezig zijn. De belangrijkste trajecten voor steiloevers waren die met een relatief groot specifiek stroomvermogen ( $\omega > 7 \text{ W m}^{-2}$ , meeste voorkomen bij  $\omega > 25 \text{ W m}^{-2}$ ), gecombineerd, met een relatief lage B/d verhouding ( $< 75$ ). Dit zijn de Grensmaas en Roerdalslenkmaas. Incidenteel kwamen langs de buitenoevers van meanders langs de Maaskantmaas en IJssel kleine steiloevers voor.

- *Ondiep water, nevengeulen, killen*: Deze ecotopen kwamen in vrijwel alle trajecten voor; in de riviertrajecten gaat het om nevengeulen rond eilanden, in het benedenrivierengebied betreft het nevengeulen en killen. Op grond van het diagram lijkt het areaal groter te worden met afnemend stroomvermogen en toenemende B/d verhouding. Het grootste relatieve oppervlak kwam echter voor in de Merwede, die een relatief hoog specifiek stroomvermogen en grote B/d verhouding had.
- *Aangekoppelde strang*: Dit ecotoop werd aangetroffen binnen het gehele bereik van specifiek stroom vermogen, en bij B/d verhoudingen kleiner dan 300. Binnen dit bereik konden aangekoppelde strangen in meerdere of mindere mate voorkomen, afhankelijk van het riviertraject. Aangekoppelde strangen kwamen met name voor langs de Waal, Heusdense Maas en Roerdalslenkmaas.

#### 4.4.2 Uiterwaardecotopen en hydrodynamische parameters

In enkele gevallen zijn ecotopen in het rivierengebied en equivalente ecotopen in het benedenrivierengebied samen besproken, aangezien deze elkaar in ruimtelijke zin niet overlappen. In dat geval zijn de uiterwaardecotopen langs de rivieren met een (r) aangeduid en de ecotopen in het benedenrivierengebied/estuarium met een (e).

- *Afgesloten, geïsoleerde strang, plas, kolk*: Kwam in kleine oppervlakten voor langs alle riviertakken waar de getijamplitude afwezig of maximaal 15 cm bedroeg.
- *Beekstrang*: De beekstrang is niet zozeer gerelateerd aan een waterstandsdynamiek, maar aan de aanwezigheid van hogere gebieden die aan de rivierlakte grenzen. Dit is het geval langs de Grensmaas, Roerdalslenkmaas en Boven IJssel.
- *Uiterwaardruigte, riet- en biezemoeras (r) / Ruigte, riet- en biezengors (e)*: Langs de bovenrivieren werden deze ecotopen voornamelijk aangetroffen in trajecten met een relatief hoge jaarlijkse amplitude ( $P_{1-99} > 450 \text{ cm}$ ; Waal) enerzijds, en in benedenstroomse trajecten (Beneden IJssel, Heusdense Maas) anderzijds. In het Benedenrivierengebied nam het relatieve areaal van de ruigten, riet- en biezengorzen toe naarmate de getijamplitude groter was. In de onderzochte trajecten waar deze ecotopen aangetroffen werden was de P-95 verticale getijamplitude ten minste 90 cm. De arealen van deze benedenrivier ecotopen waren aanzienlijk groter dan langs de rivieren, en namen in het estuarium tot meer dan 50% van de landecotopen in.
- *Bebost uiterwaardmoeras, zachthoutoobos, griend (r) / Vloedbos, griend (e)*: Langs alle riviertrajecten, inclusief de Boven Merwede, kwam op verschillende typen frequent overstromde locaties zachthoutoobos voor, als natuurlijke opslag, moerasbos en in de vorm van grienden. Door deze diversiteit is er geen duidelijke relatie met amplitude van jaarlijkse waterstanden bestaat. Zachthoutoobos kwam als natuurlijk bos voor op recente aanwassen en jonge kronkelwaardbanken. Lokaal kwam



---

zachthoutbos als moerasbos in dichtgeslibde strangen voor. Langs veel trajecten m.u.v. de Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Boven- en Beneden IJssel, is natuurlijk zachthoutbos door de mens vervangen door wilgengrienden. Deze kwamen voor op de lagere delen van de uiterwaarden en in dichtgeslibde strangen. In het benedenrivierengebied kwamen vloedbossen en grienden voornamelijk voor in het overgangsgebied tussen rivieren en estuarium, waar het zoutgehalte nog niet te hoog was. Langs de Merwede - Hollandse Biesbosch namen ze tot bijna 40% van het landareaal in.

- *Grazig uiterwaardmoeras/kwelgrasland (r) / Grasgors (e)*: Natte uiterwaardgraslanden kunnen niet rechtstreeks aan de jaarlijkse amplitude van waterstanden gerelateerd worden, omdat het voorkomen ervan bepaald werd door de lokale geomorfologie en menselijk ingrijpen. Ze waren te vinden in dichtgeslibde strangen, en aan de voet van terrasranden langs de bovenstroomse Maastrajecten. In het benedenrivierengebied en estuarium kwamen de grootste arealen grasgorzen voor bij de grootste getijamplitude ( $P_{95} > 2$  m), in het Hollandsch Diep en Haringvliet.
- *Oeverwalruigte en rivierduinen*: Deze kwamen slechts op enkele plaatsen voor langs de rivieren, van de onderzochte trajecten alleen langs de Heusdense Maas en Beneden IJssel. Het voorkomen van dit ecotoop lijkt niet eenduidig te koppelen aan hydrodynamiek, maar eerder bepaald te worden door de aanwezigheid van een relatief hoge oeverwal, en voldoende brede oeverstranden die als bron voor zand dienden.
- *Hardhoutooibos*: Dit ecotoop kwam maar langs enkele trajecten en in kleine arealen voor. De aanwezigheid van hardhoutooibos lijkt niet gerelateerd aan de jaarlijkse amplitude van rivierstanden, zij het dat extreem grote amplitudes (4.5 m) ongunstig lijken. Lokale hogere gebieden en een voldoende grote ouderdom van de standplaats lijken in het rivierengebied belangrijker factoren dan hydrodynamiek. In het benedenrivierengebied ontbreekt hardhoutooibos.
- *Uiterwaardgrasland*: Kwam langs alle riviertrajecten in grote arealen voor. Het relatieve oppervlak hing niet af van de hydrodynamiek, maar werd vooral bepaald door de mens: in hoeverre deze wilgengrienden geruimd had waarna grasland overbleef, of grasland juist in boomgaard en akker had omgezet.
- *Stroomdalgrasland*: Is gerelateerd aan het voorkomen van oeverwallen. Stroomdalgrasland kwam langs alle riviertakken voor, ongeacht de jaarlijkse amplitude van rivierstanden, en werd in het benedenrivierengebied aangetroffen in trajecten waar de  $P_{1-99}$  getijamplitude minder dan ongeveer 1 meter was (Beneden Merwede).
- *Akker, boomgaard*: Deze ecotopen kwamen (zonder dat ze op hoogwatervrije terreinen lagen) alleen voor langs de rivieren, zonder getij. De grootste arealen lagen langs de meanderende Grensmaas en Roerdalslenkmaas en de Boven IJssel, waar ze op de hogere, oudere delen lagen. Een directe koppeling met waterstandsfluctuaties is daarom niet mogelijk.
- *Hoogwatervrij terrein*: Langs de rivieren met uiterwaarden kwamen verspreid lokale hoogwatervrije terreinen voor. De hoogte hiervan was aangepast op de waterstandsfluctuaties, en daardoor was het voorkomen ervan onafhankelijk geworden van de amplitude van waterstanden. Langs de bovenstroomse Maastrajecten die in een dal liggen, en delen van de Boven IJssel is niet altijd duidelijk welke gebieden hoogwatervrij zijn. Zo inundeerden bij extreem hoge debieten inundeerden zelfs grote delen van de dorpen langs de Grensmaas. Om deze reden is het areaal hoogwatervrij terrein langs deze Maastrajecten op nul gesteld. Langs de benedenrivieren kwamen echter grote arealen hoogwatervrij terrein voor. Met name in de trajecten waar de getijamplitude maximaal tussen 150 en 170 cm bedroeg

---

had men op grote schaal kades opgericht waarachter gras- en akkerland lag. Op deze plaatsen was het getijverschil groot genoeg geweest voor de opslibbing van gorzen, en zoutgehalte en getijamplitude waren nog dermate gering dat het mogelijk was met kades deze gebieden voor agrarisch gebruik geschikt te maken.

#### 4.5 Conclusies

Op grond van de verdeling van ecotopen langs de verschillende riviertrajecten, en de hydrodynamische en morfodynamische kenmerken van deze trajecten zoals gereconstrueerd uit de historische gegevens, alsmede de theoretische verbanden tussen rivierkundige parameters en processen, en aangevuld met literatuurgegevens (Zonneveld (1960); Coops & Geilen (1996) en Van Splunder (1998), in: Wolfert (1998) ), kunnen globaal randvoorwaarden voor het ontstaan en voortbestaan van verschillende fysiotopten en ecotopen afgeleid worden. Hiertoe is door Wolfert (1998) op basis van de Lek, IJssel en Waal al een eerste opzet gemaakt, die in tabel 4.4 is uitgebreid en aangepast op grond van de resultaten van alle onderzochte trajecten. Bij verschillende ecotopen blijkt echter geen eenduidig verband tussen het voorkomen ervan en de hydro- of morfodynamiek. Voorbeelden zijn: zachthoutoibos / griend of uiterwaardgrasland. Dit heeft verschillende oorzaken:

1. Sommige ecotopen kunnen op meerdere fysiotopten ontstaan (vergelijk figuur 2.3). Zo kwam zachthoutoibos voor zowel op recente aanwassen en jonge lage uiterwaarden dicht langs de bedding, dichtgeslibde strangen, en kwelzones aan de voet van terrasranden.
2. Veel ecotopen hangen samen met het geomorfologische patroon van de riviervlakte dat ontstaan is in de periode voor 1850, waarbij de rivierkundige parameters andere waarden hadden. Zo zijn de grote meanders van de IJssel en de hiermee samenhangende patronen ontstaan in een periode dat de IJssel een veel groter debiet had dan rond 1850. Ook de uiterwaarden van de Waal zijn ontstaan in een periode waarin de B/d verhouding van de bedding wellicht nog groter was dan in 1850. Historische reconstructies van Hesselink (2002) laten zien dat stroomvermogen en breedte/diepte verhouding van de Rijntakken in de periode vóór 1850 inderdaad nog aanzienlijk veranderd waren.
3. De bedekkingspercentages van ecotopen zijn gemiddelde waarden over een heel traject, die vergeleken worden met de totale variatie aan morfologische parameters binnen dat traject. De correlatie met de hydro- of morfologische parameters binnen een traject wordt hierdoor niet zichtbaar, waardoor het ecotoop bijvoorbeeld bij alle in het traject voorkomende B/d verhoudingen voor lijkt te kunnen komen. De resultaten van deze analyse geven dan ook aan of ergens binnen een riviertraject met bepaalde hydro- en morfologische kenmerken een bepaald ecotoop *zou kunnen* voorkomen. De hydro-morfologische parameters dienen daarbij vooral om het karakter van een bepaalde riviertak te schetsen, waarbij de ecotopenarealen aangeven of binnen een dergelijk type riviertraject veel of juist weinig van een dergelijk ecotoop te verwachten is. De *lokale* randvoorwaarden voor het ecotoop kunnen hieruit echter niet afgeleid worden.

**Tabel 4.4**

Morfologische, morfodynamische en hydrodynamische randvoorwaarden voor het ontstaan van fysiotoepen en ecotoepen in het Nederlandse rivierengebied (gewijzigd en uitgebreid naar Wolfert (1998) ) ssp = specifiek stroomvermogen

Fysiotoop / ecotoop	Morfologie en morfodynamiek	Hydrodynamiek
Nevengeul	<ul style="list-style-type: none"> <li>B/d zomerbed &gt; 100 bij ssp tussen 4 en 15</li> <li>B/d zomerbed &gt; 50 bij ssp &lt;1</li> <li>Oevererosie;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Steiloever	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bedding gelegen langs hogere oeverzone (terras / stuwwal)</li> <li>Hoog ssp (&gt; 10 W/m<sup>2</sup>), in combinatie met lage B/d verhouding zomerbed (&lt; 75)</li> <li>Oevererosie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Opwas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorming alternerende / vrije bank</li> <li>B/d zomerbed &gt; 50 bij ssp &lt;1</li> <li>B/d zomerbed &gt; 30 bij ssp &gt;30</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Aanwas / kronkelwaardbank	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meanderende rivier, hoge sinuositeit, laterale migratie meander</li> <li>B/d zomerbed &gt; 20, ssp &gt; 0.2</li> <li>Oevererosie</li> <li>Vorming plaatsvaste kronkelwaardbank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Aangekoppelde / open strang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meanderende rivier, lage sinuositeit, (gedwongen) stroomafwaartse migratie meanders</li> <li>B/d verhouding zomerbed &gt; 40</li> <li>Hoge stroomsnelheid bij overstroming, geringe sedimentatie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Dichtgeslibde strang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ontstaan: zie aangekoppelde strang</li> <li>Geringe stroomsnelheid bij overstroming</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Beekstrang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Omliggende hoge gronden</li> <li>Meanderverlegging of vorming strang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Uiterwaard	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslibbing</li> <li>Overstroming met geringe stroomsnelheden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Oeverwal ruigte en rivierduin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oeversedimentatie</li> <li>sterke afname stroomsnelheid tijdens overstroming</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n.v.t.</li> </ul>
Moeras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslibbing en dichtslibbing</li> <li>Overstroming met geringe stroomsnelheden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterdiepte maximaal 50-70 cm</li> <li>P1-99 waterstandsverschil van 350 cm, dit komt overeen met waterstandsfluctuaties maximaal 50 cm onder mediaan</li> </ul>
Zachthoutoobos (vestiging)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overstroming uiterwaard met geringe stroomsnelheid en weinig golfslag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overstromingsduur maximaal 210 dagen per jaar</li> </ul>
Hardhoutoobos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overstroming uiterwaard met geringe stroomsnelheid en weinig golfslag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overstromingsduur maximaal 50 dagen per jaar</li> </ul>
Slik	<ul style="list-style-type: none"> <li>lage oeverzone</li> <li>Ssp klein (&lt; 1 W/m<sup>2</sup>)</li> <li>grote B/d verhouding (&gt; 200)</li> <li>Lage stroomsnelheid (&lt; 0.35 m/s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intergetijdezone, meer dan 50% van de tijd overstroomd</li> </ul>
Riet- en biezenegors	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lage oever, intergetijdezone;</li> <li>Opslibbing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intergetijdezone, minder dan 50% van de tijd overstroomd</li> <li>Hoe groter getijverschil hoe groter areaal gorzen: P<sub>95</sub> getijamplitude &gt; 1 m</li> </ul>
Grasgors	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoge oeverzone;</li> <li>Opslibbing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone boven GHW, zelden overstroomd;</li> <li>Hoe groter getijverschil hoe groter areaal gorzen: P<sub>95</sub> getijamplitude &gt; 1 m</li> </ul>
Vloedbos (benedenrivier/ estuarium)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoogwatervrije oeverzone;</li> <li>Opslibbing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone boven springtij of overstromingsvrije zone</li> <li>Zoet water, bij GHW en gemiddelde Rijnafvoer &lt; 0.3 g Cl<sup>-</sup>/l</li> <li>P<sub>95</sub> getijamplitude &gt; 1 m</li> </ul>

---

# 5 Huidige situatie en kansrijkdom voor ecotopen

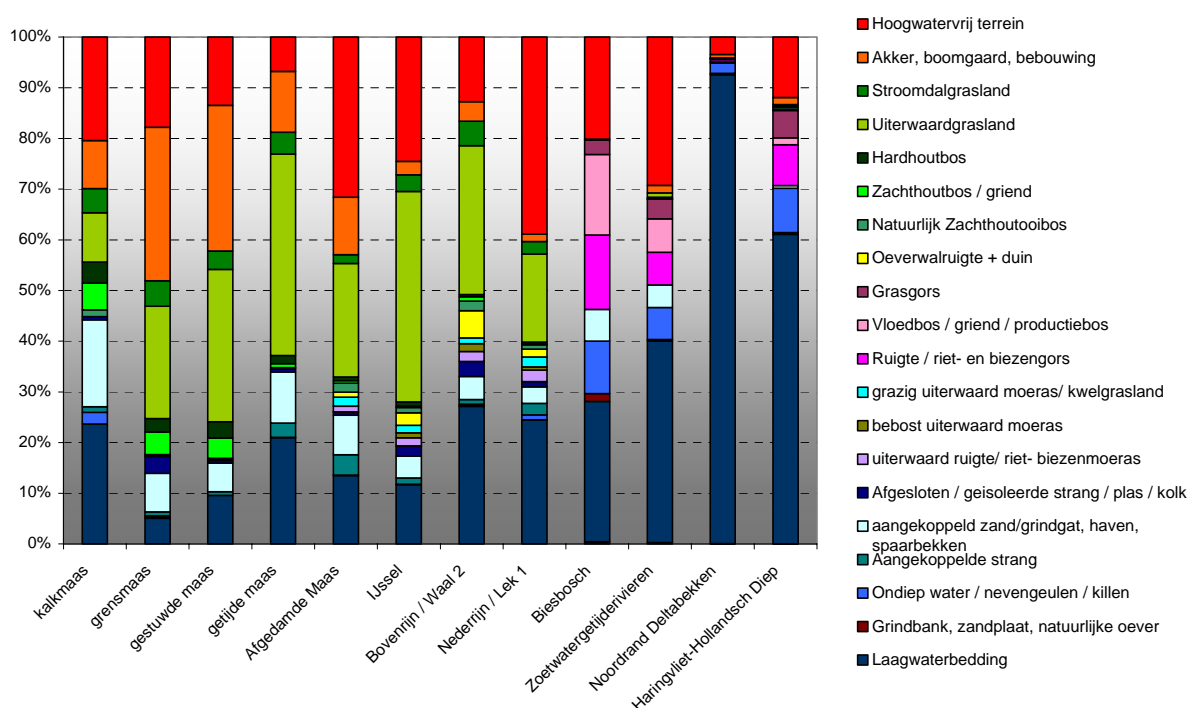
## 5.1 karakterisering huidige riviertakken

### Ecotopen

Figuur 5.1 geeft een overzicht van de huidige ecotopenverdeling in de Maas, de Rijntakken en het Benedenrivierengebied (RWS-ecotopenkarteringen)

**Figuur 5.1**

Ecotoepen verdeling langs riviertrajecten, huidige situatie



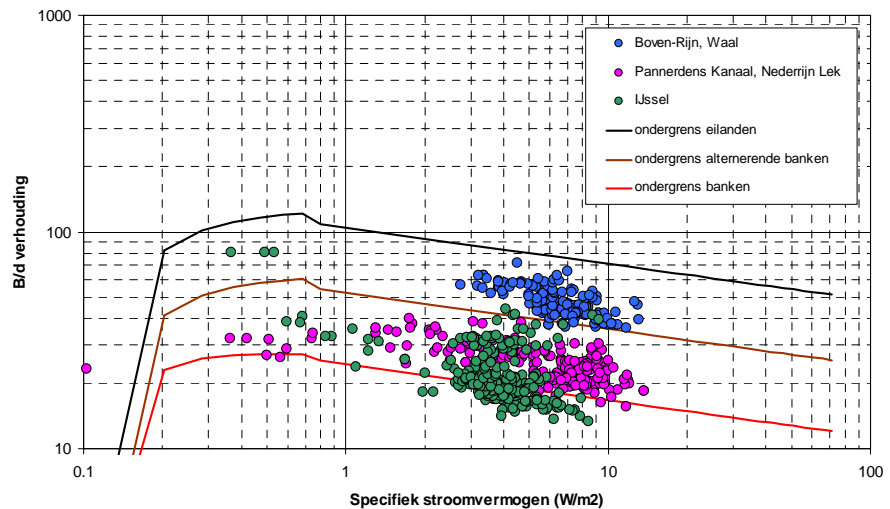
Opvallende verschillen met de situatie rond 1850 is het toegenomen aandeel akkers en hoogwatervrij terrein, de aanwezigheid van zand- en grindgaten en de afname van stroomdalgraslanden, oobos, zandplaten en ondiep water, nevengeulen en killen. Samenvattend kan men stellen dat de ecotopen die gekoppeld zijn aan natuurlijke dynamiek van de rivier in aandeel sterk zijn afgenomen, terwijl de ecotopen die samenhangen met menselijke activiteiten als bebouwing, landbouw delfstoffenwinning en scheepvaart sterk in aandeel zijn toegenomen.

### Morfodynamiek en hydrodynamiek

Figuur 5.2 t/m 5.7 tonen de positie van de huidige riviertakken binnen de morfodynamische en hydrodynamische classificatiediagrammen. Hieruit blijkt dat ten opzicht van de historische situatie twee belangrijke veranderingen zijn opgetreden. In de eerste plaats is het dynamische karakter sterk afgenomen: de B/d verhouding is kleiner geworden, en in alle gevallen liggen de punten beneden de lijn die het gebied met eilandvorming aangeeft, terwijl alleen de Waal nog in het gebied ligt waar alternerende banken kunnen ontstaan. Met name in het Benedenrivierengebied, maar ook langs de bovenstroomse Maastrajecten kan het beddingsediment op grond van de lage Shields parameter en het geringe stroomvermogen niet meer in beweging gebracht worden door de stroming. In de tweede plaats zijn als gevolg van de normalisaties de oorspronkelijke verschillen in dynamisch karakter tussen de riviertrajecten sterk genivelleerd. Deze afname van de morfodynamiek van de beddingen betekent dat - nog afgezien van directe ingrepen t.b.v. de vaarweg voor schepen - eilanden en hiermee samenhangende nevengeulen en strangen in de huidige situatie van nature niet meer gevormd zullen worden.

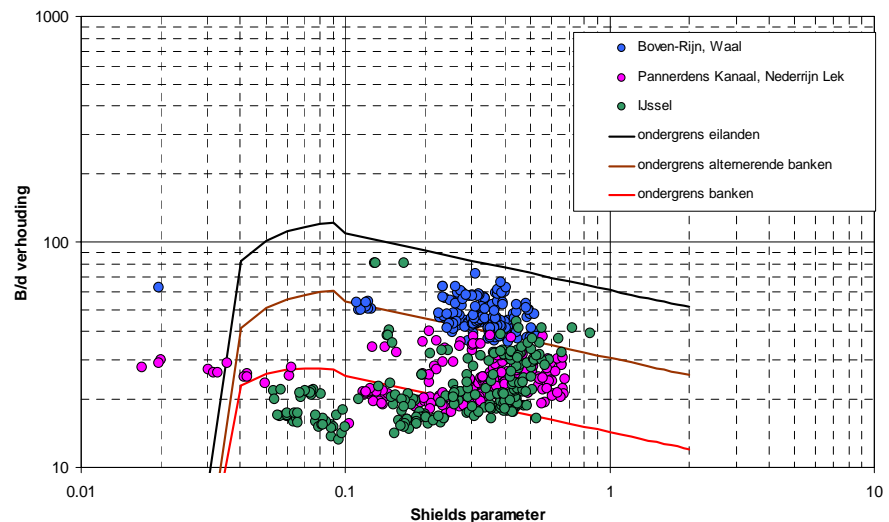
**Figuur 5.2**

Morfodynamiek van riviertrajecten op basis van specifiek stroomvermogen, Rijntakken huidige situatie



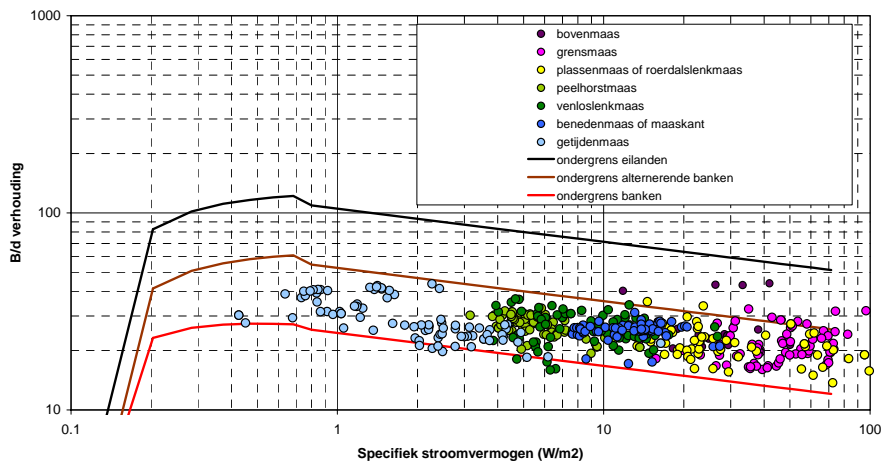
**Figuur 5.3**

Morfodynamiek van riviertrajecten op basis van Shields parameter, Rijntakken huidige situatie



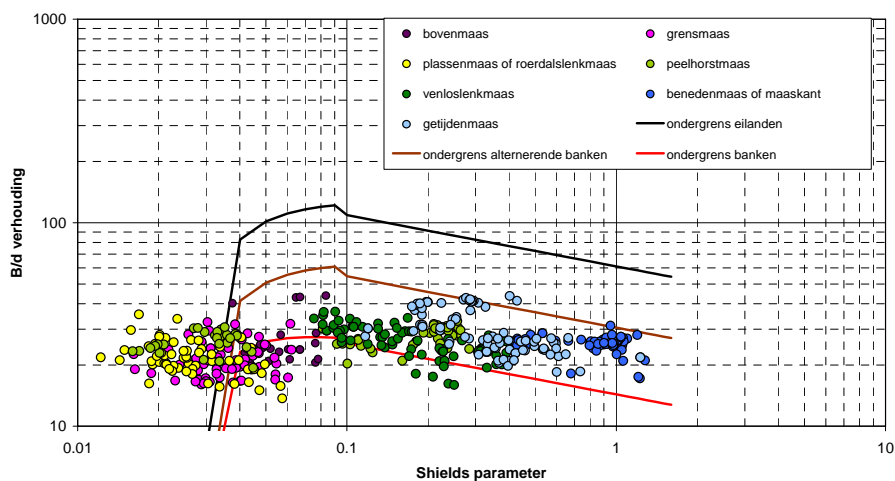
**Figuur 5.4**

Morfodynamiek van riviertrajecten op basis van specifiek stroomvermogen, Maas huidige situatie



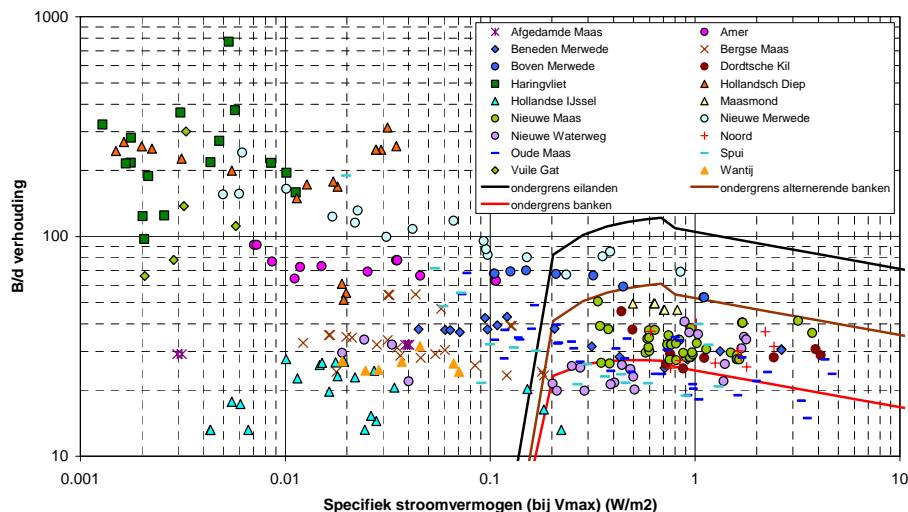
**Figuur 5.5**

Morfodynamiek van riviertrajecten op basis van Shields parameter, Maas huidige situatie



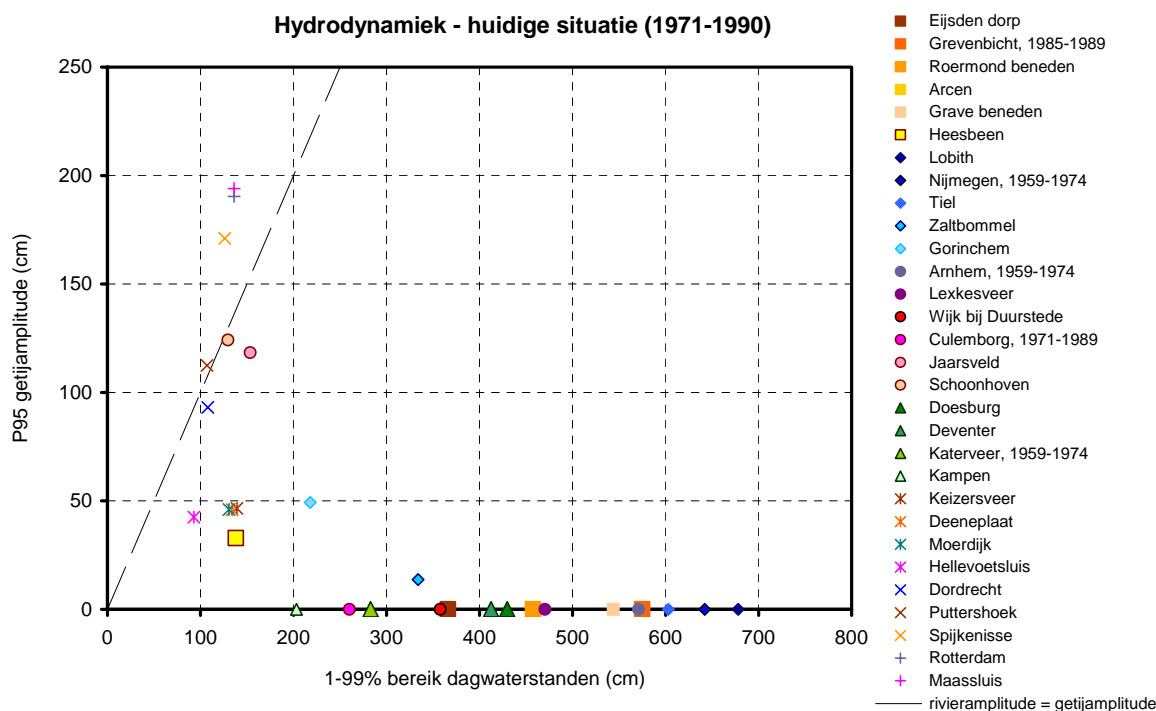
**Figuur 5.6**

Morfodynamiek van riviertrajecten op basis van specifiek stroomvermogen, Benedenrivierengebied huidige situatie



Figuur 5.7

Hydrodynamiek van riviertrajecten – huidige situatie



Op grond van de classificatiediagrammen voor de huidige situatie kan het volgende geconcludeerd worden omtrent de mogelijkheid tot vorming van banken en eilanden: In de huidige situatie hebben de Bovenrijn en Waal de grootste B/d verhouding (30 - 55), en een Shields parameter tussen 0.1 en 0.5. In deze trajecten zullen van nature alternerende, hoge kronkelwaardbanken kunnen ontstaan. Echter, sedimenttransport zal alleen bij geulvullende en hogere debieten optreden, omdat bij lagere debieten de stroomsnelheid en waterdiepte te klein zijn om het sediment in beweging te brengen. De Nederrijn en Lek zijn gestuwde rivieren geworden. Hierdoor zijn de waterstandsverschillen (met name extreem lage waterstanden) aanzienlijk afgenomen. Langs de Nederrijn en Lek, met B/d verhoudingen tussen 10 en 30, en een Shields parameter tussen 0.05 en 0.7 zijn van nature alleen lage vaste kronkelwaardbanken te verwachten. Langs de IJssel, met gemiddeld nog kleinere B/d verhoudingen (13-30) zullen eveneens alleen nog lage, plaatsvaste kronkelwaardbanken kunnen ontstaan, terwijl langs deze riviertak op verschillende plaatsen de vorming van banken zelfs geheel onderdrukt zal worden.

De Maastrajecten vallen in het classificatiediagram alle binnen de zone waarin slechts lage, plaatsvaste kronkelwaardbanken gevormd kunnen worden. Als gevolg van het relatief grove beddingsediment is de Shields parameter in de bovenstroomse Maastrajecten (Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Peelhorstmaas) mobiliteit zelfs zo laag (tussen 0.02 en 0.08), dat het op verscheidene plaatsen niet meer gemobiliseerd kan worden.

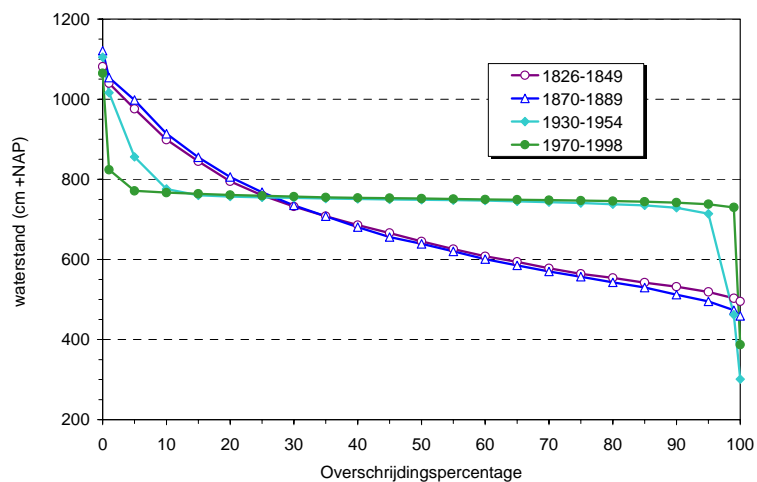
Op grond van het classificatiediagram met specifiek stroomvermogen en B/d verhouding blijkt dat op veel plaatsen in het benedenrivierengebied het



stroomvermogen te klein is voor beddingtransport. Hierbij moet aangetekend worden dat dit gemiddelde waarden zijn over het gehele laagwaterbed; in diepe geulen, waar het water het snelste stroomt kan wel transport optreden. In de trajecten die in de zone met sedimenttransport liggen zijn op grond van het diagram alleen plaatsvasten banken te verwachten.

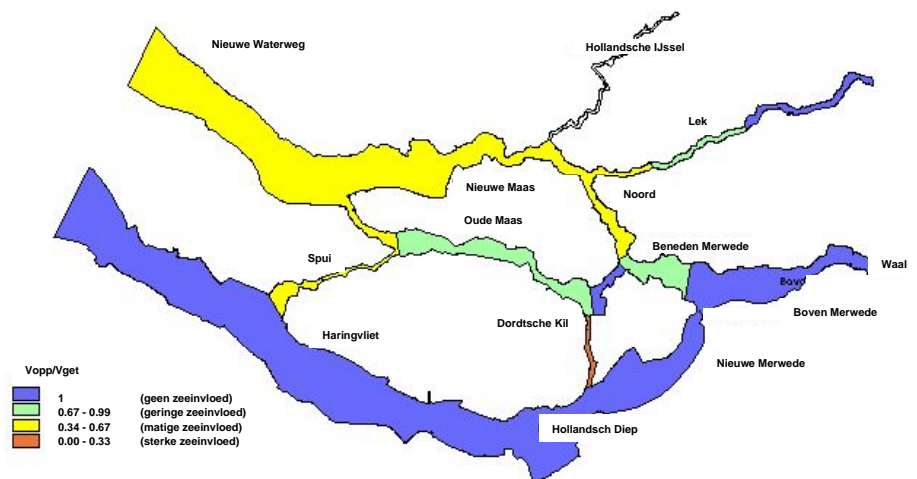
Als gevolg van het aanleggen van stuwen in de Nederrijn en Maas zijn de waterstandsfluctuaties en overstromingsduren in deze trajecten sterk gewijzigd. De overschrijdingslijn van de waterstanden bij Grave (Figuur 5.8) vertoont als gevolg van het stuwen tegenwoordig een vrijwel vlak verloop (met uitzondering van de extremen). Wolfert (1998) laat zien dat in de bovenstroomse helft van de Nederrijn/Lek nog slechts in 10 procent van de tijd de uiterwaarden overstroomt, terwijl dit in het benedenstroomse deel ongeveer 35% van de tijd gebeurt. Verder vertonen de gestuwde riviertrajecten relatief geringe waterstandsfluctuaties. Dit betekent onder andere dat opslibbing van uiterwaarden en het dichtslibben van strangen in deze gestuwde trajecten nog maar zeer langzaam verloopt. In gestuwde trajecten zijn bovendien het verhang en de stroomsnelheden gering, waardoor het stroomvermogen en de Shields parameter afgenomen zijn. In plaats van transport treedt daarom in perioden dat de stuwen gestreken zijn zelfs depositie van sediment op in het zomerbed.

**Figuur 5.8**  
Overschrijdingsduurlijnen van de waterstanden in de Maas bij Grave gedurende vier verschillende perioden. Na de aanleg van de stuwen zijn de waterstandsfluctuaties sterk afgenomen (bron: Middelkoop & Kroon, 1999)



**Figuur 5.9**  
Hydrodynamiek van Benedenrivierengebied – huidige situatie (bron: databestanden ecomorfologische kartering Rijntakken - RWS)

Zee-invloed na 1970 = restvolume / getijvolume (Vopp/Vget)



---

Het diagram voor de hydrodynamiek laat de grootste verschillen in het benedenrivierengebied en estuarium zien. Hier is als gevolg van de afsluiting van het Haringvliet de getijwerking sterk gereduceerd. De getijamplitude is het grootst in de Nieuwe Waterweg, de  $P_{95}$  amplitude neemt van bijna 2 m geleidelijk af in zuidelijke richting langs de Oude Maas en de Noord tot minder dan 50 cm in het Hollandsch Diep en Haringvliet. In de Lek is de getijamplitude nog relatief groot ten opzichte van de Merwede of Bergsche en Afgedamde Maas. Als gevolg van de afsluiting van het Haringvliet is de zee-Invloed in het Hollandsch Diep en Haringvliet sterk afgenomen, wat zich uit in een  $V_{opp}/V_{get}$  gelijk aan 1 (figuur 5.9).

## 5.2 Kansrijkdom ecotopen

De kansrijkdom voor toekomstige ecotopen langs de huidige rivieren kan op basis van verschillende criteria aangegeven worden:

1. Door welke processen wordt het ecotoop gevormd, en waar deden deze processen zich in de historische referentiesituatie voor (vb: moerassen Benedenrivierengebied, zandbanken Merwede);
2. Waar hoort op grond van morfologie (ontstaan voor 1850) het ecotoop thuis (vb: afgesneden meanders Roerdalslenkmaas, IJssel; strangen Waal);
3. Waar is op grond van relatie tussen proces en ecotoop in de toekomst nog kans voor ecotoop (vb: dynamiek binnen nevengeul met juiste B/d verhouding).

In dit hoofdstuk wordt voor verschillende ecotopen op basis van deze criteria aangegeven waar potenties voor ontwikkeling liggen en onder welke voorwaarden.

### Slikken en zandplaten

Slikken ontstaan door aanwas langs de oevers van een benedenrivier en in het estuarium, met  $P_{95}$  getijamplitude in de orde van 1.5 m of meer, wat een voorwaarde is om voldoende slib op de slikken af te kunnen zetten. In de historische referentie was dat het geval langs de Oude Maas en in het Hollandsch Diep en Haringvliet. Thans is de getijamplitude alleen in de Oude en de Nieuwe Maas en de Nieuwe waterweg nog zo hoog. Deze takken zijn daarom in potentie geschikt voor het ontwikkelen van slikken, er moet echter wel ruimte geschapen worden. Gunstige omstandigheden voor het ontstaan van slikken en zandplaten zijn verder een klein specifiek stroom vermogen ( $< 1 \text{ W/m}^2$ ) en een grote B/d verhouding van ten minste 100 en oplopend tot 1000. In de historische referentie was dit het geval langs het Hollandsch Diep en Haringvliet. Op grond van deze gegevens is dit ecotoop in de huidige situatie kansrijk in het Hollandsch Diep, Haringvliet en de Beneden Merwede-Biesbosch, onder voorwaarde dat het getijverschil in deze gebieden voldoende groot is. Dit vergt een aanpassing van het huidige spuiregime van de Haringvlietkering.

### Zand- of grindbanken

Zand- of grindbanken ontstaan als op- en aanwassen in een rivierbedding met een relatief grote B/d verhouding, en een voldoende mobiliteit van sediment. Uit de historische analyse blijkt dat zandbanken in de bovenrivieren vooral aanwezig waren in de Waal en de Boven Merwede, en verder, maar minder, in de IJssel en Lek. In de Grensmaas en Roerdalslenkmaas bevonden zich grindbanken, waarvoor het sediment mogelijk vooral door oevererosie geleverd werd. In het estuarium (met getijbeweging) ontstaan zandplaten als opwassen tussen de diepe eb- en vloedgeulen (zie slikken en zandplaten).

---

Op grond van de rivierkundige parameters, en de met B/d verhouding samenhangende Interactie Parameter blijkt dat voor het ontstaan van alternerende banken de breedte/diepte verhouding van de bedding groter moet zijn dan 30 à 50. Bovendien moet de stroomsnelheid groot genoeg zijn om het bedding sediment in beweging te kunnen brengen (hoge waarde voor Shields parameter). Deze voorwaarden gaan in de huidige situatie op voor de Bovenrijn, Waal en de Nieuwe Merwede. In de meeste overige bovenriviertakken is de B/d verhouding te klein, en zou minstens een factor 2 vergroot moeten worden.

Met uitzondering van de Grensmaas staan de eisen van de scheepvaart m.b.t. vaargeuldimensies in het algemeen haaks op de vorming van zandbanken, en zullen de feitelijke potentie voor zandbanken in de riviertrajecten anders dan de Grensmaas dus tot nul reduceren. Wel is het mogelijk langs Boven Rijn, Waal en Merwedens, voormalige zandbanken die buiten de zomerkades liggen te verjongen door ze te verlagen, zoals in 1989 bij Ewijkse Plaat is gebeurd. Bij hoge waterstanden zal er zand op de verjongde zandbanken afgezet worden, waardoor de pionierssituatie enige jaren zal blijven bestaan. Bij verdergaande sedimentatie zal, afhankelijk van het beheer, een ontwikkeling naar oeverwalruigte of zachthoutoebos plaatsvinden.

Omdat er op de Grensmaas geen scheepvaart is, is de ontwikkeling van zand- en grindbanken hier kansrijk wanneer door geulverruiming de B/d verhouding ongeveer 2 keer zo groot gemaakt wordt. In de Grensmaas is het beddingsediment, door de afpleisterlaag op de bodem, over het algemeen dermate grof dat alleen tijdens zeer hoge afvoer de bedding als bron voor de vorming van grindbanken kan fungeren. Onder bankfull omstandigheden kan alleen materiaal fijner dan 2 cm getransporteerd worden, terwijl het materiaal van bedding een D50 van 4 cm heeft. Een mogelijke sedimentbron is grootschalige oevererosie, die mogelijk gemaakt kan worden door het verwijderen van oeverbescherming (stortsteen). Een andere mogelijkheid is de kunstmatige toevoeging van sediment door het storten van relatief fijn beddingmateriaal ( $D50 < 2$  cm).

#### **Eilanden en nevengeulen**

Op grond van theoretische relaties kunnen in meanderende rivieren eilanden ontstaan wanneer de breedte/diepte verhouding van de hoofdgeul groter is dan 100. In brede ondiepe trajecten kwamen dynamische nevengeulen voor rond zandbanken, en deze verzandden snel. Dergelijke omstandigheden kwamen voor in de Waal, Merwede en lokaal in de Nederrijn-Lek en de Heusdense Maas. In smallere trajecten bestonden nevengeulen rond stabiele eilanden. Dit was het geval in de beneden IJssel, Roerdalslenkmaas, en Maaskant Maas. Ook in het estuarium kwamen stabiele eilanden voor tussen eb- en vloedcharen (zie slikken en zandplaten). Op grond van de morfologische ontwikkeling horen dynamische, brede nevengeulen thuis in de trajecten Waal en Merwede. Smalle, stabiele nevengeulen kwamen voor in de beneden IJssel en de beneden Lek. in bochten of nabij beekmondingen kwamen in veel riviertrajecten kleine eilandjes voor: in de Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Maaskant Maas, en in de Oude Maas.

Onder de huidige condities, met genormaliseerd zomerbed, zullen nevengeulen alleen op 'natuurlijke' wijze kunnen ontstaan in de Grensmaas, wanneer deze verbreed wordt en er voldoende mobiel sediment beschikbaar komt om grindeilanden te vormen. De breedte-diepteverhouding moet een factor 3 vergroot worden, dat is meer dan voor

---

de vorming van banken aan de oever noodzakelijk is. De grove pleisterlaag in de bedding vormt een belemmering voor de beschikbaarheid van transporteerbaar beddingmateriaal. Hiervoor geldt hetzelfde als voor de vorming van banken aan de oever: Grootschalige oevererosie of het kunstmatige toevoeging van beddingsediment is nodig als sedimentbron.

In de overige riviertrajecten kunnen nevengeulen alleen kunstmatig ontstaan door ze te graven. De dynamiek van een nevengeul zelf is afhankelijk van de breedte/diepte verhouding van de geul. In dat geval wordt de nevengeul als zelfstandige geul beschouwd. In brede ondiepe nevengeulen komen meer erosie- en sedimentatieprocessen voor. Dit kan gebeuren door nevengeulen aan te leggen die voldoende breedte hebben ( $B/d$  verhouding  $> 50$ ), en de geul zodanig te dimensioneren dat bij geulvullend debiet de Shields parameter groter dan 0.05 is, zodat er sedimenttransport optreedt. Dynamische geulen hebben oevers die uit zandig substraat bestaan, waardoor laterale erosie- en aanwas in de nevengeul kan optreden. Minder dynamische, smallere nevengeulen kunnen het best aangelegd worden in kleiige substraten, die laterale erosie vertragen, maar wel resulteren in steiloevers. Vanuit morfogenetisch oogpunt dienen nevengeulen op relatief korte afstand van het zomerbed aangelegd te worden. Dit kan gebeuren op de plaats van de jonge uiterwaardstrangen en rond voormalige eilanden. Langs de smallere sterk meanderende trajecten van de IJssel en Maaskant kunnen hiertoe dichtgeslibde nevengeulen in buitenbochten weer uitgegraven worden. Langs de IJssel zouden grote restgeulen weer als secundaire geul kunnen gaan fungeren. Meestromende nevengeulen die op grote afstand van het zomerbed langs de bandijk liggen hebben in het verleden nergens bestaan.

Omdat de stuwen de stroomsnelheid sterk vertragen zijn de Nederrijn-Lek en de Maas niet geschikt voor de ontwikkeling of herstel van nevengeulen. Indien het water stilstaat, hebben nevengeulen geen meerwaarde boven aangekoppelde strangen. Het aanleggen van nevengeulen die een stuw passeren is niet haalbaar, omdat het verval langs een stuw te groot is voor een nevengeul.

#### **Strangen (aangekoppeld, afgesloten, geïsoleerd, beekstrang, kronkelwaardgeulen en restgeulen)**

Een strang is in feite een restant van een voormalig deel van de rivierbedding, of van een geul die tussen de uiterwaard en een recente aanwas gelegen was. Afhankelijk van de afstand tussen de strang en het zomerbed, en de mate waarin een strang is dichtgesedimenteerd zijn verschillende typen onderscheiden. Het actief laten ontstaan van deze vormen langs de huidige rivieren is kansloos, omdat beddingmigratie met grootschalige actieve oevererosie essentieel is voor de voortgang van dit proces. In de huidige genormaliseerd en vastgelegde beddingen is dit niet mogelijk. Ontwikkeling van deze elementen zal daarom gericht moeten zijn op herstel van in het verleden gevormde strangen en geulen.

*Aangekoppelde strangen* zijn de meest dynamische. Ze zijn aan de stroomafwaartse zijde met de rivier verbonden, en blijven open omdat bij hoogwater de stroomsnelheden te groot zijn om er sediment in te laten bezinken. Bovendien liggen ze op die plaatsen waar het water tijdens een afvoergolf de uiterwaard weer *uitstroomt* en geen sediment achterlaat. Deze strangen waren typisch voor de uiterwaarden langs de Waal en de Heusdense Maas, maar kwamen ook sporadisch voor langs Nederrijn-Lek en IJssel. Herstel van aangekoppelde strangen is in principe overal mogelijk maar het meest kansrijk langs de Waal, en wel bij de benedenstroomse

---

delen van de diepe strangen die langs de bandijk liggen. De vorm en topografie van de uiterwaard dienen het stromingspatroon tijdens hoogwater zodanig te sturen dat op deze locaties voldoende hoge stroomsnelheden optreden.

*Afgesloten strangen* zijn minder dynamisch van karakter; ze bevinden zich op enige afstand van het zomerbed en zijn deels of geheel dichtgeslibd. In de referentieperiode kwam dit type strang het meeste voor langs de Midden Waal, en verder langs de overige Rijntakken en de Heusdense Maas. Herstel van afgesloten strangen is langs deze trajecten dan ook het meest kansrijk. Kenmerkend voor deze geulen is dat ze in de loop van de tijd dichtsedimenteren, en afhankelijk van de mate van dichtslibbing uit open water bestaan, of depressie vormen met moeras, zachthoutoibos, moerassig grasland of zelfs uiterwaardgrasland. Zowel in de ruimte als in de tijd treedt verandering op in de verdeling van deze ecotopen wanneer sedimentatie en vegetatiesuccessie doorgaan. In de huidige situatie zijn de meeste afgesloten strangen door dichtslibbing en begroeiing met productiegrasland slecht herkenbaar. Het in stand houden van dit type strang vraagt dan ook om een herhaaldelijk ingrijpen door vegetatie en sediment uit de strang te verwijderen, en vervolgens de successie van sedimentatie en vegetatieontwikkeling weer te laten beginnen – het principe van cyclische uiterwaardverjonging.

*Geïsoleerde strangen* liggen achter zomerkades en zijn daardoor laag dynamisch. Verlanding is een proces dat er vaker optreedt dan dichtslibbing. Hierdoor heeft zich in geïsoleerde strangen vaak waardevolle water- en oevervegetatie gevestigd, zoals langs de boven en midden Waal en gestuwde Nederrijn en Lek. Daarom kunnen geïsoleerde strangen beter behouden worden, terwijl verjonging in dichtgeslibde en met gras begroeide strangen goede kansen biedt op het verhogen van diversiteit.

*Restgeulen* zijn kenmerkend voor de meanderende trajecten waar verlaten beddingen liggen: Grensmaas, Roerdalslenkmaas, Maaskant Maas, Boven IJssel. Net als geïsoleerde strangen zijn restgeulen laagdynamisch en veelal kan er zich waardevolle water- en oevervegetatie in gevestigd hebben. Deze restgeulen dienen behouden te worden, restgeulen, die dichtgeslibt zijn (zoals bv langs de Boven IJssel) bieden kansen voor verjonging.

*Kronkelwaardgeulen* zijn genetisch gezien gekoppeld aan meanderende riviertrajecten: de Boven IJssel, Grensmaas, Roerdalslenkmaas en de Maaskant Maas. Kronkelwaardgeulen zullen in Nederland nooit meer nieuw ontstaan en behoud van de aardkundige waarden is van belang. Verjonging van kronkelwaardgeulen kan bestaan uit het verwijderen van de oeverafzettingen uit bestaande geulen, waardoor het kronkelwaardreliëf weer geaccentueerd wordt. Het vegetatiepatroon zal hiermee samenhangen: moeras en nat grasland in de geulen, en bos en stroomdalgrasland op de ruggen. Na verloop van de tijd zal er net als in de afgesloten strangen weer sediment in de geulen accumuleren.

*Beekstrangen* komen voor in trajecten waar vanaf hoger gelegen aangrenzende gebieden beken via stangen in het rivierdal uitmonden of kwelwater zorgt voor een permanente stroming van water in een strang. Dit ecotoop kwam voor aan de voet van de Veluwezoom langs de Boven IJssel, en bij de terrasranden langs de Grensmaas en Roerdalslenkmaas. Ontwikkeling van dit ecotoop is dus gebonden aan de aanwezigheid van langs de riviervlakte gelegen hogere gronden met beken of kwelwater, in combinatie met strangen in de riviervlakte. Behalve de genoemde trajecten

---

komen de Nederrijn en de zuidoever van de Waal bij de stuwwal van Nijmegen hiervoor ook in aanmerking. De aanvoer van water vanuit kwelzones kan kunstmatig versterkt worden door een kwelgebied op één strang te laten ontwateren, bijvoorbeeld met behulp van kaden.

### **Moerassen**

Moerassen zijn permanent natte laaggelegen delen van de uiterwaarden met riet, ruigte of verlangingsvegetaties. Onderscheiden worden rietmoeras, moerasruigte, riet- en biezenhorzen. Moerassen komen zowel binnen het rivierengebied als in het benedenrivierengebied voor. In de historische referentie kwamen moerassen langs de rivieren voor in diepe kronkelwaardgeulen, deels dichtgeslibde strangen en restgeulen, en aan de voet van terrasranden waar kwelwater uittrad. Voor moerasvorming mag de waterdiepte niet groter zijn dan 50-70 cm, wat inhoudt dat waterstandsfluctuaties ten opzichte van de mediane waterstand niet groter dan 50 cm zijn. Dit komt overeen met een verschil in P1-99 dagwaterstand van minder dan 3.5 m. Moerasvorming in geulen langs de rivieren is in de huidige omstandigheden kansrijk langs de Beneden Waal (benedenstrooms van Zaltbommel), Lek, Beneden IJssel, Afgedamde Maas, Bergse Maas en de Merwedde. Moerasvorming door kwelwater kan ontwikkeld worden langs de Noordoever van de Nederrijn en in mindere mate langs de Boven IJssel bij Dieren. Aan de voet van terrasranden langs de bovenstroomse Maastrajecten is kwelstroming vrijwel afwezig (door daling van de grondwaterstand) waardoor moerasvorming er niet mogelijk is.

Ook in geïsoleerde strangen en restgeulen is de ontwikkeling van moerasvegetatie kansrijk.

In het estuarium en benedenrivierengebied kwamen moerassen in de vorm van riet- en biezenhorzen voor bij getijgedomineerde waterstandsfluctuaties en voldoende ruimte. Deze situaties traden op waar de getijamplitude gemiddeld groter was dan ongeveer 60 cm ( $P_{95} > 80$  cm). De ontwikkeling van moerasige horzen in het huidige Noordelijk Deltabekken is kansrijk waar voldoende ruimte wordt gecreëerd bij voldoende getij. Op grond van getij lijkt dit vooral mogelijk langs de Oude Maas, Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg, Beneden Lek en Hollandse IJssel; de ruimte is in deze trajecten echter vaak beperkt. In het Hollandsch Diep – Haringvliet is voldoende ruimte aanwezig, maar hier is een spuiregime van de Haringvlietdam vereist dat hier een voldoende grote getijamplitude laat terugkeren.

### **Stroomdalgraslanden, oeverwallen en rivierduinen**

Stroomdalgraslanden komen voor op zandige, relatief hooggelegen oeverwallen en kronkelwaardruggen. Hoewel deze morfologische eenheden in de historische situatie werden aangetroffen langs bijna alle riviertrajecten, waren ze typerend voor de Maastrajecten (vooral Grensmaas en Roerdalslenkmaas) en de Beneden IJssel. Langs de Maastrajecten zijn de stroomdalgraslanden verdwenen door afzetting van slib en klei op de onderliggende zandige rivierafzettingen. Door afgraving zou daar verjonging van de stroomdalgraslanden kunnen plaatsvinden.

Hoge oeverwallen en kronkelwaardruggen kunnen alleen ontstaan bij een voldoende hoog specifiek stroomvermogen, en wanneer laterale geulmigratie mogelijk is (kronkelwaarden). Sorber (1997) toonde op basis van waarnemingen in de huidige situatie aan dat zandafzetting bij extreem hoogwater op riviertakniveau samenhangt met de breedte/diepte verhouding. Als gevolg van de relatief grote B/d verhouding van de Waal wordt hier meer zand afgezet dan op de oevers van de Nederrijn, IJssel en

---

Maas. Hierdoor zijn de Bovenrijn, Waal en Merwedes geschikt voor de ontwikkeling van oeverwalruigten en stroomdalgraslanden. Onderzoek van Maas *et al.* (2003) toont aan dat het zeer lang duurt (>100 jr) voordat stroomdalgraslanden zich volledig ontwikkeld hebben. Daarom is het zaak de bestaande stroomdalgraslanden langs de Nederrijn en IJssel te behouden.

Binnen een riviertraject blijkt de locatie van actieve oeverwalvorming door zandafzetting bij hoogwater af te hangen van het stromingspatroon over de uiterwaard: zandafzettingen ontstaan op de plaats waar het water vanuit de bedding de uiterwaard instroomt (Sorber 1997). In meanderende trajecten is dit vaak langs de binnenbocht. Niet alleen langs de Waal, maar ook langs de IJssel en Maas spelen deze processen een rol in het lokaal voorkomen van actieve oeverwalvorming. Door middel van ingrijpen in de uiterwaard topografie zijn de locaties waar dit proces optreedt te beïnvloeden. Dit kan onder andere door het verwijderen van zomerkades, waardoor de instroom in de uiterwaard groter wordt.

Voor de vorming van rivierduinen is een voldoende grote zandbron nodig in de vorm van een breed strand en een goede expositie t.o.v. de overheersend westelijke windrichting. Voldoende brede stranden zijn alleen aanwezig langs de Waal en Boven Merwede. Het Millingerduin is er een voorbeeld van. Gezien hun zeldzaamheid dienen het rivierduin de Bol langs de Lek en dat bij Veen langs de Afgedamde Maas behouden te worden

### **Ooibossen**

*Zachthout ooibos* kan tot ontwikkeling komen op standplaatsen die regelmatig overstromen. In historische tijd kwam zachthoutooibos langs alle bovenriviertrajecten voor, met inbegrip van de Merwedes. Het groeide in de eerste plaats op recente aanwassen en lage uiterwaarden. Deze plaatsen grensden aan het zomerbed, of lagen daar op korte afstand vandaan. Daarnaast kwam zachthoutooibos voor op lage delen van uiterwaarden, zoals dichtgeslibde strangen en nevengeulen, en in diepe kronkelwaardgeulen. Van nature is te verwachten dat zachthoutooibos over veel grotere delen van de riviervlakte voorkomt, maar in historische tijd zijn de bomen gerooid toen de uiterwaard voldoende hoog was opgeslibd, om plaats te maken voor grasland en akkers. In het benedenrivierengebied kwamen vloedbossen voor op de hogere gorzen van de trajecten waar het zoutgehalte nog geen beperking vormde: Merwedes, Hollandse Biesbosch, Hollandsch Diep en Oude Maas. Kansrijke plaatsen voor herstel van ooibos liggen langs alle riviertakken, met uitzondering van de brakwatergebieden in het westen. Binnen deze trajecten zijn (los van hydraulische aspecten) lage of verlaagde uiterwaardoppervlakken langs het zomerbed geschikte lokaties. Langs de Waal betreft dit specifiek de meest stroomafwaarts gelegen jongste delen van de uiterwaard. Daarnaast zijn vanuit historisch oogpunt depressies in de uiterwaard (inclusief voormalige kleiputten) geschikte plaatsen voor herstel van ooibos.

*Hardhout ooibos* is gebonden aan condities waarbij inundatie niet te vaak optreedt (< 50 dagen per jaar). Uit de historische gegevens blijkt dat hardhout ooibos voorkwam op oudere, hoge oeverwallen en relatief hooggelegen kronkelwaardruggen. Dit waren meestal de oudere delen van de riviervlakte, die niet alleen hoog opgeslibd waren, maar waar ook een vegetatiesuccessie tot hardhoutooibos had kunnen plaatsvinden. Deze omstandigheden komen voor langs de Grensmaas, Roerdalslenkmaas op de oudere kronkelwaarden en rivierterrassen, de brede hoge kronkelwaarden van de Boven IJssel, en de hoge oeverwallen langs de Beneden IJssel. Deze trajecten (behalve de tot Plassenmaas vergraven Roerdalslenkmaas) bieden

---

dan ook uitstekende kansen voor de ontwikkeling van hardhout ooibos. Net als bij stroomdalgraslanden duurt het ook bij hardhoutooibossen aanzienlijke tijd voordat het bos volledig ontwikkeld is. Bestaande hardhoutooibossen dienen daarom behouden te worden.

## 5.2 Discussie

Verskillende geomorfologische elementen of fysiotopen zijn gevormd door een rivier waarvan de bedding zich over perioden van decennia tot eeuwen geleidelijk lateraal en in benedenstroomse richting verplaatste. Hierdoor ontstonden meanders en het hiermee samenhangende patroon van kronkelwaardbanken, -ruggen en -geulen, oeverwallen en restgeulen van afgesneden meanders. Langs de Waal en de Nederrijn was de laterale migratie van meanders beperkt, wat leidde tot stroomafwaartse migratie, resulterend in stapsgewijze aanwassen die van elkaar gescheiden zijn door strangen.

De riviernormalisaties en de vaarwegverbeteringen hebben de randvoorwaarden van deze dynamische processen beperkt: de rivierbedding is omgevormd tot een zomerbed waarvan de oevers gefixeerd zijn, en waarvan de B/d verhouding kunstmatig is verkleind tot minder dan  $\frac{1}{4}$  van de waarde in historische tijd. Voor het kunnen laten ontstaan van banken zou de huidige B/d verhouding tenminste met een factor 2 vergroot moeten worden. Omdat we ervan uit moeten gaan dat deze veranderingen vanwege het belang van de overige rivierfuncties niet haalbaar zijn, is het onwaarschijnlijk dat ecotopen die het resultaat zijn van beddingmigratie, op- en aanwas in de bedding en kronkelwaardvorming nog kans hebben nieuw te ontstaan. Voorbeelden zijn: kronkelwaardgeulen langs de Boven IJssel en Maaskant, strangen langs de Waal, zandbanken in de Waal, eilanden en nevengeulen in de Lek, erosieve steiloevers langs de IJssel. In deze gevallen zal het niet mogelijk zijn deze fysiotopen te *ontwikkelen* in de zin dat de processen die hiermee samenhangen opnieuw de kans krijgen actief te worden. Wel kan getracht worden om rivierecotopen die vanwege de eisen voor veiligheid en scheepvaart niet in het zomerbed kunnen ontstaan, te ontwikkelen binnen bijvoorbeeld een gegraven nevengeul. Dit zou kunnen gebeuren door de geuldimensies en de ligging zo te kiezen dat binnen de nevengeul steiloevers en banken kunnen ontstaan. Echter, ook in het geval van nevengeulen worden o.a. met het oog op aanzanding van het zomerbed grenzen gesteld aan de maximale debieten door een nevengeul bij laagwater.

Wanneer natuurlijke ontwikkeling van fysiotopen en ecotopen niet mogelijk is kan ecologisch herstel gebeuren door het '*verjongen*' van in het verleden gevormde fysiotopen en ecotopen. Bij de genoemde voorbeelden gaat het dan om het verwijderen van sediment uit dichtgeslibde strangen en geulen. Hierbij zijn de locatie – zowel op trajectniveau als binnen een uiterwaard – van de ecotopen steeds in overeenstemming met de referentie. In geval van vegetatie betreft het hier het een paar stappen terugzetten van de vegetatie successie of landgebruiks successie (zie figuur 2.3 onderste helft), bijvoorbeeld door opgeslibd uiterwaardgrasland te verlagen tot een hoogte die geschikt is voor moeras of wilgenstruwelen.

Wanneer men het verjongen van een uiterwaard wil uitvoeren door de opgeslibde klei te verwijderen, is het belangrijk dat niet over de gehele uiterwaard dezelfde dikte aan klei verwijderd wordt. Uitgaande van de ontstaanswijze van de uiterwaarden langs bijvoorbeeld de Waal, zijn de uiterwaardruggen die het verst van het zomerbed liggen, en de meest



---

stroomopwaartse delen het oudst, en zijn de ruggen die daarnaast steeds dichter bij het zomerbed liggen steeds jonger. Op de oudste ruggen is het kleidek steeds het dikst geweest, terwijl de jongste aanwassen slechts uit zand bestonden. Deze ruimtelijke differentiatie in kleidikte dient bij verjonging (ontkleiing) in acht genomen te worden, om daarmee tevens de natuurlijke diversiteit in bodems te behouden.

Een derde vorm van herstel is het duurzaam nieuw *creëren* ('scheppen') van een fysiotoop op een plaats waar deze in het verleden weliswaar nooit gelegen heeft, maar wel binnen een traject waar het ecotoop op grond van de historische referentie thuishoort, en waar de rivierprocessen gunstig zijn voor duurzaam bestaan van het ecotoop. Beide aspecten van creëren (historische geomorfologisch op zijn plek en duurzaam) zijn van belang. Het zou bijvoorbeeld een nevengeul kunnen betreffen die aangelegd wordt binnen een traject waar nevengeulen kenmerkend zijn, maar ter plekke van een nieuw gegraven geul in het verleden geen nevengeul gelegen heeft. Deze nevengeul moet dan onder de huidige omstandigheden niet zeer snel verzanden, anders is er geen sprake van duurzaamheid.

Naast het herstel van ecotopen is het van belang te bedenken dat bepaalde ecotopen zich slechts hebben kunnen ontwikkelen doordat zij hiervoor decennia tot meer dan een eeuw de tijd hebben gehad. Het betreft hier bijvoorbeeld hardhoutoibos, maar ook stroomdalgraslanden op oude oeverwallen (Maas *et al.* 2003). Ook ecotopen in oude dichtgeslibde strangen of nevengeulen hebben een decennia lange periode van successie achter de rug. In deze gevallen is elke vorm van 'herstel' in feite een aantasting van het ecotoop, omdat het wellicht weer een eeuw zal duren alvorens deze 'climax' ecotopen weer bereikt zijn. In dit soort gevallen is het wellicht wenselijk de bestaande ecotopen ongemoeid te laten en te *behouden*.

In tabel 5.1 is voor de belangrijkste ecotopen aangegeven langs welke riviertrajecten potenties voor herstel aanwezig zijn. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen ontwikkelen, verjongen en creëren. De meest natuurlijke wijze van herstel is ontwikkelen (gebruik maken van huidige processen, zonder ingrepen), als dat niet mogelijk is volgt verjongen (herstel historische situatie, zelfde processen gaan weer werken), en tenslotte het creëren (duurzame nieuwvorming in traject waar dat historische past). Voor de trajecten waarvan de historisch-geomorfologische ontwikkeling niet in deze studie onderzocht is, is de kansrijkdom gebaseerd op literatuurgegevens (o.a. Koomen *et al.* (2000) voor de Maas; Middelkoop (1997), Wolfert (2001) en Hesselink (2002) voor de Waal; Hesselink (2002) voor de Lek) en op grond van geomorfologische overeenkomsten met de onderzochte deeltrajecten.

De kenmerkende ecotopen langs de Waal, IJssel, en Nederrijn/Lek zijn gerelateerd aan laterale migratie van de rivierbedding. Hier zal herstel voornamelijk door het verjongen van bestaande en vroegere ecotopen moeten gebeuren. Dit geldt met name voor het verwijderen van klei uit bestaande strangen, nevengeulen en kronkelwaardgeulen. Onder natuurlijke omstandigheden, wanneer de rivier door erosie haar eigen riviervlakte langs de eroderende oever geleidelijk opruimde en langs de andere oever weer liet aangroeien ontwikkelden deze ecotopen steeds opnieuw. In de huidige geharnaste rivieren zal steeds verjonging moeten plaatsvinden. Alleen rivierduinvorming is een proces dat nog op natuurlijke wijze tot ontwikkeling van het ecotoop kan leiden, afhankelijkheid van de oriëntatie ten opzichte van de wind, en de beschikbaarheid van zand uit

---

kribvakken. Ook de vorming van stroomdalgrasland, wat samenhangt met het ontstaan van oeverwallen, is een proces dat met name langs de Waal op natuurlijke wijze kan voortgaan.

Langs de kunstmatig aangelegde riviertrajecten, met name het Pannerdens Kanaal en de Bergse Maas zijn weinig potenties voor het ontwikkelen of herstellen van ecotopen. In feite kan hier niet meer gedaan worden dan het verlagen van de uiterwaard ten behoeve van de ontwikkeling van natte ecotopen of zachthoutbos, of het graven van een smalle diepe nevengeul. Deze laatste mag weer geen verstoring opleveren voor de morfologie van de hoofdgeul. Langs de gestuwde trajecten (Nederrijn, Maas) is over het algemeen de stroming dermate gering dat bijvoorbeeld nevengeulen geen meerwaarde hebben boven strangen. Bij extreem hoog water treden in deze trajecten wel hoge stroomsnelheden op, mogelijk in sterkere mate dan in de periode voor de dijkversterkingen van de laatste eeuw. Men zou geneigd kunnen zijn bij 'herstel' in te spelen op deze nieuw ontstane dynamische situatie; uit historisch-geomorfologisch oogpunt zou dit echter neerkomen op het creëren van 'gebiedsvreemde' ecotopen.

Opvallend is dat ontwikkeling voornamelijk mogelijk is in het geval van dynamische fysiotopen (zandbanken, duinen), en van vegetatie die van nature, zonder agrarisch gebruik ontstaat (zie figuur 3.2: rietmoerassen, zachthoutoobos, hardhoutoobos). In geval van minder dynamische fysiotopen (strangen) zal herstel voornamelijk door verjonging plaats moeten vinden. In de referentie periode kwamen hoge en ruwe fysiotopen / ecotopen dicht langs de bedding voor, waar de stroomsnelheden relatief hoog zijn: oeverwallen en zachthoutbos op recente aanwassen. Met het oog op het streven vanuit veiligheidsoverweging naar verruiming van het doorstroomprofiel en het verlaging van de ruwheid is het bovendien opvallend dat fysiotopen en ecotopen die door middel van ontwikkeling hersteld kunnen worden juist het profiel verkleinen (ondiepte zomerbed, hoge oevers) of het winterbed verruimen (ruigten, bos). Maatregelen van verjonging (o.a. verlagen uiterwaard, uitgraven strang) leveren meestal in eerste instantie juist wel verruiming en afname van de ruwheid op.

Tabel 5.1

Kwalitatieve indicatie voor kansrijkdom van fysiotopen en ecotopen binnen de riviertrajecten. Per ecotoop is aangegeven of deze hersteld kan worden door natuurlijke ontwikkeling, door verjonging of door duurzame creatie. Aangenomen is dat door aangepast spuiregime van de Haringvlietsluizen de getijbeweging in Benedenriviereengebied deels hersteld kan worden, evenals een meer natuurlijke zout-zoet gradiënt.

Traject	Slikken, zandplaten	Zand- of grindbanken	dynamische eilanden	Ondiepe brede nevengeulen	Diepe smalle nevengeulen	Aangekoppelde strangen	Afgesloten strangen	geïsoleerde strangen	Restgeulen	Kronkelwaardgeulen	Beekstrangen	Riet- en biezenkorzen	Rietmoeras / moerasruigte*	riverduin	Oeverwalruigte	Stroomdalgrasland	Zachthoutoobos / vloedbos	Hardhoutoobos
Boven Maas																		
Grensmaas																		
Plassenmaas																		
Peelhorstmaas																		
Venlosenk-maas																		
Maaskant maas																		
Beneden Maas																		
Afgedamde Maas																		
Bergse Maas																		
Boven Rijn																		
Boven Waal																		
Midden Waal																		
Beneden Waal																		
Pannerdensch Kanaal																		
Gestuwde Nederrijn / Lek																		
Beneden Lek																		
Boven IJssel																		
Midden IJssel																		
Sallandse IJssel																		
Beneden IJssel																		
Oude Maas																		
Nieuwe Maas/Waterweg																		
Merwedens																		
Biesbosch / Amer																		
Hollandsch Diep																		
Haringvliet																		

\* Uitgezonderd moeras in geïsoleerde strangen en restgeulen.

- = **Natuurlijke ontwikkeling**: Maatregelen zijn mogelijk waardoor natuurlijke processen de ecotopen laten ontstaan.
- = **Verjongen**: Terugbrengen van in het verleden gevormde fysiotopen; terugzetten van de morfologische ontwikkeling.
- = **Duurzaam creëren**: creëren van ecotopen die passen bij de heersende processen en de historie van het riviertraject.
- = **Behouden**: Behoud van een in het verleden ontstaan ecotoop dat kan niet opnieuw gerealiseerd kan worden.
- = Creatie is niet duurzaam of niet passend bij riviertraject.

---

---

## 6 Conclusies en aanbevelingen

---

### Methode

Bij de toekomstige inrichting van het rivierengebied hebben we te maken met verschillende functies, die alle aanspraak maken op de schaarse ruimte binnen het rivierengebied. Dit vereist dat voor alle functies steeds nagegaan moet worden of en op welke plaatsen ze het best behouden of ontwikkeld kunnen worden. Ook ten behoeve van ecologisch herstel van de rivieren is het belangrijk de beleidsdoelstellingen en de inrichtings- en beheersmaatregelen te differentiëren voor de verschillende riviertrajecten. Dit biedt de gelegenheid in te spelen op de mogelijkheden die de geomorfologie en rivierkundige en landschapsecologische processen bieden voor een succesvolle realisatie van het beleid. Dit kan door het bestaande geomorfologische patroon als 'sjabloon' te laten fungeren bij de ontwikkeling van fysiotopten, en waar mogelijk de geomorfologische en landschapsecologische processen in te zetten bij het ontwikkelen of het in stand houden van fysiotopten en ecotopten. Hierdoor zullen de maatregelen voor herstel aansluiten bij de in het verleden ontstane ruimtelijke differentiatie binnen het rivierengebied.

In het project 'Geomorfologische geschiktheid ecotopten' is getracht een bijdrage te leveren aan de invulling en onderbouwing van deze ruimtelijke differentiatie bij het ecologisch herstel op basis van de verschillen in historisch-geomorfologische ontwikkeling van de rivieren. Het uitgangspunt was hierbij dat de situatie (geomorfologie, processen en ecotoptenverdeling) in het midden van de 19<sup>e</sup> eeuw als referentie dient.

De in dit project gevolgde aanpak heeft geresulteerd in een kwantitatieve karakterisering van de verschillen in geomorfologische ontwikkeling en processen, morfodynamiek en hydrodynamiek, en de hiermee samenhangende ecotoptenverdeling binnen verschillende riviertrajecten in Nederland voor de 19<sup>e</sup>-eeuwse referentieperiode. Deze verschillen hangen samen met de positie van de trajecten langs de longitudinale gradiënt (middenloop in dal, laagland rivier, benedenrivier met getij-invloed), gradiënt, sedimentlast en -korrelgrootte, debiet (stroomvermogen), oeverstabiliteit, invloed van de zee en getij, en ingrepen door de mens. Dit heeft geleid tot een ruimtelijke differentiatie in geomorfologische patronen van de riviervlakte, uiterwaard of intergetijdezone, in geuldimensies van het laagwaterbed, en in actieve geomorfologische processen in de rivier.

Door de voor de referentie periode afgeleide relaties tussen geomorfologie, processen en ecotoptenverdeling binnen de riviertrajecten te confronteren met de huidige geomorfologische patronen en processen in deze trajecten is het mogelijk om op de schaal van riviertrajecten aan te geven

- op welke plaatsen verschillende fysiotopten en ecotopten kansrijk zijn;
- langs welke trajecten veel en langs welke weinig potenties zijn voor het herstellen of ontwikkelen van rivierecotopten;
- wat de belangrijkste huidige beperkingen zijn voor de ontwikkeling van (natuurlijke) rivierecotopten;
- met welke maatregelen ecotopten hersteld of ontwikkeld kunnen worden.

---

De gehanteerde parameters voor de classificatie van trajecten naar morfodynamiek (B/d verhouding, specifiek stroomvermogen, Shields parameter) geven een goed onderscheid in het eroderend vermogen binnen verschillende riviertrajecten, het vermogen om bedding sediment te transporteren, of de mate waarin banken of eilanden in de bedding kunnen ontstaan (figuren 4.3 en 4.4). De classificatie op basis van de amplitudes van dagelijkse waterstanden en getijbeweging, en de verhoudingen tussen getij- en rivierwatervolumina geeft goed inzicht in de relatieve zee- en rivierinvloed binnen het benedenriviereengebied (figuren 4.5, 4.5 en 4.7). Beide classificaties laten niet alleen de ruimtelijke verschillen tussen de trajecten zien, maar tonen ook in welk opzicht de randvoorwaarden voor de ecotopen in de huidige situatie veranderd zijn ten opzichten van het midden van de 19<sup>e</sup> eeuw (vergelijk figuur 4.3 met 5.1, 5.3, en 5.5).

### Resultaten

De in deze studie gekozen referentiesituatie rond 1850 representeert een periode waarin de rivieren en uiterwaarden al grotendeels hun huidige morfologie ontwikkeld hadden, maar voordat de mens grootschalige ingrepen deed. Ook rond 1850 had de mens al grote invloed op de rivieren. In het verleden waren bochten afgesneden, de afvoerverdeling over de Rijntakken was kunstmatig vastgelegd, sommige oevers waren beschermd, en veel uiterwaarden waren met zomerkades beschermd. De uiterwaarden waren grotendeels in gebruik als grienden, grasland, en lokaal zelfs als akker en boomgaard. Daarmee weerspiegelt deze referentie dus niet een geheel natuurlijk riviersysteem, maar wel een relatief dynamisch systeem, waarvoor de grootschalige randvoorwaarden door de mens beïnvloed waren, en waarvan de overstromingsvlakten benut werden voor extensief agrarisch gebruik. Omdat de rivieren in het algemeen echter nog een hoge mate van dynamiek kenden, en het landgebruik in de uiterwaarden een min of meer natuurlijke samenhang vertoonde met de morfologische ontwikkeling ervan is deze periode juist geschikt als referentie voor herstel van de huidige rivieren, waarin de mens blijvend zal ingrijpen. De verdeling van ecotopen binnen de onderzochte riviertrajecten in de referentieperiode is weergegeven in figuur 4.1.

Langs de meeste trajecten waren rond 1850 als gevolg van ingrijpen door de mens de hydraulische condities en de morfologische kenmerken van de bedding veranderd ten opzichte van de voorliggende eeuwen waarin het geomorfologische patroon van het winterbed ontstaan was. Dat betekent dat ook in 1850 op verschillende plaatsen de morfologie niet meer in overeenstemming was met de heersende rivierkundige condities, zoals debiet of breedte/diepte verhouding van de bedding. Dit heeft als consequentie dat de ruimtelijke verdeling van de ecotopen in de 19<sup>e</sup> eeuw zowel bepaald was door de toen heersende hydro- en morfodynamische condities als door het in de voorafgaande periode ontstane morfologische patroon. Dit houdt in dat de differentiatie in ontwikkeling en herstel van ecotopen langs de riviertrajecten gebaseerd kan zijn op zowel het geomorfologische patroon als de toen heersende processen.

Grootschalige ingrepen vanaf eind 19<sup>e</sup> eeuw hebben morfodynamiek van de riviertrajecten sterk veranderd, wat op de meeste plaatsen grote beperkingen heeft opgeleverd voor de ontwikkeling van ecotopen. Belangrijkste zijn:

- Normalisatie zomerbed en vaarwegverbeteringen: B/d verhouding gereduceerd tot ¼ of minder.
- Oevers beschermd met kribben en beschoeiing, waardoor oevererosie en laterale migratie van de geul niet meer optreden.

- Stuwen van de Maas en Nederrijn: hierdoor zijn de waterstandsfluctuaties sterk verkleind en treden alleen bij extreem hoge debieten nog grote stroomselheden op.
- Afsluiten van het Haringvliet: hierdoor is in de zuidelijke takken van het Benedenrivierengebied een zoetwaterbekken ontstaan met een zeer sterk gereduceerde getijwerking.

Deze ingrepen hebben geleid tot een nivellering van de verschillen in morfodynamiek tussen de trajecten. De afgenomen B/d verhouding heeft de vorming van eilanden en vrije banken in de rivierbedding vrijwel geheel onmogelijk gemaakt. Doordat de positie van de rivierbedding door de mens gefixeerd is, kunnen fysiotope en ecotopen die ontstaan als gevolg van laterale beddingmigratie (o.a. kronkelwaarden, strangen) niet meer gevormd worden.

Bij het ecologisch herstel op basis van de historisch-morfologische referentie kan onderscheid gemaakt worden tussen drie typen ingrepen, die elk betrekking hebben op verschillende ecotopen en riviertrajecten. Dit zijn in afnemende mate van natuurlijkheid:

- Ontwikkeling: de fysiotoop die de basis vormt voor het ecotoop kan op natuurlijke wijze ontstaan als resultaat van (herstelde) rivierprocessen (voorbeeld: ontstaan zandbank en ondiepe nevengeul in het zomerbed).
- Verjonging: waar natuurlijke ontwikkeling niet haalbaar is 'terugdraaien in de tijd' van de ontwikkeling van een in het verleden gevormd ecotoop (voorbeeld: uitgraven dichtgeslibde nevengeul).
- Duurzame creatie: kunstmatig aanleggen van fysiotoop op een locatie waar deze nooit bestaan heeft, maar binnen een traject waar deze op grond van geomorfologie en processen wel thuis hoort (voorbeeld: graven nevengeul door een uiterwaard) en onder de huidige omstandigheden duurzaam kan bestaan.

Daarnaast bestaan er ook ecotopen die juist pas na zeer lang tijd (in de orden van een eeuw of langer) ontstaan zijn, zoals hardhoutoibos, stroomdalgraslanden, of dichtgeslibde geulen en kolken. Herstel van deze ecotopen door ingrijpen (uit- of afgraven) is in feite niet mogelijk, en ze dienen daarom ongemoeid gelaten te worden. In deze gevallen is herstel alleen mogelijk door *ontwikkeling*.

Trajecten waar werkelijk *ontwikkeling* van fysiotope en ecotopen nog mogelijk is zijn:

- Grensmaas: zand- en grindbanken, erosieve steiloevers, kronkelwaardbanken
- Rijntakken: dynamische oeverzones: oeverwalvorming, rivierduinen.
- Hollandsch Diep – Haringvliet (na gedeeltelijk herstel getijbeweging): slikken, gorzen, platen

In het geval van ecotopen die gekoppeld zijn aan beddingmigratie zal herstel vooral door *verjonging* van bestaande fysiotope moeten gebeuren. Het betreft met name de aan nevengeulen en strangen gerelateerde ecotopen (dynamische of geïsoleerde strangen, moerassen, grienden, natte uiterwaardgraslanden). Het gaat hierbij in veel gevallen om het verwijderen van de kleilagen die het resultaat van opslibbing zijn. Omdat na verloop van tijd de morfologische ontwikkeling (ophoging door sedimentatie) en vegetatie ontwikkeling weer tot min of meer de uitgangssituatie zullen leiden, zullen ingrepen van 'verjongen' regelmatig ('cyclisch') herhaald moeten worden.

Als alternatief voor ontwikkeling van ecotopen in de hoofdgeul, zouden deze binnen een nieuw aangelegde nevengeul ontwikkeld kunnen worden. De geul dient dan zodanig aangelegd te worden dat de rivierkundige

---

kenmerken van deze nevengeulen gunstig zijn voor de ontwikkeling van o.a. steiloevers, en zand- en grindbanken (B/d groter dan 40 of 100; Shields parameter bij geulvullende afvoer > 0.05; geen kunstmatige oeverbescherming).

Herstel van vegetatietypen die zonder ingrijpen door de mens binnen de uiterwaarden zouden ontstaan, zoals ooibossen, kan zowel door ontwikkeling plaatsvinden als door verjonging. In het laatste geval wordt eerst de morfologische ontwikkeling 'teruggezet' (verjonging: uiterwaard verlaagd, geul uitgegraven), alvorens weer vegetatiesuccessie (ontwikkeling) kan plaatsvinden.

### **Beperkingen van de resultaten**

Het karakter van het onderzoek, waarin de historische situatie in de eerste helft van de 19<sup>e</sup> eeuw als referentie te gebruiken voor een analyse op de schaal van riviertrajecten brengt echter een aantal beperkingen met zich mee:

- Ondanks dat gedetailleerde rivierkaarten, en kwantitatieve gegevens omtrent hydraulica en morfologie voor de 19<sup>e</sup>-eeuwse referentieperiode ter beschikking stonden, hebben de analyse en interpretatie op een relatief hoog schaalniveau plaatsgevonden, waarbij is geaggregeerd in ruimtelijke zin (naar het niveau van riviertrajecten) en soms ook in ecologische zin (ecotopen geaggregeerd tot groepen). Daardoor kan op basis van deze studie in sommige gevallen in kwantitatieve zin uitspraak gedaan worden omtrent de geomorfologische en ecologische randvoorwaarden voor ecotopen, terwijl in andere gevallen slechts een kwalitatieve indicatie gegeven kan worden omtrent deze randvoorwaarden.
- Het bleek bij het opstellen van de historische referentie niet overal en voor alle ecotopen mogelijk om tot op het laagste niveau in de indeling van ecotopen uit het RES onderscheid te maken. Dit betekent dat sommige ecologisch verschillende ecotopen in de analyse soms noodgedwongen geaggregeerd zijn binnen één eenheid. Voorbeelden van deze ecologische aggregatie zijn: riet- en biezengorzen, moerassige uiterwaard/ vloedbossen/grienden langs de benedenrivieren.
- De rivierparameters waarop de classificatie naar morfodynamiek en hydrodynamiek is gebaseerd hebben betrekking op trajecten als geheel. Zij reflecteren de afhankelijkheid tussen ondergrond, waterstroming, sedimenttransport en de hieruit voortvloeiende morfologie van rivieren, en blijken geschikt om de geomorfologische verschillen tussen de trajecten van de Rijn- en Maastakken te karakteriseren. Ze geven echter geen directe informatie over de *lokale* omstandigheden van de geomorfologische en ecologische processen. Het is niet mogelijk om met deze parameters op uiterwaarniveau of langs een gradiënt loodrecht op de rivier de morfo- en hydrodynamiek kwantitatief te voorspellen. Daarom bieden de gehanteerde parameters geen één-op-één relatie tussen deze geomorfologische en ecologische randvoorwaarden en ecotoop. Omdat de parameters wel samenhangen met het algemene geomorfologische patroon en de dominante rivierprocessen, kan voor de riviertrajecten echter wel aangegeven worden in hoeverre hierbinnen kansen zijn voor de ontwikkeling of herstel van verschillende ecotopen.

Deze studie biedt daarom dan ook beleidsrichtlijnen voor het formuleren van natuurdoelen op de ruimtelijke schaal van riviertrajecten in termen van kansrijkdom voor ecotopen, en biedt slechts in beperkte mate richtlijnen voor ecologisch herstel op uiterwaarniveau. Dit laatste is juist uitgewerkt in



---

de Richtlijnen voor inrichting en beheer van uiterwaarden (Wolters *et al.*, 2001).

#### **Eindconclusies**

De resultaten onderbouwen de stelling dat er bij het ecologisch herstel van de grote rivieren en het benedenrivierengebied *differentiatie* nodig is op *rivertrajectniveau*. Hiervoor zijn twee hoofdargumenten:

(1) Er bestaat van nature een ruimtelijke differentiatie in morfologische patroon: dit vereist een natuurlijke en landschappelijke inbedding van gebiedseigen maatregelen, aangezien anders geen landschappelijk (en grootschalig ecologisch – binnen riviercontinuum) *herstel* plaatsvindt, maar technisch-rivierkundige kunstmatige *aanleg* van gebiedsvreemde elementen.

(2) Het vergroot de kansen op een duurzame instandhouding van fysiotopten en ecotopten. Dit is mogelijk door steeds na te gaan welke morfologische en hydrologische randvoorwaarden binnen een traject herstel van een fysiotoop/ecotoop mogelijk maken zonder dat voortdurend ingegrepen dient te worden. Op rivertrajectniveau kan deze differentiatie op basis van historisch-geomorfologisch onderzoek gemaakt worden.

Om deze differentiatie te bereiken is het wenselijk dat bij planvorming voor herinrichting van het rivierengebied op twee ruimtelijke schaalniveaus gewerkt wordt. Eerste dient op trajectniveau in een longitudinale gradiënt langs de rivieren vastgesteld worden welke ecotopten ontwikkeld, verjongd of gecreëerd kunnen worden. Tabel 5.1 dient hiervoor als basis. Daarna kunnen plannen uitgewerkt worden voor locatie van te ontwikkelen ecotopten binnen een rivertraject, op uiterwaardniveau en langs gradiënt loodrecht op de rivier - zoals volgens de richtlijnen in Wolters *et al.* (2001).

---

---

## Literatuur

---

- Amoros, C., A.K. Roux, J.L. Reygrobellet, J.P. Bravard & G. Pautou (1987), A method for applied ecological studies of fluvial hydrosystems. *Regulated Rivers: Research & Management* 1: 17-36.
- Berendsen, H.J.A. (1996), Fysisch-geografisch onderzoek. Thema's en methoden. Van Gorkum, Assen.
- Brinke, W.B.M. ten (1997), De bodemsamnestelling van Waal en IJssel in de jaren 1966, 1976, 1984 en 1995. Lelystad/Arnhem, RIZA rapport 97.009
- Coops, H. & N. Geilen (1996), Oeverplanten. Over eigenschappen en toepassingen in het waterbeheer. RIZA nota 96.001. RIZA, Lelystad.
- Haring, J. (1977), De geschiedenis van de ontwikkeling van de waterbeweging en het profiel van de rivieren in het Noordelijk Deltabekken over de perioden 1870-1970-1976. Deel I - de periode 1870-1970. Nota nummer 44.011.02. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Zuidwest, Den Haag.
- Hesselink, A.W. (2002), History makes a river. Morphological changes and human interference in the river Rhine, The Netherlands. Proefschrift Departement Fysische Geografie, Universiteit Utrecht. Nederlandse Geografische Studies 292.
- Hesselink, A.W. (1998), Ontwikkeling van de uiterwaarden langs de Lek vanaf de 16e eeuw tot heden. ICG-rapport 98/7. Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Geografie, Utrecht.
- Koomen, A.J.M., G.J. Maas & H.P. Wolfert (2000), Geomorfologische kansrijkdom Maas. Alterra, Wageningen.
- Lambeek, J.J.P & E. Mosselman (1998), Huidige en historische rivierkundige parameters van de Nederlandse Rijntakken. Verslag bureaustudie. WL rapport Q2382. WL, Delft.
- Lely, C. (1890), Rivieren en rivierwerken. Waterbouwkunde tweede deel, afdeling XI. Gebr. De Cleef, 's Gravenhage.
- Lorenz, C.M., G.M. van Dijk, A.G.M. van Hattum & W.P. Cofino (1997), Concepts in river ecology: implications for indicator development. *Regulated Rivers: Research & Management* 13: 501-516.
- Maas, G.J., H.P. Wolfert, M.M. Schoor & H. Middelkoop (1997), Classificatie van riviertrajecten en kansrijkdom voor ecotopen. een voorbeeldstudie vanuit geomorfologisch-historisch perspectief. SC-DLO / RIZA, Wageningen - Arnhem.
- Maas, G.J. (1998), Benedenrivier-Ecotopen-Stelsels; herziening van de ecotopen indeling Biesbosch-Voordelta en afstemming met het Rivier-Ecotopen-Stelsel en de voorlopige indeling voor de zoute delta. RWES rapport 3. DLO-Staring Centrum / RIZA, Wageningen / Arnhem.
- Maas, G.J. (2000), Historische geomorfologie Maas en Benedenrivieren: Oude Maas, Merwede-Biesbosch, Afgedamde Maas en Maaskant. Alterra rapport 075. Alterra, Wageningen.
- Maas, G.J. (2002), Historische ecotopen en morfologische processen rivieren. Haringvliet-Hollandsch Diep, Roerdalslenkmaas en Grensmaas. Alterra rapport 505. Alterra, Wageningen.
- Maas, G.J., Makaske, A., Hommel, P.W.F.M., Nijhof, B.S.J., Wolfert, H.P., (2003), Verstoring en successie: rivierdynamiek en stroomdalvegetaties in de uiterwaarden van de Rijntakken. Rapport 759, Alterra, Wageningen.

- Middelkoop, H. & A. Kroon (1999), Analyse historische waterstanden Maas – Benedenrivierengebied. ICG rapport 99/9. Departement Fysische Geografie UU, Utrecht.
- Middelkoop, H. & B.G. Ruessink (2000), Analyse historische waterstanden Maas – Benedenrivierengebied II. ICG rapport 00/8. Departement Fysische Geografie UU, Utrecht.
- Middelkoop, H. (2001), Morfologische karakterisatie van het Nederlandse benedenrivierengebied. Verkenning van parameters. ICG rapport 01/5. Departement Fysische Geografie UU, Utrecht.
- Rademakers, J. & Wolfert, H.P. (1994), Het Rivier-Ecotopen-Stelsel: Een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied. Publicaties en rapporten van het project 'Ecologisch herstel Rijn en Maas' 61. RIZA, Lelystad.
- Rademakers, J.G.M., G.B.M. Pedroli & L.H.M. van Herk (1996), Een stroom natuur: natuurstreefbeelden voor Rijn en Maas, Achtergronddocument A. RIZA Werkdocument 95.172X. RIZA, Lelystad.
- Schoor, M.M., H.P. Wolfert, G.J. Maas, H. Middelkoop & J. Lambeek (1999), Potential for floodplain rehabilitation based on historical maps and present-day processes along the River Rhine, The Netherlands. In: S.B. Marriott & J. Alexander (eds), Floodplains: Interdisciplinary Approaches. Geological Society, London, Special Publications, 163: 123-137.
- Schoor, M.M., & E. Stouthamer (2003), Ecomorfologische kartering van de Rijntakken in Nederland. Arnhem/Lelystad, RIZA rapport 2003.009.
- Schoor, M.M., R. van der Veen & E. Stouthamer (in voorbereiding). Historische rivierkundige parameters; Maas, Merwede, Hollandsch Diep en Haringvliet. RIZA-werkdocument 2003.163x, RIZA, Arnhem.
- Simons H.E.J., A.J.M. Koomen & P. Jesse (2002), Streefbeeld Natuur Rijn-Maasmonding. Streefbeeld op basis van geomorfologische kansrijdom en ecologische netwerken binnen de BPN-begrenzing. RIZA werkdocument 2002.024x. RIZA, Arnhem.
- Sorber, A. & G. De Vaan (1995), Ruimtelijke variatie van de sedimentaire structuur en textuur van de bedding van de Grensmaas (Stuw Borgharen, km 15.5 - Maaseik, km 52.7). Vakgroep Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, Rapport ICG 95/3.
- Sorber, A. (1997), Oeversedimentatie tijdens de hoogwaters van 1993/94 en 1995. RIZA rapport 97.015. RIZA, Lelystad.
- Staatscommissie (1920), Verslag van de staatscommissie [...] met opdracht een onderzoek in te stellen omtrent de oorzaken van de buitengewoon hoge waterstanden [...] op den Rotterdamschen Waterweg. Van Langenhuysen, 's Gravenhage. STIBOKA (1964-), Bodemkaart van Nederland Schaal 1:50.000. Toelichting bij de bladen 52, 58, 59 en 60. STIBOKA, Wageningen.
- Struiksma, N., K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. Journal of Hydraulic Research 23: 57-79.
- Van den Berg, J.H. (1995), Prediction of alluvial channel patterns of perennial rivers. Geomorphology 12: 259-279.
- Van den Broek, J.M.M. & H.W. van Marel (1964), De alluviale gronden van de Maas, de Roer en de Geul in Limburg. Wageningen, Mededelingen van de Stichting voor Bodemkartering. Bodemkundige studies 7.
- Van der Kun, L.J.A. (1849), Registers I, II en III, bevattende de beschrijving van de peilschalen, hakkelbouden en andere verkenningen, langs de rivieren de Boven-Rijn, de Waal en de Merwede, Van Emmerik tot Gorinchem.

- 
- Van der Kun, L.J.A. (1854), Tabellen van hoogste, laagste en gemiddelde standen der oppervlakte van het water in de rivieren de Waal, Merwede, volgens de dagelijksche waarnemingen aan de peilschalen te Hulhuizen, Nijmegen Tiel, Bommel, Gorinchem en Dordrecht 1-1-1772 t/m 31-12-1856, herleid tot AP. Bijlagen III, IV en V bij Van der Kun (1849): Registers I, II en III.
- Van Splunder, I (1998), Floodplain forest recovery. Softwood forest development in relation to hydrology, riverbank morphology and management. Proefschrift. KUN, Nijmegen.
- Vriend, H.J. de & N. Struiksma (1983), Flow and bed deformation in river bends. In: C.M. Elliott, (ed), River meandering, Proc. Conf. Rivers, 1983, New Orleans. ASCE: 810-828.
- Wolfert, H.P. (1992), Geomorphological differences between river reaches; differences in nature rehabilitation potentials. In: Contributions to the European Workshop Ecological Rehabilitation of Floodplains, Arnhem, The Netherlands, 22-24 September 1992. CHR Report II-6, CHR, Lelystad, pp. 137-144.
- Wolfert, H.P., 1998. Geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen in de riviertrajecten van de Rijntakken. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 621.
- Wolfert, H.P. (2001) Embanked river reaches in the River Rhine depositional zone – II. Rehabilitation planning. In Wolfert, H.P., Geomorphological Change and River Rehabilitation: Case Studies on Lowland Fluvial Systems in the Netherlands. Scientific Publications 6, Alterra Green World Research, Wageningen. pp. 153-175.
- Wolfert, H.P., Schoor, M.M., Maas, G.J., Middelkoop, H., 2001. Embanked river reaches in the River Rhine depositional zone – I. Historical geomorphology. In: Wolfert, H.P., Geomorphological Change and River Rehabilitation: Case Studies on Lowland Fluvial Systems in the Netherlands. Scientific Publications 6, Alterra Green World Research, Wageningen. pp. 127-152.
- Wolters, H.A., M. Platteeuw & M.M. Schoor (eds.) (2001), Guidelines for rehabilitation and management of floodplains. RIZA report 2001.059. NCR-publication 09-2001. RIZA, Lelystad.
- Wolters-Noordhoff Atlasproducties (red.) (1990), Grote Historische Atlas van Nederland 1:50.000. Band 3 Oost-Nederland 1830-1855. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Zonneveld. I.S. (1960), De Brabantsche Biesbosch. Een studie van bodem en vegetatie van een zoetwater getijdedelta. Bodemkundige studies 4. STIBOKA, Wageningen.

---

## Bijlage 1 Overzicht van in deze studie gebruikte gegevens per traject

<b>Grensmaas</b>	
<b>Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1849-1856), Kaart van de rivier de Bovenmaas van Visé tot Woudrichem, schaal 1:10.000; bladen Reckheim (3) en Stein (4) (1846-1847). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>• Rijkswaterstaat 1896. Rivierkaart Maas 1e en 2e gedeelte, 1e herziening, serie, 4+5 schaal 1:10.000, bladen 5 (Berg) en 6 (Maaseijk). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>• Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 - STIBOKA.</li> <li>• Van den Broek &amp; van Marel. (1964)</li> <li>• Top-10 hoogtepuntenbestand periode 1950-1970</li> <li>• Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) 1998</li> </ul>	
<b>Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1896), Rivierkaart Maas 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> gedeelte, 1<sup>e</sup> herziening, serie, 4+5 schaal 1:10.000, bladen 5 (Berg) en 6 (Maaseijk). Archief Topografische Dienst Emmen</li> <li>• Grevenbicht; 8-uur waterstanden dagelijks; 1874-1899</li> <li>• Grevenbicht; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>• SOBEEK schematisatie Maas - RIZA</li> <li>• Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> <li>• Sorber &amp; De Vaan (1995), Sorber 1997</li> </ul>	
<b>Roerdalslenkmaas</b>	
<b>Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1849-1856), Kaart van de rivier de Bovenmaas van Visé tot Woudrichem, schaal 1:10.000; bladen Horn (10) en Neer (11) (1849).</li> <li>• Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 - STIBOKA.</li> <li>• Van den Broek <i>et al.</i> (1964)</li> <li>• Rijkswaterstaat 1903. Rivierkaart Maas 1e en 2e gedeelte, 1e herziening, serie 4+5, schaal 1:10.000, blad 9 (Horn). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>• Top-10 hoogtepuntenbestand periode 1950-1970</li> <li>• Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) 1998</li> </ul>	
<b>Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1903), Rivierkaart Maas 1e en 2e gedeelte, 1e herziening, serie 4+5, schaal 1:10.000, blad 9 (Horn). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>• Roermond; 8-uur waterstanden dagelijks; 1854-1863</li> <li>• Roermond Boven; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>• SOBEEK schematisatie Maas - RIZA</li> <li>• Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>	
<b>Maaskantmaas</b>	
<b>Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1849-1856), Kaart van de rivier de Bovenmaas van Visé tot Woudrichem, schaal 1:10.000; bladen Horn (10) en Neer (11) (1849).</li> </ul>	
<b>Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijkswaterstaat (1898), Rivierkaart Maas 1e en 2e gedeelte, 1e herziening, serie 4+5 schaal 1:100.000, blad 21 Grave. Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>• Grave; 8-uur waterstanden dagelijks; 1840-1849</li> <li>• Grave Boven; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>• SOBEEK schematisatie Maas - RIZA</li> <li>• Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>	

<b>Heusdense Maas</b>
Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rijkswaterstaat (1849-1855), Kaart van de rivieren De Boven Maas, van Visé tot Woudrichem. Schaal 1:10.000 (34 bladen). Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rijkswaterstaat (1884), Rivierkaart Maas 1e en 2e gedeelte, 1e herziening, serie 4+5 schaal 1:100.000, blad 34 Wijk. Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>Heusden/Heesbeen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1826-1849</li> <li>Heesbeen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>SOBEK schematisatie Maas - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>
<b>Boven IJssel</b>
Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan (1840-1843), Kaart van de rivier de IJssel. Schaal 1:10.000. Bladen 1 - 6. Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beijerinck M. (1771), Kaart van de rivier de Yssel [...]. Rijks Archief Gelderland, Archief Rekenkamer k77, inv, nr 1203</li> <li>Beijerinck M. (1776a), Kaart vertonende den loop van de rivier de IJssel [...]. RAG Rekenkamer k81, inv, nr. 1219</li> <li>Beijerinck M. (1776b), Plan van den rivier den IJssel tegen en beneden den Bahrse rijswaard [...]. RAG, rekenkamer k83, inv.nr. 1203</li> <li>Doesburg; 8-uur waterstanden dagelijks; 1840-1849</li> <li>Doesburg; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>Van der Kun, (1949)</li> <li>Van der Kun (1854)</li> <li>Lely (1890)</li> <li>SOBEK berekeningen gereconstrueerde schematisatie IJssel 18e eeuw</li> <li>SOBEK schematisatie IJssel - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes: ten Brinke, 1997</li> <li>Korrelgroottegegevens Boorarchief Departement Fysische Geografie UU</li> </ul>
<b>Beneden IJssel</b>
Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan (1840-1843). Kaart van de rivier de IJssel. Schaal 1:10.000. Bladen 1 - 6. Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Augier J.J. 1851, Kaart van een gedeelte der rivier de IJssel van boven de Welle en Westra [...]. Rijksarchief Overijssel, Archief Rijkswaterstaat, kaart nr. 287.</li> <li>Katerveer; 8-uur waterstanden dagelijks; 1840-1849</li> <li>Kampen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1840-1849</li> <li>Katerveer; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>Kampen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>Lely (1890)</li> <li>SOBEK schematisatie IJssel - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes: ten Brinke, 1997</li> </ul>



<b>Midden Waal</b>
Ecotopenverdeling en fysiotope op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan, B.H. (1827). Kaart van de rivieren De Boven Rijn, De Waal, De Merwede, De Oude en Nieuwe Maas, van Lobith tot Brielle. Schaal 1:10000 (20 bladen). Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beijerinck F. 1800, Kaart van een gedeelte van de rivier de Whaal... van den Oosterhoutsche schardijk tot het dorp Winssen [...]. Rijksarchief Gelderland, Archief Rijkswaterstaat, kaart nr. 38</li> <li>Van der Kun, (1949)</li> <li>Van der Kun (1854)</li> <li>Lely (1890)</li> <li>Nijmegen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1840-1849</li> <li>Nijmegen; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>SOBEK berekeningen gereconstrueerde schematisatie Midden Waal 18e eeuw</li> <li>SOBEK schematisatie Midden Waal - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes: ten Brinke, 1997</li> <li>Korrelgroottegegevens Boorarchief Departement Fysische Geografie UU</li> </ul>
<b>Lek</b>
Ecotopenverdeling en fysiotope op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan, B.H. (1830-1842), Kaart van de rivieren de Boven- en Nederrijn, de Lek en de Nieuwe Maas. Kaartenarchief Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, inv. nr. VIII Bb 92.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>De Liefde, 1818, Kaart van een gedeelte van de Rivier de Lek onder Jurisdicte van Culemborg en Honswijk..., Rijksarchief Gelderland, Archief Rijkswaterstaat, kaart nr. 12</li> <li>Lely (1890)</li> <li>Culemborg-brug; 8-uur waterstanden dagelijks; 1854-1863</li> <li>Culemborg; 8-uur waterstanden dagelijks; 1971-1990</li> <li>SOBEK schematisatie Lek - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>
<b>Merwede - Hollandse Biesbosch</b>
Ecotopenverdeling en fysiotope op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan, B.H. (1833-1834), Kaart van de rivieren De Boven Rijn, De Waal, De Merwede, De Oude en Nieuwe Maas, van Lobith tot Brielle. Schaal 1:10.000 (20 bladen). Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Blanckenjansz J. (1802), Kaart van de rivieren de Whaal, Maas en Merwede tusschen Loevenstein en Dordrecht...</li> <li>Van der Kun, (1949)</li> <li>Van der Kun (1854)</li> <li>Lely (1890)</li> <li>Staatscommissie [...] (1920)</li> <li>Haring (1977)</li> <li>Gorkum; hoogste en laagste dagwaterstand; 1840-1849</li> <li>Werkendam; hoogste en laagste dagwaterstand; 1840-1849</li> <li>Dordrecht; hoogste en laagste dagwaterstand; 1840-1849</li> <li>Gorkum; HW en LW stand met tijdstip; 1971-1990</li> <li>Werkendam; HW en LW stand met tijdstip; 1971-1990</li> <li>Dordrecht; HW en LW stand met tijdstip; 1840-1849</li> <li>ZWENDL schematisatie NDB - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>

<b>Oude Maas</b>	
Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Goudriaan, B.H. (1833-1834). Kaart van de rivieren De Boven Rijn, De Waal, De Merwede, De Oude en Nieuwe Maas, van Lobith tot Brielle. Schaal 1:10.000 (20 bladen). Kaartenverzameling Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>	
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten	
<ul style="list-style-type: none"> <li>M. Bolstra, 1738-1745, Kaart van een gedeelte van de rivier de Merwede... 1738-1739. (Naar N. Cruquius). Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, RANB kaarten-, prenten- en tekeningenverzameling inv.nr. 298.</li> <li>Staatscommissie [...] (1920)</li> <li>Haring (1977)</li> <li>Dordrecht; hoogste en laagste dagwaterstand; 1840-1849</li> <li>Puttershoek; hoogste dagwaterstand; 1866-1874</li> <li>Spijkensisse; hoogste en laagste dagwaterstand; 1866-1874</li> <li>Dordrecht; HW en LW stand met tijdstip; 1840-1849</li> <li>Puttershoek; HW en LW stand met tijdstip; 1971-1990</li> <li>Spijkensisse; HW en LW stand met tijdstip; 1971-1990</li> <li>ZWENDL schematisatie NDB - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>	
<b>Hollandsch Diep – Haringvliet</b>	
Ecotopenverdeling en fysiotopten op basis van landgebruik, bodemgegevens, terreinhoogte	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rijkswaterstaat (1886), Rivierkaart Oude Maas, Amer, Hollandsch Diep en Haringvliet, 1e herziening, serie 6, schaal 1:10.000, bladen 19 (Klundert), 20 (Willemstad), 21 (Z Ooltgensplaat), 22 (N Ooltgensplaat) 23 (Den Bommel). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> </ul>	
Morfodynamiek en Hydrodynamiek: geuldimensies, debieten, waterstanden, korrelgrootten	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rijkswaterstaat (1886), Rivierkaart Oude Maas, Amer, Hollandsch Diep en Haringvliet, 1e herziening, serie 6, schaal 1:10.000, bladen 19 (Klundert), 20 (Willemstad), 21 (Z Ooltgensplaat), 22 (N Ooltgensplaat) 23 (Den Bommel). Archief Topografische Dienst Emmen.</li> <li>Staatscommissie [...] (1920)</li> <li>Haring (1977)</li> <li>Keizersveer; hoogste en laagste dagwaterstand; 1874-1883</li> <li>Moerdijk; hoogste en laagste dagwaterstand; 1874-1879</li> <li>Hellevoetsluis; hoogste en laagste dagwaterstand; 1840-1848</li> <li>ZWENDL schematisatie NDB - RIZA</li> <li>Huidige korrelgroottes, gegevens RIZA</li> </ul>	

---

## Bijlage 2 Ecotopen en classificatiesysteem van de Ecotopen-Stelsels

---

Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling bepaald worden door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Een ecotoop is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid.

De ecotopen binnen het rivierengebied, inclusief de benedenrivieren, worden geklassificeerd volgens het Rivier-Ecotopen-Stelsel (RES) (Rademakers en Wolfert, 1994) en het Benedenrivieren-Ecotopen-stelsel (BES) (Maas, 1998), welke deel uitmaken van het Rijkswateren-Ecotopen-Stelsel. Binnen dit classificatiesysteem worden de ecotopen op het hoogste niveau ingedeeld naar de zeven verschillende watersystemen op basis van de zogeheten positionele factoren verhang, getijwerking en zoutgehalte. Deze uiten zich in de grootschalige veranderingen in de longitudinale gradient in het ecosysteem. Het RES en BES omvatten de ecotopen van twee van deze watersystemen. Binnen het BES is tevens een voorlopige ecotopenindeling opgezet voor de Zoute delta (Maas, 1998). De grens tussen de rivieren en benedenrivieren is gekozen op basis van het al dan niet voorkomen van voor benedenrivieren specifieke ecotopen: biezen- en rietgorzen, met de situatie Merwede/Waal als uitgangspunt. Deze grens ligt bij een getijverschil (onder gemiddelde omstandigheden) tussen hoog- en laagwater van ongeveer 30 cm (Maas, 1998). Op het tweede niveau wordt binnen deze watersystemen vervolgens ingedeeld op:

- Hydrodynamiek: alle fysische en chemische invloeden die het water uitoefent op de ontwikkeling van bodem, vegetatie en fauna. Hydrodynamiek wordt in eerste instantie gerelateerd aan gemiddelde overstromingsduur- of frequentie.
- Morfodynamiek: alle mechanische krachten die worden uitgeoefend op zowel bodem, vegetatie als fauna. De morfodynamiek wordt primair bepaald door de stroming van water en het daarmee samenhangende transport van sediment, maar daarnaast ook door de wind en door menselijke activiteiten. De morfodynamiek neemt in het algemeen af naarmate de afstand tot de stroomdraad van de bedding groter wordt.
- Gebruiksdynamiek: Alle bewuste en doelgerichte inrichtings- en beheersinvloeden die de mens uitoefent op de ontwikkeling van bodem en de levensgemeenschap. De gebruiksdynamiek kan worden afgeleid uit het landgebruik of uit de vegetatiestructuur.
- Zoutdynamiek: Alle invloeden die zout uitoefent op bodem, vegetatie en fauna. Binnen de ecotopenindeling Biesbosch-Voordelta (Van der Meulen, 1995) wordt ingedeeld naar het zoutgehalte van het water waarmee het land wordt overspoeld. Binnen het RES en BES wordt hier niet op onderscheiden (alle ecotopen binnen het BES vallen onder de laagste zoutdynamiek klasse), binnen de Zoute delta wel (Maas, 1998).

In de classificatie van het RES en BES leidt het criterium hydrodynamiek tot een stapsgewijze zonering van diepe geulen, platen en slikken, lage gorzen en uiterwaarden, hoge gorzen en oeverwallen tot hoogwatervrije terreinen. Dit gaat samen met een overgang van onbegroeide eenheden, pioniervegetaties, oever- en moerasvegetaties, natte en droge gras- en bosvegetaties tot zelden of nooit overstroomde terrestrische vegetaties en landgebruikstypen. Het criterium morfodynamiek uit zich voornamelijk in het onderscheid tussen aan lokale stroomsnelheid gerelateerde erosie- en sedimentatieprocessen van grind, zand en klei. Het is bepalend voor het

---

onderscheid tussen de korrelgrootte van het substraat. De gebruiksdynamiek omvat zowel natuurgerichte menselijk invloeden, zoals natuurlijke begrazing of schraalgraslandbeheer, als agrarisch gebruik, recreatie of bebouwing. Ingedeeld wordt op toenemende intensiteit van menselijke invloed, wat een onderverdeling oplevert van nagenoeg natuurlijke vegetaties, deel natuurlijk en beheerde vegetaties, tot op exploitatie gericht en volledig gestuurd landgebruik.

---

## Bijlage 3 Beschrijving van fysiotopen – rivierengebied en estuarium

---

### **Laagwaterbedding**

Tot het fysiotop laagwaterbedding behoren alle permanent stromende diepe en ondiepe delen van het zomerbed. Hier komen zowel bij lage als hoge debieten de hoogste stroomsnelheden voor. Door de stroming treedt er transport van zand en grind op over de bodem, en wordt slib in suspensie meegevoerd. Het patroon van de laagwaterbedding varieert van vrijwel recht tot sterk meanderend. In de buitenbochten is de bedding asymmetrisch van doorsnede met het diepste punt langs de buitenoever, terwijl het beddingprofiel op de rechte trajecten, tussen twee bochten een meer symmetrisch is, maar minder diep dan in de buitenbochten. De oevers van de laagwaterbedding zijn in de buitenbochten van nature steil, terwijl in de binnenbocht flauwe zandige oevers gevormd worden. Deze bestaan uit zogeheten kronkelwaardbanken of 'scroll bars'. Wanneer de oevers uit zandig materiaal bestaan kan de rivierbedding zich sneller lateraal verplaatsen dan wanneer de oevers uit resistentere klei bestaan. In het laatste geval is de bedding relatief smal en diep.

### **Grind- en zandbank, natuurlijke rivieroever**

Grind- en zandbanken zijn bij laag debiet droogvallende ondiepten in het zomerbed. Ze zijn gevormd als opwas of middelzand in de bedding, of als plaat (aanwas) langs de oever van de bedding. Factoren die het voorkomen en de positie van banken bepalen zijn de sinuositeit en de breedte-diepte verhouding van de bedding, de stroomsnelheid en de aard van het beddingmateriaal. Grindbanken ontstaan alleen bij hoge stroomsnelheden, en wanneer grindrijk substraat aanwezig is in de rivierbedding. Zandbanken kunnen ook onder minder dynamische stromingscondities ontstaan. Tot deze eenheid behoren ook de kronkelwaardbanken, die als gevolg van de spiraalsgewijze waterstroming in de meanderbochten bij hoge rivierafvoer langs de binnenbocht van een meander ontstaat. Deze laterale aanwas gaat ongeveer gelijk op met erosie van de buitenbocht. Wanneer verschillende kronkelwaardbanken naast elkaar gevormd worden ontstaat in de binnenbocht van een meander een kronkelwaard, die bestaat uit een opeenvolging van ruggen en geulen. Grind- en zandbanken vertonen algemeen een grote dynamiek in de tijd, terwijl kronkelwaardbanken door hun ligging veel stabiel zijn, en in de loop van de tijd vastgroeien aan de kronkelwaard.

### **Nevengeul**

Een nevengeul is een onder vrijwel alle afvoercondities meestromende geul die niet de hoofdgeul is van de rivier. Nevengeulen ontstaan als geulenstelsels tussen grind- en zandbanken, of door de vorming van een groot middelzand of eiland, waardoor de laagwaterbedding over korte afstand gesplitst wordt in een laagwaterbedding en een nevengeul. Daarnaast kunnen binnen een uiterwaard strangen aanwezig zijn die aan beide uiteinden een verbinding met de laagwaterbedding hebben, waardoor het water er permanent meestroomt. De eerste twee typen nevengeulen hebben de dynamiek en substraat van een laagwaterbedding. Het laatste type heeft over het algemeen kleiige oevers, en verandert in de loop van de tijd meestal nauwelijks van morfologie of positie. De bovenstroomse opening van een nevengeul heeft de natuurlijke neiging te verzanden, omdat de stroomsnelheid in de nevengeul meestal lager ligt dan in de hoofdgeul.

---

### **Oeverwal**

Oeverwallen zijn lage, langerekte ruggen langs de oevers van het zomerbed. Ze ontstaan op die plaatsen waar het rivierwater bij hoge afvoer de bedding verlaat, en de stroomsnelheid van het water sterk afneemt. Het fijnzandige materiaal in het water wordt hierdoor op de oevers afgezet, terwijl het fijnste slib verder meegevoerd wordt over de riviervlakte. Na verloop van tijd ontstaat op deze plaats een oeverwal, waarop naarmate de hoogte ervan toeneemt steeds fijner materiaal wordt afgezet. Als gevolg hiervan vertoont het profiel van een oeverwal een 'fining-upward', met fijnzandig materiaal dieper in het bodemprofiel, en meer lutumhoudend sediment bovenin het profiel.

### **Kronkelwaard**

Een kronkelwaard bestaat uit een reeks naast elkaar gelegen min of meer sikkelvormige *kronkelwaardruggen* waartussen *kronkelwaardgeulen* liggen. De ruggen zijn gevormd als kronkelwaardbanken, die successievelijk aaneengegroeid zijn, en met vegetatie begroeid. Aan bovenstroomse zijde vloeien de ruggen in elkaar over. De ruggen bestaan uit zandig beddingmateriaal dat hoger in het profiel fijner wordt, en zijn meestal bedekt met kleiige oeverafzettingen. Kronkelwaardgeulen zijn in tegenstelling tot strangen en nevengeulen geen voormalige beddingen, maar de laagtes tussen opeenvolgende ruggen. Het hoogteverschil tussen rug en geul bedraagt in het IJsseldal maximaal 2 m. Bij normale rivierstand staat er in de kronkelwaardgeulen slechts op enkel plaatsen water. Doordat de kronkelwaardgeulen door oeverwallen afgescheiden zijn van het zomerbed is bij hoog water de stroomsnelheid er gering. Kronkelwaardgeulen zijn meestal deels opgevuld met klei en humeuze klei.

### **Uiterwaardwieling**

Uiterwaarden die niet uit kronkelwaarden opgebouwd zijn, zijn opgebouwd uit grindrijke en/of zandige aan- en opwassen, die door sedimentatie tijdens hoge rivierafvoer bedekt zijn geraakt met een 1 tot 3 meter dikke laag klei. De individuele op- en aanwassen die successievelijk ontstaan zijn en waaruit de uiterwaard is gevormd zijn te herkennen als hoge delen in de uiterwaard, van elkaar gescheiden zijn door al dan niet dichtgeslibde strangen. De mate waarin de uiterwaard overstromt en er sedimentatie optreedt neemt af naarmate de uiterwaard hoger opgeslibd is en varieert in de orde van meer dan een centimeter tot minder dan een millimeter per jaar.

### **Verlaten rivierbedding / hoefijzermeer**

Een verlaten rivierbedding ontstaat door een verandering van de loop van een rivier. Bij meanderende rivieren ontstaan deze veelal als gevolg van een meanderafsnijding; de afgesneden meander blijft als hoefijzermeer in het landschap aanwezig. Meanderhalsafsnijding ontstaat van nature doordat als gevolg van voortgaande meandervorming de rivier bij hoogwater in het smalle deel tussen twee meanders een afsnijding veroorzaakt. Ijsdammen en ophopingen van sediment of door de rivier meegevoerde boomstammen kunnen het moment van afsnijding bepalen. Veel meanderafsnijdingen in het riviereengebied zijn kunstmatig, doordat de mens een doorgraving door een meanderbocht maakte. Dit gebeurde al vanaf de 16<sup>e</sup> eeuw. Na de afsnijding ontstaat een afkorting van de rivierbedding, met lokaal een groter verhang. Hierdoor kan de bedding op deze plaats het karakter krijgen van een riviersysteem met geulen, zand- en grindbanken en eilanden.

---

### **Strang**

Een strang ontstaat doordat een nevengeul rond een opwas aan de stroomopwaartse zijde verzandt, en afgesloten wordt van de laagwaterbedding. In een aangekoppelde strang, die aan de benedenstroomse zijde nog in open verbinding met het zomerbed staat, is de stromingsdynamiek veel kleiner dan in een nevengeul. De afsluiting aan bovenstroomse zijde is in veel gevallen het gevolg van ingrijpen door de mens. Alleen bij hoge rivierafvoer kunnen er hoge stroomsnelheden in optreden. In de loop van de tijd kan een strang ook aan de stroomafwaartse zijde van het zomerbed afgesloten raken, en staan ze nog slechts periodiek, bij hoogwater in verbinding met de rivier. Afgesloten strangen verlanden en slibben in de loop van decennia dicht. Wanneer een afgesloten strang ver van het zomerbed en of in een bekade uiterwaard ligt wordt deze als geïsoleerde strang aangeduid. De stromingsdynamiek is er laag. Geïsoleerde strangen zijn geheel of gedeeltelijk verland en dichtgeslibd, en vormen natte laagten in het terrein, met een bodemopbouw die bestaat uit zandige beddingafzettingen met daarop een laag klei en humeuze of venige klei.

### **Kolk / Wiel**

Wielen zijn ontstaan als gevolg van een dijkdoorbraak, waarbij het water dat met hoge snelheid door het gat in de dijk stroomde een diepe kolk 'wiel' uitschuurde, die wel 10 meter diep kon worden. Bij het dijkherstel werd de nieuwe dijk om het wiel gelegd, dat daardoor of in de uiterwaard, of binnendijks kwam te liggen. Buitendijkse wielen verlandden geleidelijk, en bij hoogwater wordt er slib in afgezet, waardoor ze deels of zelfs geheel opgevuld geraakt zijn met humeuze klei. Verscheidene wielen zijn door de mens gedempt. Omdat ze in het algemeen ver van het zomerbed verwijderd liggen is de stromingsdynamiek er gering.

### **Laagwaterbedding en getijgeulen**

In het benedenriviereengebied en estuarium is de laagwaterbedding dat deel dat beneden de GLW stand gelegen is, en bestaat uit de rivier- en getijgeulen en kreken. Kenmerkend in het estuarium is de afwisseling van naar binnen gerichte vloedstroom en naar zee gerichte ebstroom. De ebstroom is sterker dan de vloedstroom, omdat bij eb zowel het bij vloed naar binnen gestrookte water als het rivierwater naar zee gevoerd worden. Bij de getijkentering nemen de stroomsnelheden af tot nul, en nemen dan weer toe in tegengestelde richting. Rond de kentering kan de stroomrichting aan het oppervlak van het water tegengesteld zijn aan die langs de bodem van de bedding. Als gevolg van de hoge stroomsnelheden zijn de getijgeulen over het algemeen diep. Sommige geulen worden vooral door de vloedstroom gebruikt, andere door de ebstroom. Men spreekt dan over vloed- respectievelijk ebscharen. Getijgeulen veranderen voortdurend van positie en vorm.

### **Platen**

Tussen de getijgeulen liggen platen. Dit zijn zandige opwassen die bij laagwater droogvallen. Als gevolg van de migratie van getijgeulen, veranderen de platen in de loop van de tijd ook van vorm en positie. Als gevolg van de hoge dynamiek blijven platen in het algemeen onbegroeid.

### **Slikken en gorzen**

Langs de randen van de getijgeulen liggen slikken. Deze ontstaan door aanwas (laterale accretie) van slibrijk tot zandig materiaal. Slikken liggen in de lage getijdezone, direct boven GLW. Wanneer een slik minder dan 50% van de tijd overstroomd is kan er pioniervegetatie groeien; de slikken worden dan schorren of gorzen genoemd. Met toenemende

---

dichtheid van de begroeiing wordt tijdens hoogwater steeds meer fijn sediment door de planten ingevangen, wat resulteert in een proces van opwas (verticale accretie). Dit resulteert in een zonering vanaf de getijgeul in slikken – lage gorzen – hoge gorzen – bedijkte (hoogwatervrije) hoge gorzen langs de primaire waterkeringen. Slikken en gorzen worden doorsneden door kreken, waarlangs het opkomende water binnenstroomt. Langs een kreek kan zich een kleine oeverwal vormen.

### **Killen**

In het benedenrivierengebied was als gevolg van de de St-Elisabethsvloed en de daaropvolgende inbraken in de Grote Waard een estuarium ontstaan met een stelsel van inbraak kreken, die sterk door het getij beïnvloed werden. Vanuit de Merwedemonding ontstond door sedimentatie van riviersediment een binnendelta van zandige platen (opwassen), die zich in stroomafwaartse richting uitbreidde. Deze platen werden doorsneden door killen waardoor de rivier afwaterde. Vanuit de Merwede werden deze killen in stroomafwaartse richting smaller tot het punt waar kentering van het getij optrad, om verder in zeevaartse richting door de toenemende getijwerking weer breder te worden en de loop van de oude kreken te volgen. Door veranderingen in afvoer door de killen, de vorming van opwassen, en uiteindelijk de afsluiting van veel killen in de 18<sup>e</sup> eeuw wijzigde het patroon van killen zich in de loop van de tijd, nam het relatieve oppervlak dat de killen innamen af, en slibden de killen dicht.



---

## Bijlage 4 Berekening rivierkundige parameters

---

### Specifiek stroomvermogen

Het stroomvermogen van een rivier is gedefinieerd als de afname van de potentiële energie van een rivier per tijdseenheid en per eenheid van rivierlengte:

$$\Omega = \frac{\Delta E_{pot}}{\Delta t \Delta x} = \frac{\Delta(\rho V \cdot g \cdot \Delta z_w)}{\Delta t \Delta x} = \rho g \frac{\Delta V}{\Delta t} \frac{\Delta z_w}{\Delta x} = \rho g Q i$$

waarin:

$\Omega$  = stroomvermogen (W/m)

$E_{pot}$  = potentiële energie (J)

$t$  = tijd (s)

$x$  = afstand langs de rivier (m)

$\rho$  = massadichtheid van water ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$V$  = volume van beschouwde pakket water ( $\text{m}^3$ )

$g$  = zwaartekrachtsversnelling ( $\text{m s}^{-2}$ )

$z_w$  = niveau van waterspiegel (m+NAP)

$i$  = waterspiegelverhang (-)

$Q$  = geulvullend debiet rivier of de afgeleide van het ebdebiet ( $Q$  bij maximale stroomsnelheid tijdens eb, bij gemiddelde rivierafvoer) ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ).

In het bendenrivierengebied wordt  $Q$  afgeleid van het ebdebiet onder aanname dat het getij met een cosinusfunctie beschreven kan worden:

$$h = (\text{GHW} + \text{GLW})/2 + (\text{GHW} - \text{GLW})/2 \cdot \cos(t \cdot \pi / (T/2))$$

waarin:

GHW = gemiddelde hoogwaterstand

GLW = gemiddelde laagwaterstand

$t$  = tijdstip binnen een getijslag

$T$  = duur van een getijslag (12 uur 25 minuten).

Voor het verhang in het benedenrivierengebied is het verhang bij de gemiddelde dagwaterstand genomen. Bij rivieren is het stroomvermogen gedefinieerd op basis van het geulvullend debiet, aannemende dat deze morfologisch het meest belangrijk is. Binnen het getijdegebied is het ebdebiet het grootste debiet dat tijdens een getijcyclus optreedt en daarom maatgevend voor het stroomvermogen.

In geomorfologische studies waarbij men uit neerslagregime en terreingesteldheid het rivierpatroon (breedte, vlechting, meandering) wil voorspellen wordt het dalverhang gebruikt in de berekening van het stroomvermogen. Het dalverhang is dan namelijk een *onafhankelijke* parameter, dit in tegenstelling tot het geulverhang dat een van meandering *afhankelijke* parameter is. In de praktijk blijken spiegelverhang en dalverhang langs rechte Waaltrajecten weinig van elkaar te verschillen, bij de IJsselmeanders verschillen deze waarden wel van elkaar. De lokale sterkte van de stroming wordt het best aangegeven met het stroomvermogen per eenheid van geulbreedte, het specifiek stroomvermogen (ssp; 'unit stream power')  $\omega = \Omega/B$  (in  $\text{W/m}^2$ ):

$$\frac{\Omega}{B} = \frac{\rho g Q i}{B}$$

Met behulp van de Chezy vergelijking die het verband tussen stroming en bodemweerstand beschrijft:

$$u \approx C \sqrt{B i}$$

---

en  $Q \approx BdC\sqrt{Bi}$

en de vergelijking voor berekening van de bodemschuifspanning  $\tau$ :

$$\tau = \rho g d i = \frac{\rho g u^2}{C^2}$$

waarin:

Q = debiet ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

u = stroomsnelheid ( $\text{m s}^{-1}$ )

B = breedte van het zomerbed bij geulvullend debiet (m)

d = diepte van de geul (m)

i = gradient

C = Chézy coefficient ( $\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$ )

kan het specifieke stroomvermogen geschreven worden als:

$$\frac{\Omega}{B} = \frac{\rho g u^3}{C^2}$$

Hiermee is het specifieke stroomvermogen  $\Omega/B$  gelijk aan het product van twee maten voor de sterkte van de stroming, namelijk het product van bodemschuifspanning  $\tau$  ( $= \rho g u^2 / C^2$ ) en dieptegemiddelde stroomsnelheid (u).

### Shields parameter

De Shields parameter  $\theta$  is een dimensieloze maat voor het sedimenttransporterend vermogen van een rivier, vergeleken met eigenschappen (korrelgrootte) van het sediment in de rivierbedding. De parameter wordt berekend uit de stroomsnelheid en beddingruwheid (of: hydraulische straal en verhang), en de mediane korrelgrootte van het sediment:

$$\theta = u^2 / (C^2 \Delta D_{50})$$

waarin u = gemiddelde stroomsnelheid

C = Chézy coefficient ( $\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$ )

$\Delta$  = relatieve sediment dichtheid  $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w \sim 1.65$ ;

Met  $C = u \sqrt{Ri}$  (waarin R = hydraulische straal en i = verhang) levert dit  $\theta = Ri / (\Delta D_{50})$

Deze drie parameters reflecteren samen de afhankelijkheid tussen ondergrond, waterstroming, sedimenttransport en de hieruit voortvloeiende morfologie van rivieren (Maas *et al.*, 1997). Voor het benedenrivierengebied is het niet mogelijk om op eenduidige wijze de Shields parameter te berekenen, omdat het sediment in het estuarium uit zowel zand als klei bestaat. Hierdoor heeft een mediane korreldiameter geen reële betekenis. De Shields parameter is daarom alleen voor het rivierengebied berekend.

---

## Bijlage 5 Beschrijving van de riviertrajecten – historische referentie

---

Grensmaas .....	92
Roerdalslenkmaas .....	94
Maaskant Maas .....	96
Heusdense Maas (Afgedamde Maas) .....	98
Boven IJssel.....	100
Beneden IJssel.....	102
Midden Waal .....	104
Lek .....	106
Merwede – Hollandse Biesbosch .....	108
Oude Maas.....	110
Hollandsch Diep – Haringvliet .....	112
Legenda.....	114

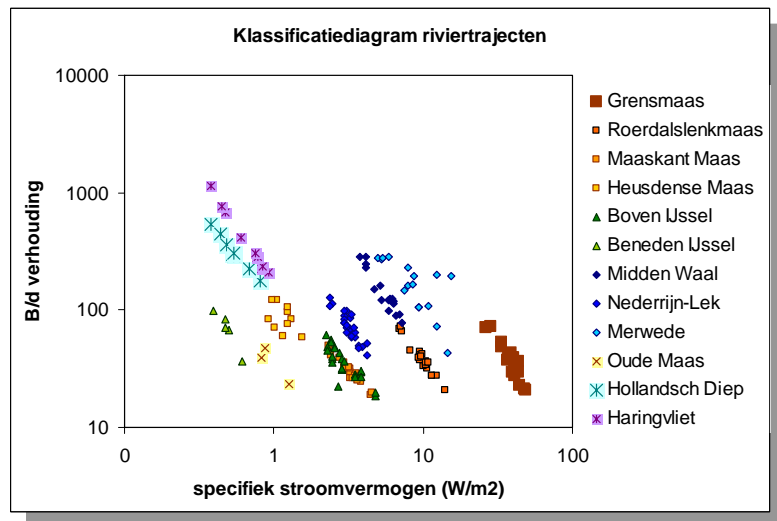
# Grensmaas

## Geomorfologie en processen

De Grensmaas was een ondiepe grindrivier die zich in het verleden ingesneden had. De rivierlakte werd omgrensd door hoger gelegen oudere rivierterrassen. In de rivier mondden beken uit die vanaf de hoger gelegen terrassen water aanvoerden, en in het Maasdal soms de loop van een oude verlaten en/of dichtgeslibde Maasbedding volgden. Op verschillende plaatsen bevonden zich eilanden in de rivier, die de stroom splitsten in een hoofd- en nevengeul. In dit traject lagen verscheidene meanders, met steile erosieve buitenoevers, en zand- en grindbanken in de binnenbochten. Binnen de rivierlakte op de dalbodem waren op verschillende plaatsen de resten van oude dichtgeslibde beddingen aanwezig.

Als gevolg van 'afpleistering' van de rivierbodem met grof grind was het transport van beddingsediment beperkt, ondanks het relatief hoge specifieke stroomvermogen. Als gevolg van grindwinning vanaf het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw is de bodemligging van de bedding sterk gedaald, tot maximaal 5 m. In laterale zin verplaatste de Grensmaas zich wel: in meanderbochten bedroeg de snelheid van oevererosie gemiddeld ongeveer 8 m per jaar, en hadden meanderbochten zich in anderhalve eeuw in de orde van 100 tot 150 m zijwaarts verplaatst. Hierdoor waren steiloevers en aangesneden terrasranden ontstaan met een maximale hoogte van 20 m. In de periode 1600-1850 heeft de Grensmaas driemaal een meanderhals afgesneden. De verlaten restbeddingen zijn grotendeels dichtgeslibd. Langs de westelijke Maasdijk lagen verscheidene kolken die waarschijnlijk bij dijkdoorbraak ontstaan zijn. Rond 1850 lagen tussen Itteren en Stein 1 groot eiland en 15 kleine. Op de plaats waar eilanden lagen was de bedding door oevererosie lokaal breder, waardoor ruimte voor opwas van zand- en grindeilanden ontstond, en de bedding zich in een hoofd- en nevengeul splitste.

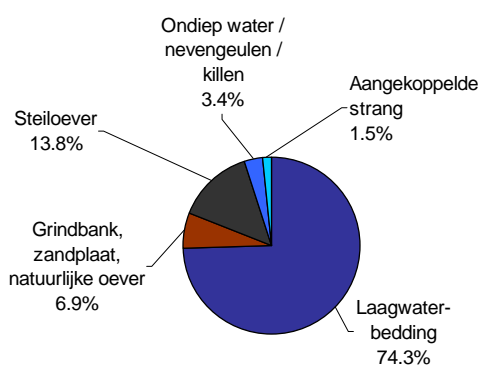
In de binnenbochten van de meanders ontstonden door laterale accretie kronkelwaarden, die in de loop van de tijd bedekt werden door een 1-2 m dik pakket kleiige oeverafzettingen. In de restgeulen accumuleerde tot 5 m sediment.



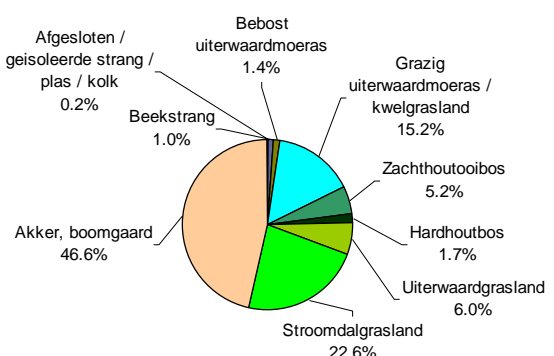
## Ecotopen

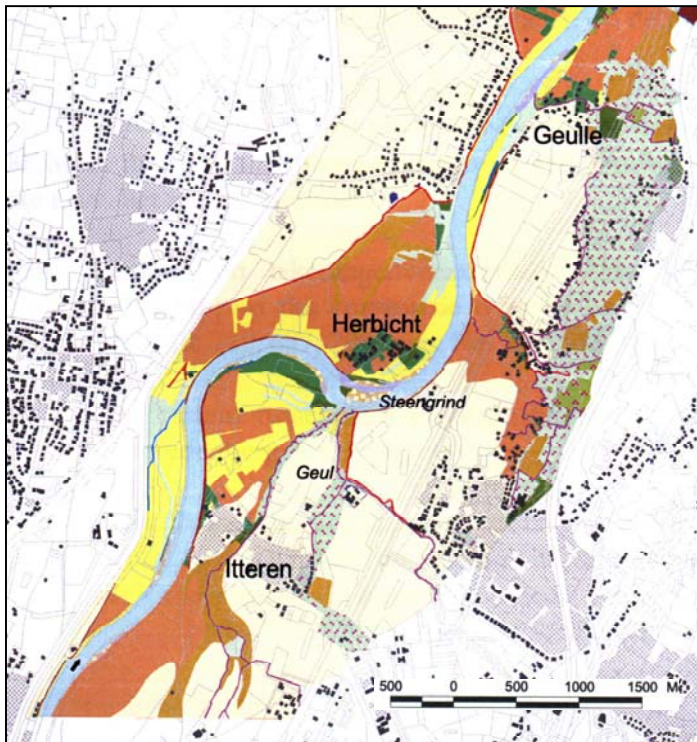
De *rivierbedding* was over het algemeen ondiep, met uitzondering van de uitgesuurde buitenbochten. Kenmerkend voor de bedding waren de ecotopen *grindbank* (Zs-1) langs de binnenbochten van de meanders, *steiloever/terrasrand* (Zs-5) langs de buitenbocht en *nevengeul* (Wn-1) rond de eilanden. Watervoerende *strangen* kwamen nauwelijks voor, terwijl *beekstrangen* (waar beken die vanaf de rivierterrassen in het Maasdal uitmonden de loop van restgeulen volgen) voor dit traject juist kenmerkend zijn. Tien procent van de rivierlakte was bedekt met *zachtouthoibos*, waarvan de helft voorkwam op de aanwaszones in de binnenbocht van meanders (Ub-3 en Ob-3). In de dichtgeslibde restgeulen kwam lokaal het ecotoop *beboste moerassige uiterwaard* (Mb) voor. Op oudere oeverwalcomplexen en droge restgeulen kwam uiterwaard- en *oeverwalhardouthoibos* voor (Ub-1 en Ob-1). Nabij de dorpen bevonden zich boomgaarden. Ruim een derde deel van het gebied was grasland, waarvan de helft *oeverwalgraslanden* (Og), en verder *natte graslanden* in restgeulen en beekdalen (Mg en Ug). Een ongeveer even groot areaal als grasland werd ingenomen door *akkerland*, dat voorkwam op zowel de oude als jonge kronkelwaarden en oeverwallen (Ur-3 en Or-3).

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen

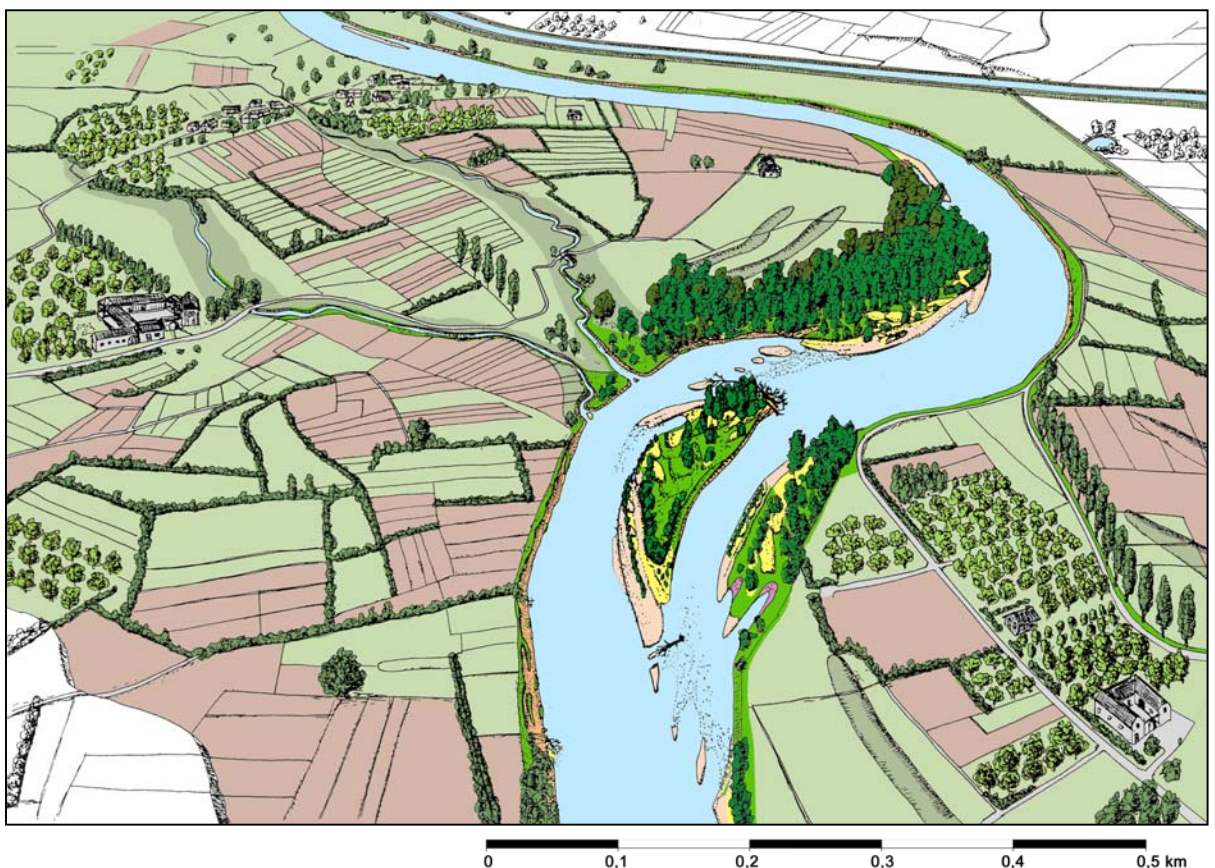




- Ondiepe grindbedding
- Grindbank
- Zand-en/of grindbanken
- Steiloever
- Nevengeul
- Aangekoppelde strang
- Afgesloten strang
- Klein diep water/kolk
- Beekstrang/Beekdal
- Kwelgrasland
- Moerassig uiterwaardgrasland
- Grazige uiterwaarden
- Grazige oeverwal
- Grazig hoogwatervrij terrein
- Uiterwaard-akker
- Oeverwal-akker
- Beboste moerassige uiterwaard
- Uiterwaard-oobos
- Oeverwal-oobos
- dijk/kade
- Hoogwatervrij terrein



Ecotopenverdeling langs de Grensmaas rond 1846 (bron: Maas, 2002)



Landschapsimpresie van de ecotopen langs de Grensmaas rond 1846 (tekening: J. De Kramer). De kijkrichting is vanaf Herbicht stroomopwaarts. Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

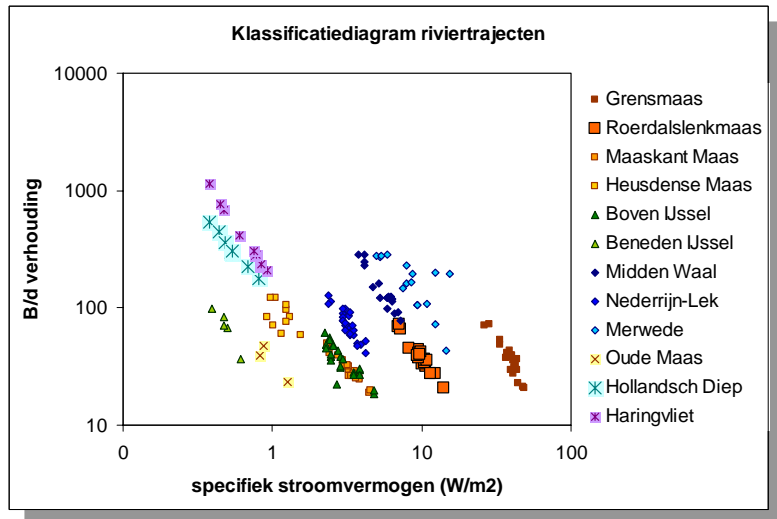
# Roerdalslenkmaas

## Geomorfologie en processen

Stroomafwaarts van de Grensmaas doorkruist de Maas de Roerdalslenk, een tektonisch dalingsgebied opgevuld met Pleistocene en Holocene fluviatiele sedimenten. In dit traject is het verhang van de Maas relatief klein, en is sedimentatie steeds het dominante proces geweest. In dit traject heeft de Maas grote, brede meanders en kronkelwaarden gevormd. De amplitude van de meanders is aanzienlijk groter dan in de Grensmaas. In het gebied komen veel afgesneden meanderbochten voor, waarvan de dichtgeslibde en verlande restgeulen nog aanwezig zijn.

De Roerdalslenkmaas kon rond 1850 nog vrij meanderen. Meanders verplaatsten zich voortdurend binnen de rivierlakte, zowel in zijwaartse als stroomafwaartse richting. Door de oevererosie ontstonden steile oevers, vooral waar oude hoger gelegen rivierterrassen nabij de Peelhorst werden aangesneden. Sommige verlaten afgesneden meanders fungeerden nog als hoogwatergeul. Binnen de rivierbedding lagen verscheidene eilanden; met name voor de monding van zijbeken ontstonden door de aanvoer van sediment uit deze beken kleine delta's. Langs de binnenbocht van de meanders ontwikkelden zich

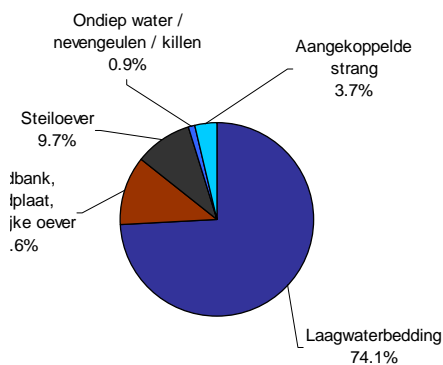
kronkelwaardbanken die uit zand en grind bestonden, welke in de loop van de tijd deel gingen uitmaken van de kronkelwaard en overdekt werden met oeverafzettingen. Restgeulen van afgesneden meanders slibden dicht, terwijl sommige geulen de benedenloop vormden van zijbeken die vanaf de terrassen in het Maas uitmondten. Ook kwelwater dat aan de voet van de terrasranden ontsprong liep via oude meandergeulen naar de Maas.



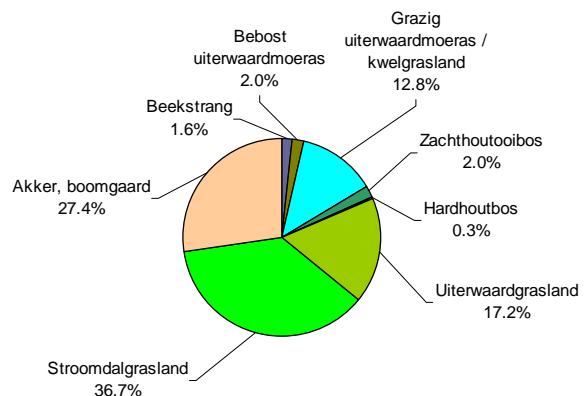
## Ecotopen

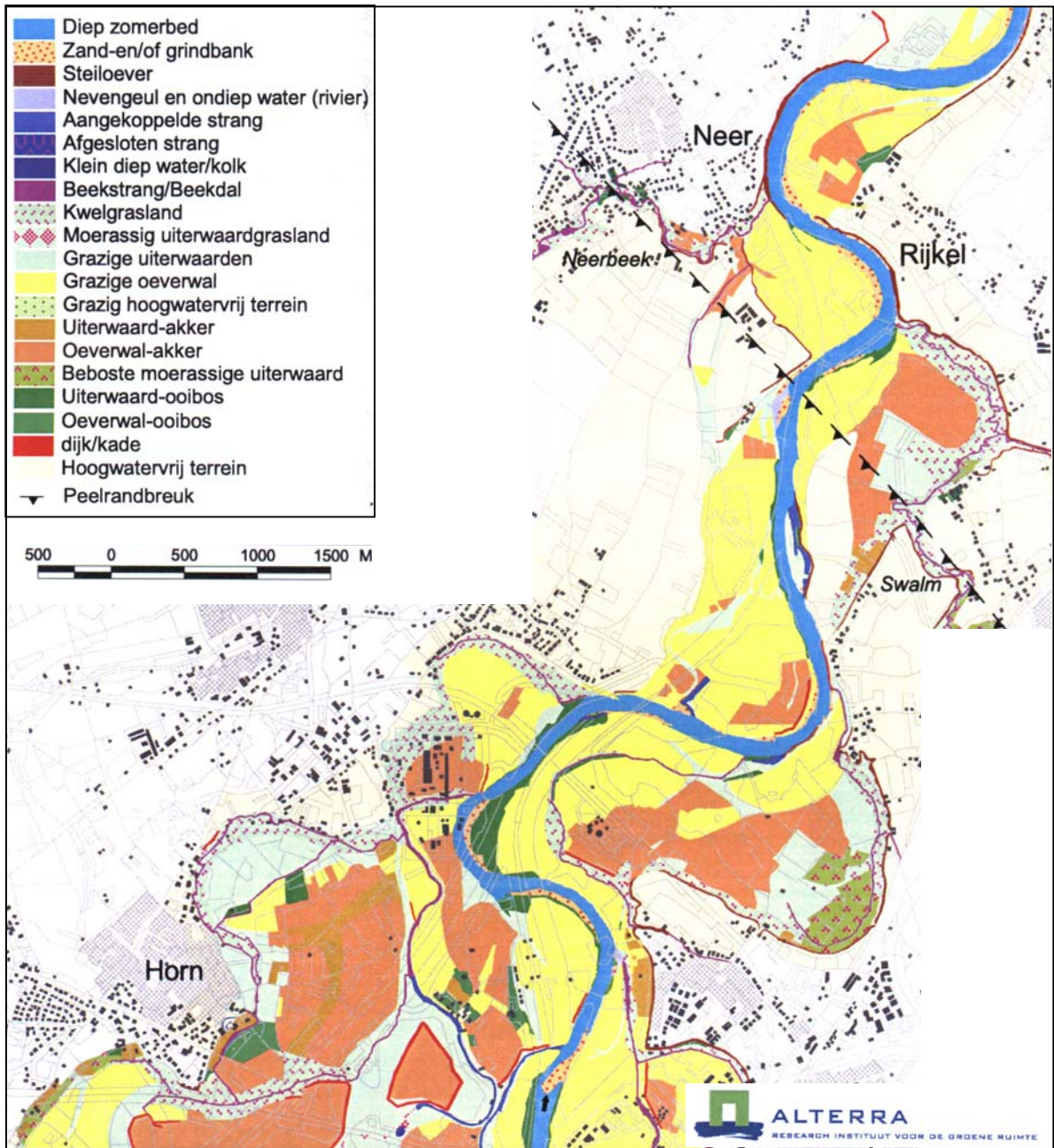
*Diep zomerbed* (8% van het oppervlak) (Zd) en *beekstrang* (2%) (Ws-5) waren de belangrijkste bedding ecotopen. Verder waren er enkele kleine *aangekoppelde strangen* (Ws-1). Binnen de bedding kwamen langs de binnenbochten onbegroeide *zand- en grindbanken* voor (Zs-1) die ongeveer 10% van het zomerbed innamen, langs de buitenoevers *steilranden* (Zs-5). Ongeveer 5% van het oppervlak was bedekt met bos, dat voornamelijk voorkwam op de jonge aanwassen langs de bedding, en uit *zachthoutoobos* (met struwelen) bestond (Ub-3). In de oude, moerassige restbeddingen van afgesneden meanders kwam *moerasbos* voor (Mb). Ver van de bedding op hoger gelegen delen van de rivierlakte kwamen verspreid enkele percelen *hardhoutoobos* voor (Ub-1 / Ob-1). Het landgebruik van de rivierlakte werd gedomineerd door *grasland* (60% van het landoppervlak). *Oeverwalgraslanden* (Og) kwamen voor in een brede zone van relatief jonge kronkelwaard- en oeverafzettingen langs de bedding. De overige graslanden waren *uiterwaardgraslanden* (Ug), en door kwelwater vochtige moerassige graslanden in de oude meandergeulen langs de terrasranden. Opvallend is dat bijna een kwart van het oppervlak van de rivierlakte door *akkers* ingenomen werd. Deze bevonden zich op de oudere, relatief ver van de rivier gelegen kronkelwaarden en oeverwallen. Tenslotte kwamen er ook enkele *boomgaarden* in het gebied voor.

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen





Ecotopenverdeling langs de Roerdalslenkmaas rond 1849 (bron: Maas, 2002)

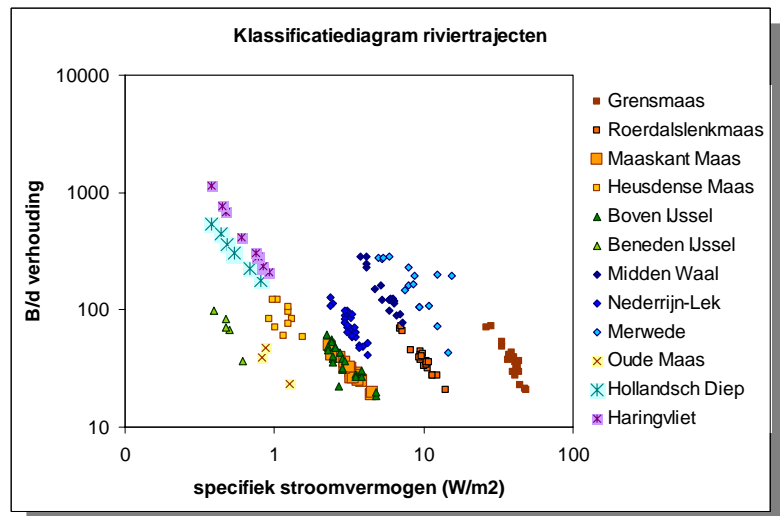
# Maaskant Maas

## Geomorfologie en processen

De Maaskant is een sterk meanderend traject waarvan de meanders in de Middeleeuwen ontstaan zijn, mede onder invloed van de tektonische werking van de Peelhorst. Na de bedijking rond 1320 hebben de meanders zich slechts weinig lateraal verplaatst.

Verscheidene meanders zijn afgesneden, sommige doordat ze doorgegraven zijn, andere mogelijk door natuurlijke meanderhalsafsnijding. De uiterwaarden zijn grotendeels opgebouwd uit kronkelwaarden, met ruggen en geulen. Het grote aantal wielen langs dit traject maakt duidelijk dat zowel de zuidelijke als de noordelijke Maasdijken herhaaldelijk zijn doorbroken.

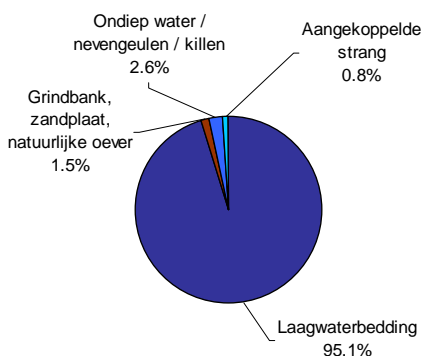
Aan het begin van de 19e eeuw vond op beperkte schaal oevererosie van de geul plaats. Door de bedijking en kunstmatige oeverbescherming konden de meanders zich in de buitenbocht slechts op een paar plaatsen verder lateraal uitbreiden, wat resulteerde in een meer stroomafwaartse verplaatsing. Opwas of aanwas van zandplaten en uiterwaarden vond op kleine schaal plaats in de binnenbocht van de meanders. De Breedte/diepte verhouding was echter te gering voor het ontstaan van banken in de rivier. Bij hoogwater slibden de uiterwaarden op, en de afgesneden meanderbochten slibden geleidelijk dicht.



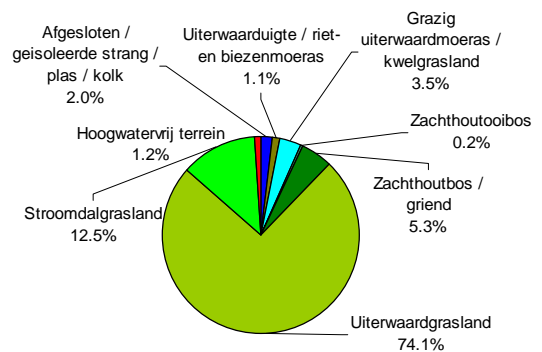
## Ecotopen

Het *zomerbed* omvatte 21% van het areaal. De uiterwaarden werden gedomineerd door de *uiterwaardgrasland* (Ug-1) en *stroomdalgrasland* (Og-1), waarvan het laatste voornamelijk voorkwam in de binnenbocht van meanders. Moerassige ecotopen (*ruigten en grasland*) kwamen als gevolg van de lage rivierstanden in de zomer alleen voor in de lage restgeulen (Mg-1). Met uitzondering van een grote afgesneden meanderbocht ontbraken watervoerende strangen vrijwel. Ten westen van Maasbommel lag een grote middelwaard, met daaromheen een nevengeul. Deze waard was begroeid met *zachthoutoibos* (Ub-2). Op de hoogste delen, en langs de bandijken lagen enkele *akkers*.

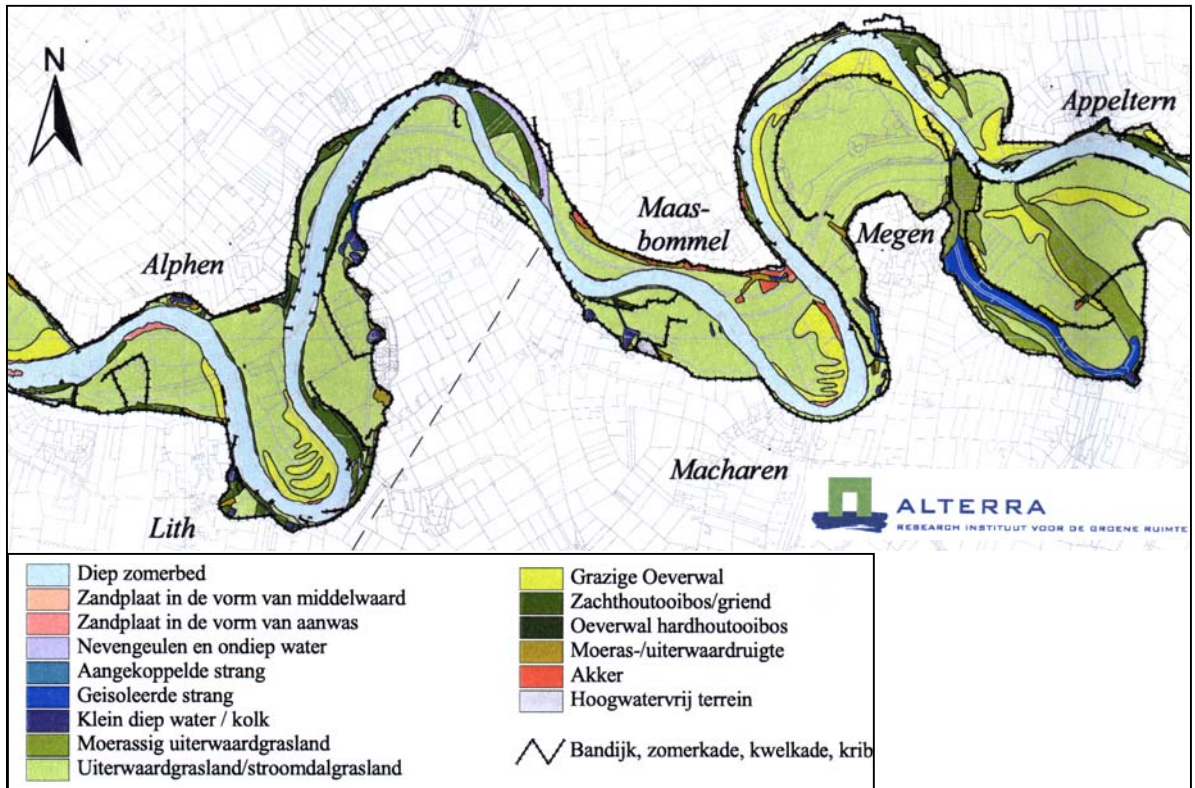
### Beddingecotopen



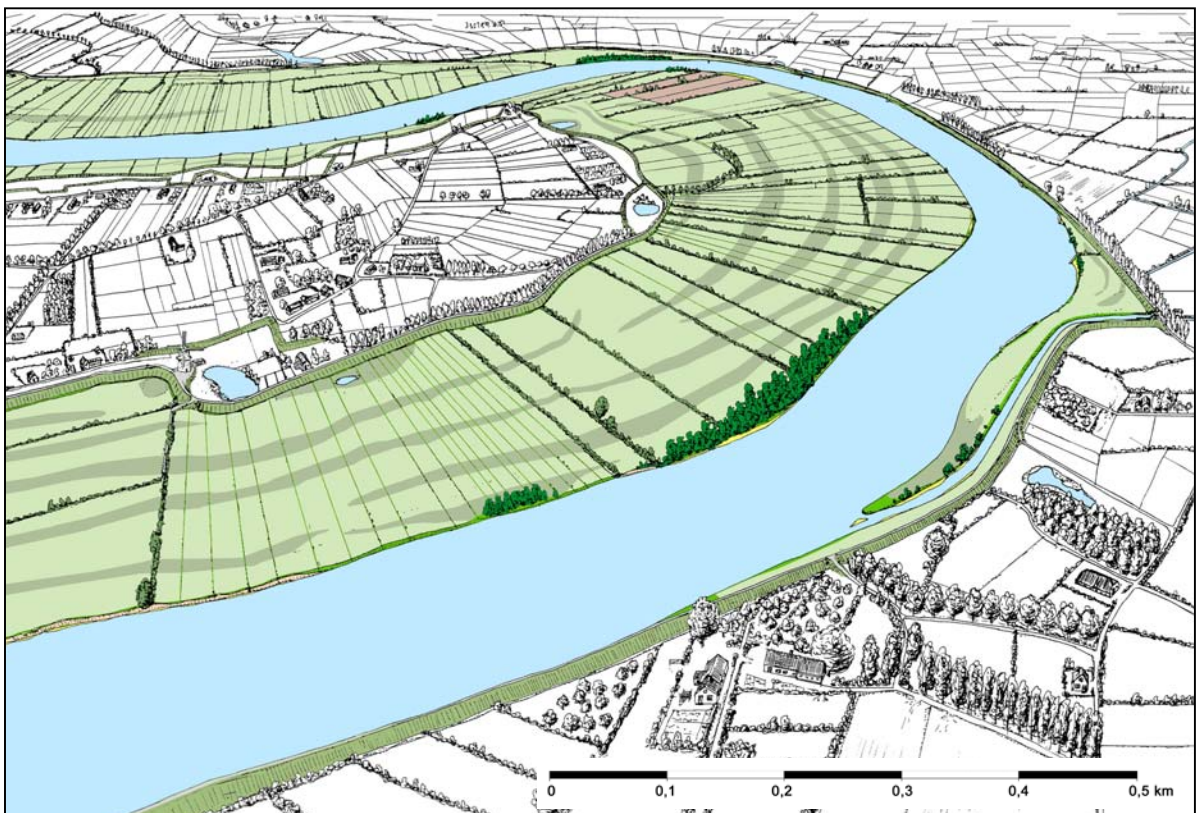
### Uiterwaardecotopen







Ecotopenverdeling langs de Maaskantmaas rond 1853 (bron: Maas, 2000)

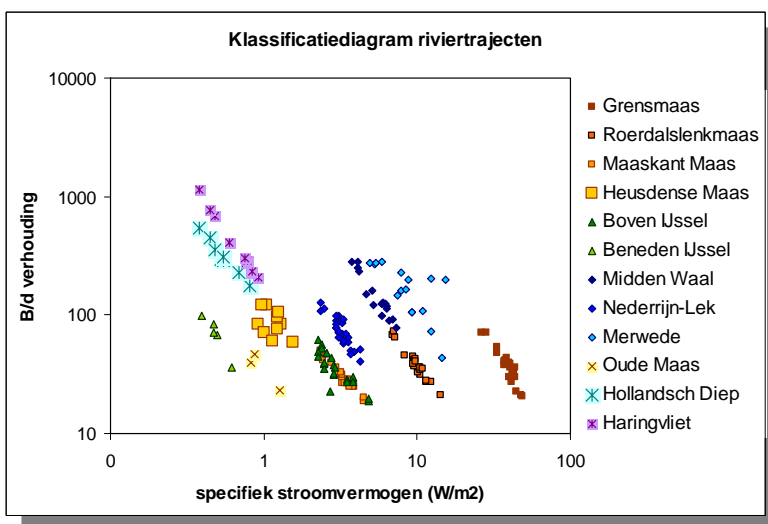


Landschapssimpresie van de ecotopen langs de Maaskant Maas rond 1853 bij Keent (tekening: J. De Kramer). De kijkrichting is stroomafwaarts. Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

# Heusdense Maas (Afgedamde Maas)

## Geomorfologie en processen

Deze Maastak is in de 12-13e eeuw ontstaan uit een doorbraak vanuit een sterk meanderende benedenloop van de Maas (Alm), waarna de toenmalige Heusdense Maas bij Woudrichem in de Merwede uitmondde. Rond 1850 vormde deze tak de belangrijkste benedenloop van de Maas. Als onderdeel van de verbetering van de Benedenrivieren werd, nadat in 1904 de Bergse Maas gereed kwam als belangrijkste benedenloop van de Maas, de Heusdense Maas bij Well en Andel afgedamd. De grote meanders in dit traject hangen samen met de aanwezigheid van makkelijk erodeerbaar dekzand in de ondergrond (in het zuiden) en zandige afzettingen van oudere rivierlopen in de ondergrond (bij Aalst). Evenals langs de Midden Waal was hier een patroon van concave strangen in de uiterwaarden zichtbaar, wat erop duidt dat ook hier migratie van flauwe meanders in stroomafwaartse richting heeft plaatsgevonden. Dit heeft geleid tot een morfologie met een combinatie van kronkelwaarden van brede meanders, en aanwaswaarden van flauwe, stroomafwaarts migrerende meanders.

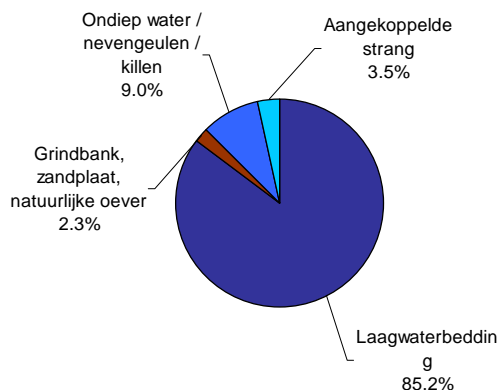


Als gevolg van de bedijking kon geen laterale migratie van de meanders plaatsvinden. Lokaal ontstonden opwassen in en langs de oevers van het zomerbed, maar deze namen maar enkele procenten van het zomerbed in. Daarnaast slibden enkele nevengeulen dicht. Op de uiterwaarden werd bij hoogwater slib afgezet; in het stroomopwaartse deel ontstonden brede oeverwallen in de binnenbochten van de meanders, verder benedenstrooms waren de oeverwallen smaller. Grote delen van de uiterwaarden waren bekaad.

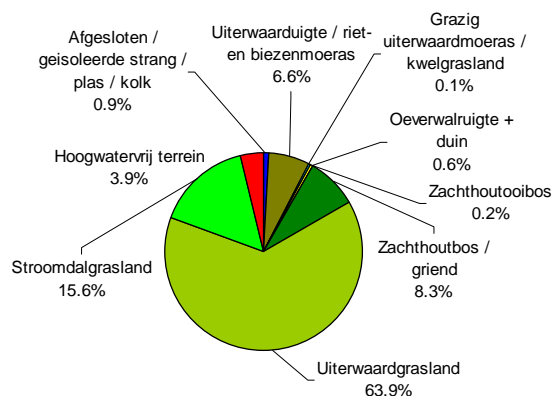
## Ecotopen

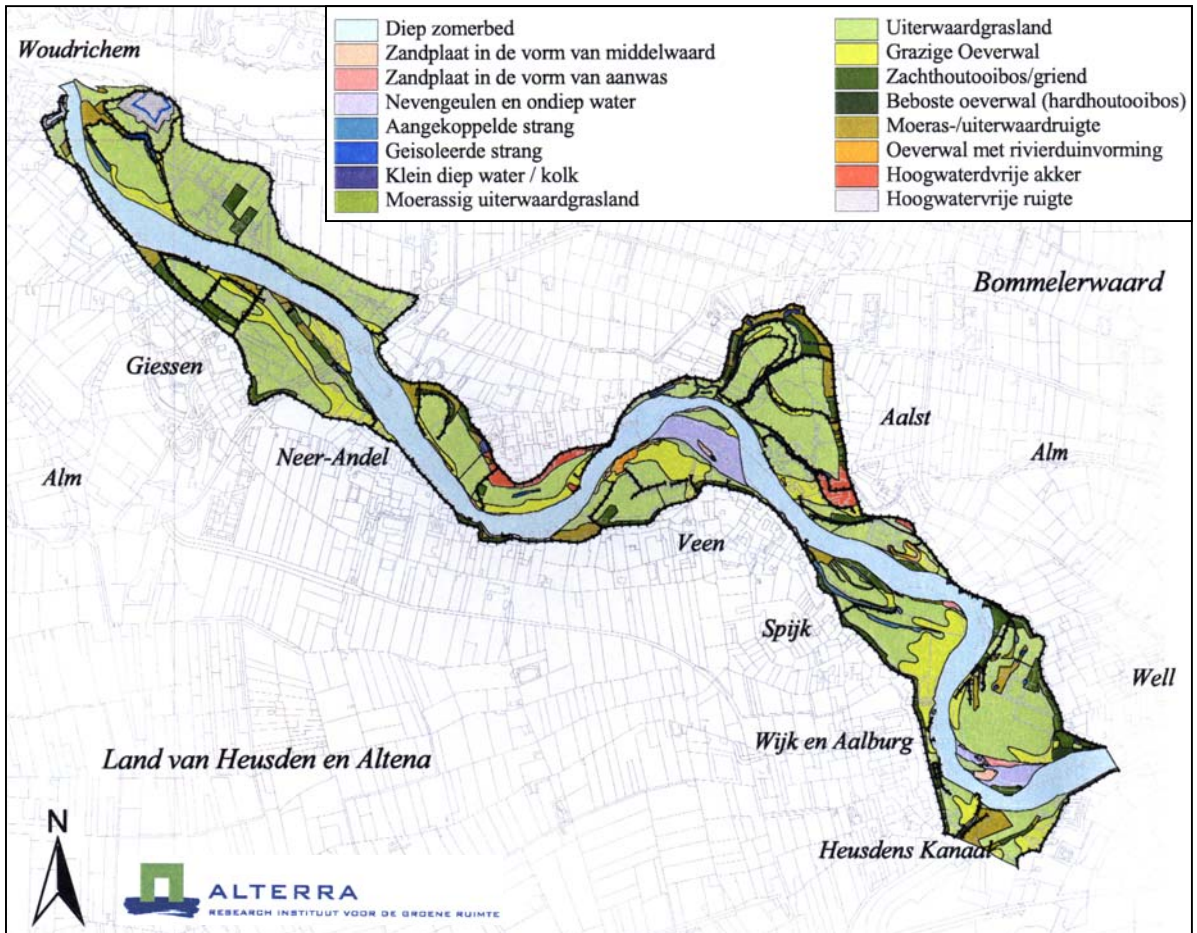
De oppervlakte van het *zomerbed* bedroeg ongeveer een kwart van het winterbed. De geul-ecotopen nevengeul en open strang namen samen slechts 3.5 % van het oppervlak in. De uiterwaarden werden gedomineerd door graslandecotopen (64% *uiterwaardgrasland* (Ug-1), 15% *stroomdalgrasland* (Og-1)). *Zachthoutbos en grienden* (Ub-2/6) kwamen voor op de lage recente aanwassen en in dichtgeslibde geulen. Op de meest natte plaatsen was *moeras* dat in totaal ruim 6% van de uiterwaard innam. Op drie locaties vond *rivierduinvorming* plaats op de oeverwal (Or-1).

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen



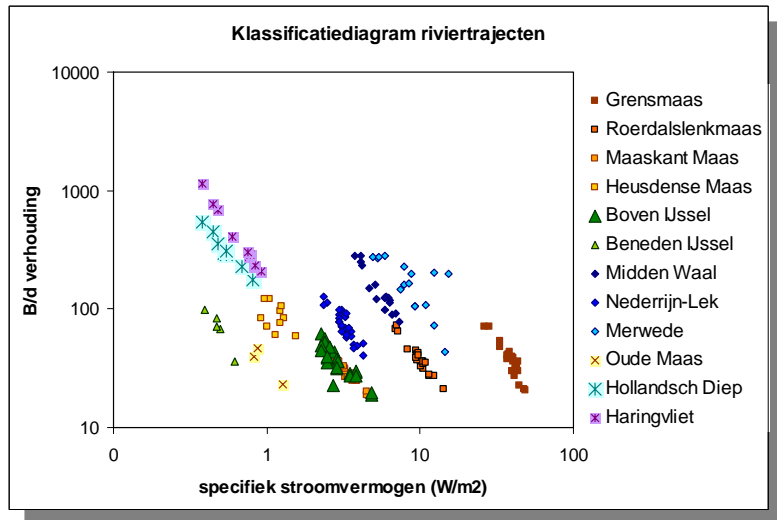


Ecotopenverdeling langs de Heusdense Maas rond 1855 (bron: Maas, 2000)

# Boven IJssel

## Geomorfologie en processen

Het bovenstroomse traject van de IJssel is sterk meanderend, wat samenhangt met de geringe dikte van de kleiafzettingen waardoor de rivier relatief weinig weerstand ondervond bij laterale erosie van de bedding. De morfologie wordt dan ook gekarakteriseerd door grote kronkelwaarden, met ruggen en geulen. De grote meanders waren al ver voor 1850, en wellicht zelfs al voor de bedijking ontstaan. In de loop van de Middeleeuwen, tot aan de verbeteringen aan de splitsingspunten van de Rijntakken was de IJssel steeds minder water gaan voeren, waardoor de transportcapaciteit en morfologische activiteit sterk waren afgenomen, en de bedding verzandde. Zo voerden in 1696 de Nederrijn en IJssel samen nog maar 1/24 deel van het water dat door de Boven-Rijn stroomde af. Pas vanaf het eind van de 18e eeuw was het debiet van de IJssel weer gestegen tot ongeveer 7% nog later tot 11% van de Rijnafvoer. Rond 1850 was de bedding op veel plaatsen al vastgelegd door kribben. Dit betekent dat de rivierkundige kenmerken van de situatie rond 1850 niet representatief zijn voor de omstandigheden waaronder de grote meanders ontstonden, maar het karakter van de bedding schetsen zoals die na de vorming van deze meanders, en na het kunstmatig herstel van het debiet door de IJssel in de 18e eeuw ontstaan was.

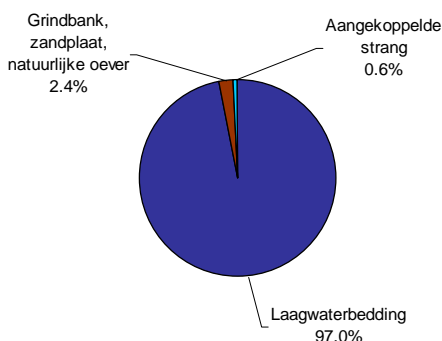


Rond 1850 had de IJssel een gering stroomvermogen, terwijl veel oevers al door kribben beschermd waren tegen erosie, waardoor er nauwelijks sprake was van meandermigratie. Lokaal ontstonden opwassen in de bedding, met name waar de geul breder was, of waar een zijbeek in de IJssel uitmondde. Als gevolg van de afnemende afvoer in het verleden en de hiermee samenhangende verandering in meanderlengte konden er ook zandbanken ontstaan langs de buitenoevers, waaromheen een nevengeul stroomde. In de loop van de tijd slibden deze banken op, wat soms door de mens bespoedigd werd door de aanleg van wilgenbossen. Op de kronkelwaarden en langs de bedding ontstonden oeverwallen. Strangen en kronkelwaardgeulen in dit traject zijn relatief oud, en waren in 1850 al grotendeels dichtgeslibd. Verlaten rivierbeddingen, zoals de Lamme IJssel, waren breed, en fungeerden tijdens hoogwater als afvoergeul. Daarnaast waren beekstrangen kenmerkend voor dit traject.

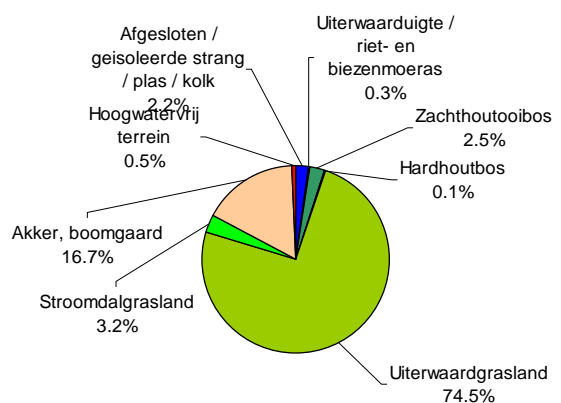
## Ecotopen

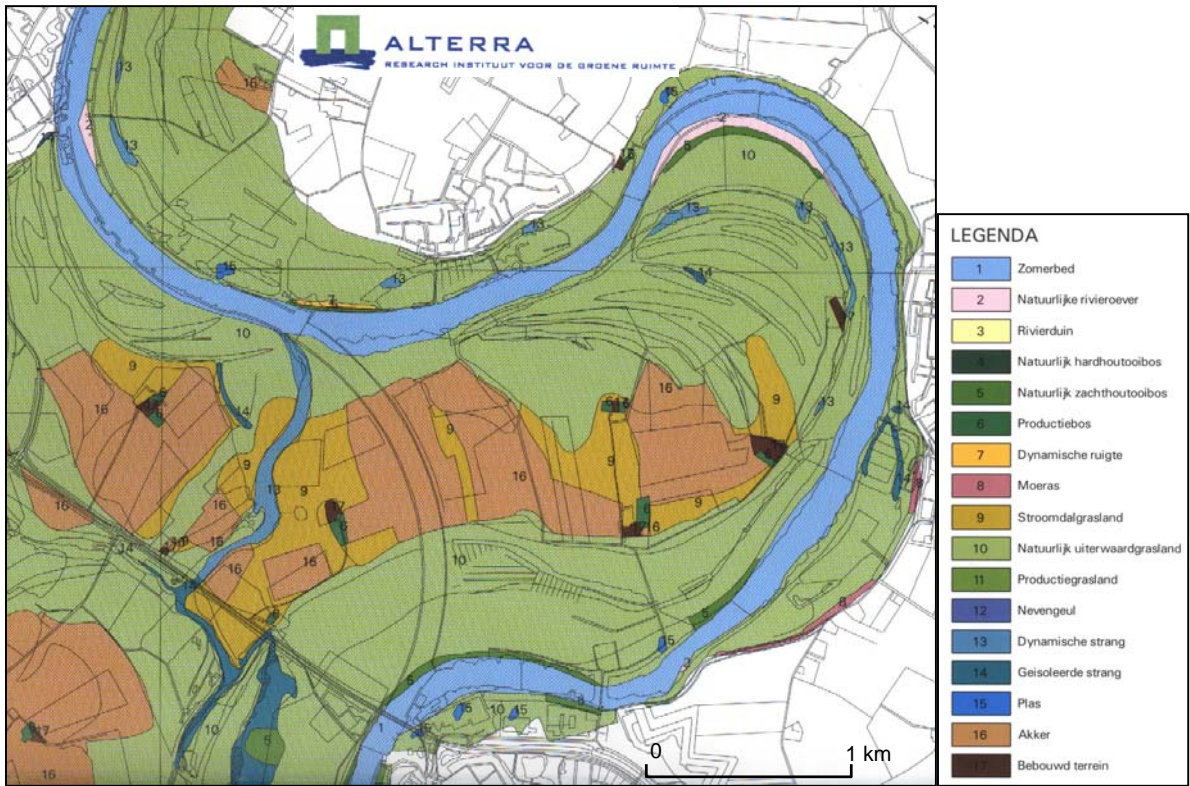
De *laagwaterbedding* nam ruim tien procent van het totale oppervlak van het winterbed in. Op de lage aanwassen langs de bedding kwam *natuurlijk zachthoutoobos* voor. De oude rivierbedding, en de diepste kronkelwaardgeulen en de *strangen* namen ongeveer 2% van de uiterwaard in. Tweederde van de strangen had een geïsoleerd karakter. De riviervlakte werd gedomineerd door *uiterwaardgrasland*, terwijl *stroomdalgrasland* slecht 3% innam. Vanaf de Veluwezoom kwamen enkele *beekstrangen*. Op de hoge delen van de kronkelwaarden kwamen grote arealen *bouwland* voor, ruim 16% van het uiterwaardoppervlak. Daarnaast bevond zich op de hoogste delen van de kronkelwaarden een zeer klein areaal *hardhoutbos*. Verspreid door het gehele gebied kwamen *bebouwde (hoogwatervrije) terreinen* voor.

### Beddingecotopen

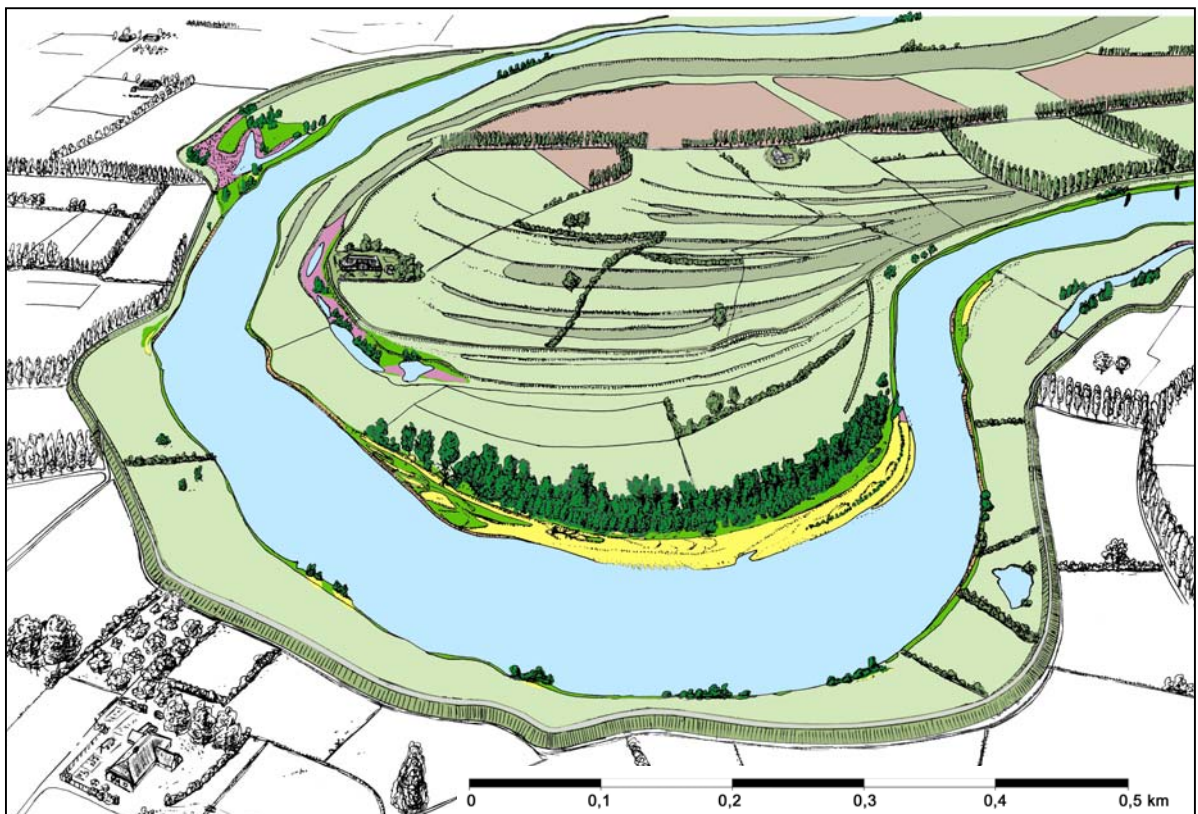


### Uiterwaardecotopen





Ecotopenverdeling langs de Boven IJssel bij Doesburg rond 1830 (bron: Maas et al., 1998)



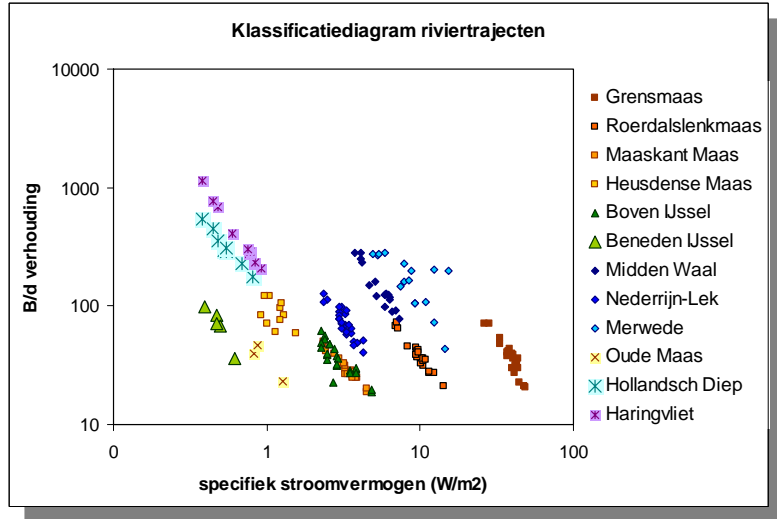
Landschapsimpressie van de ecotopen in de Fraterwaard langs de Boven IJssel bij Doesburg rond 1830 (tekening: J. De Kramer). Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

# Beneden IJssel

## Geomorfologie en processen

De benedenloop van de IJssel omvat zowel zwak als sterker meanderende deeltrajecten. Hoewel de uiterwaarden veel smaller zijn dan het bovenstroomse traject, hebben zich er kronkelwaarden gevormd, en ontstonden er verscheidene eilanden en opwassen in de bedding, waarbij de bedding zich in een hoofd- en nevengeul splitste. Als gevolg van het afnemen van het debiet door de IJssel in de eeuwen voorafgaand aan de aanpassingen van de splitsingspunten in de 18e eeuw, en door het geringe verhang was dit een traject met een gering stroomvermogen, en nog maar weinig morfologische activiteit.

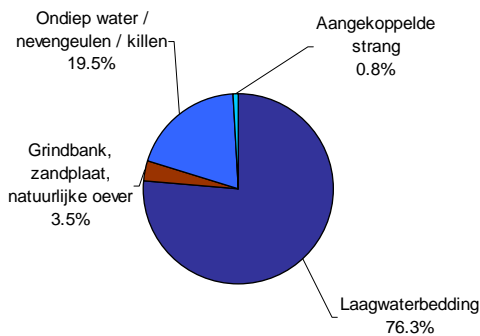
De belangrijkste morfologische processen hingen samen met laterale migratie van meanders. Daarbij ontstonden langs de buitenbochten erosieve oevers, die lokaal met kribben beschermd werden. Op verschillende plaatsen moest de bandijk echter naar buiten toe verplaatst worden. Langs de binnenbochten ontstonden door laterale aanwas kronkelwaardbanken, waarachter kronkelwaardgeulen of strangen lagen. Tevens ontstonden er in de bedding opwassen van zand ('wellen'), een proces dat soms met kribben versterkt werd. Deze opwassen konden uitgroeien tot eilanden, omsloten door een nevengeul. Door kribben werden de eilanden met de oever verbonden, en slibden de nevengeulen dicht. Langs de oeverzones en in de monding van strangen kwamen ook laaggelegen aanwaszones van slib voor.



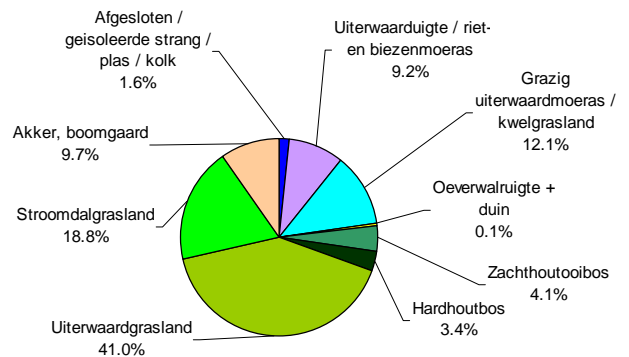
## Ecotopen

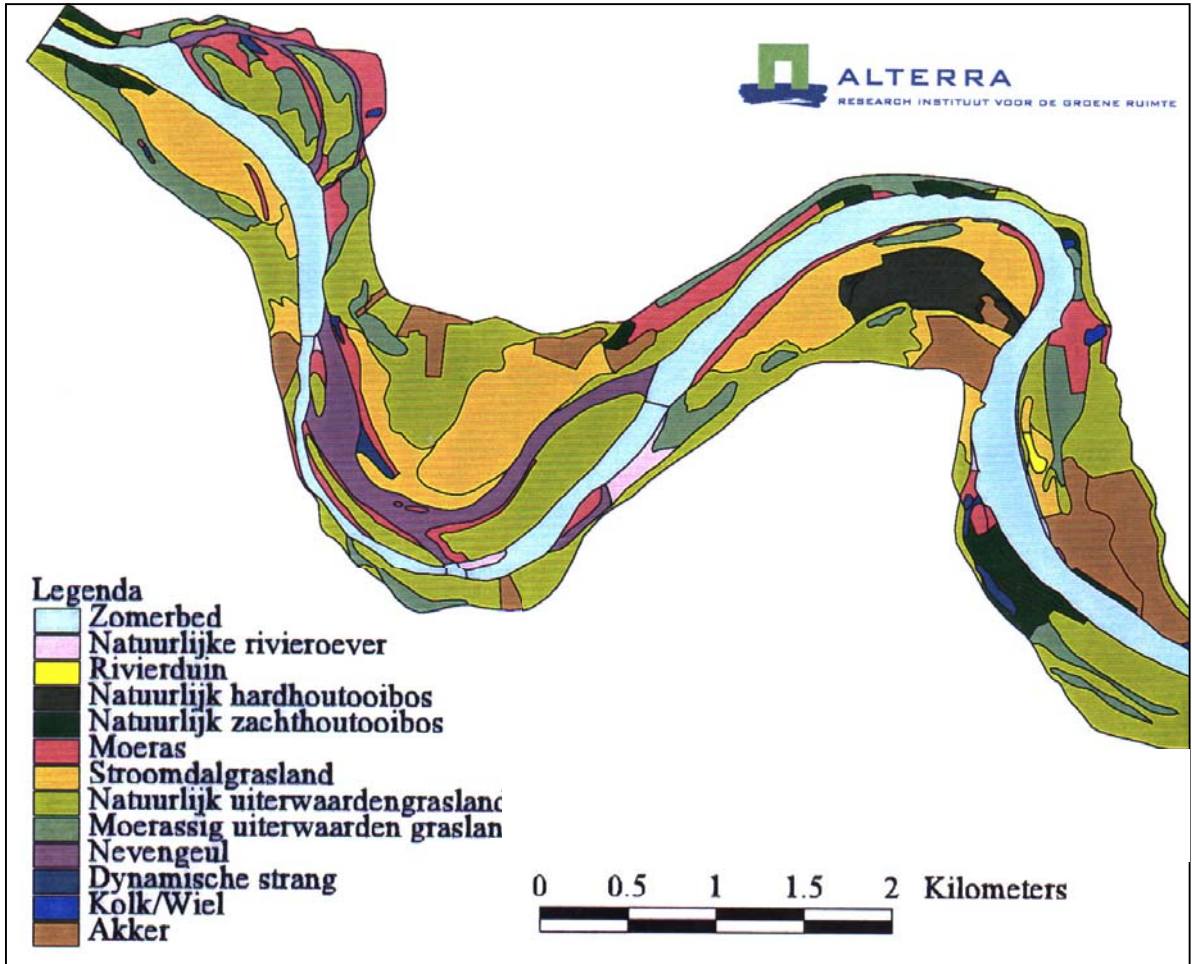
De rivierbedding werd gekenmerkt door de aanwezigheid van een *diep zomerbed*, met daarin eilanden of opwassen en *nevengeulen*. Deze laatste namen bijna 20% van de laagwaterbedding in. In die delen van de uiterwaarden die uit laaggelegen jonge opwassen bestonden, kwam voornamelijk moerassig uiterwaardgrasland voor, terwijl in de dichtgeslibde strangen *moeras* aanwezig was. Op de oudere en hoger opgewassen kronkelwaarden kwamen *uiterwaardgrasland* en *stroomdalgrasland* voor, die samen in totaal 60% van het uiterwaardoppervlak innamen. Op lage delen van de uiterwaard bevond zich *natuurlijk zachthoutoobos* (4%), terwijl op de hoogst gelegen delen van kronkelwaarden *hardhoutbos* (hakhout) voorkwam. Bijna 10 procent van de uiterwaarden was in gebruik als *akkerland*.

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen





Ecotopenverdeling langs de Beneden IJssel bij Zalk rond 1842-1844 (bron: Maas, 1998)



Fragment Topografische Kaart rond 1840 (bron: Grote Historische Atlas van Nederland 1:50.000)

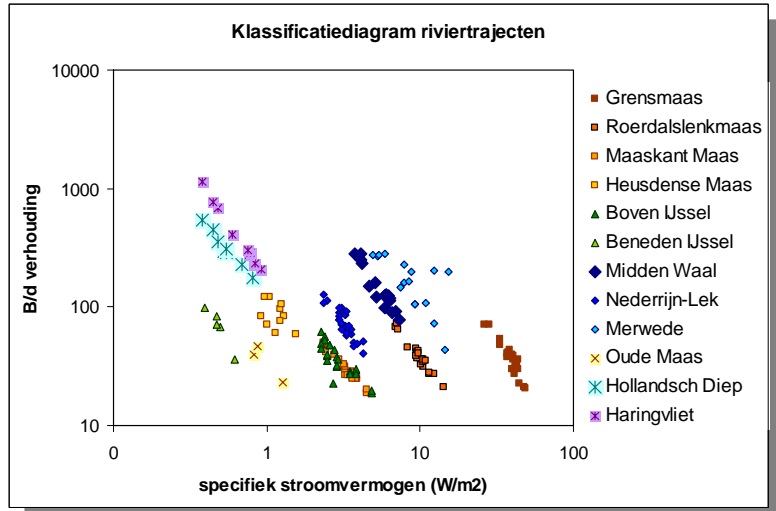
# Midden Waal

## Geomorfologie en processen

De uiterwaarden langs de Midden Waal zijn relatief jong, en zijn grotendeels gevormd in de periode tussen 1550 en 1850. De morfologie wordt gekenmerkt door een patroon uiterwaardwelingen met daartussen strangen. Dit patroon is ontstaan doordat de Waal een flauw meanderende bedding had die ingeklemd lag tussen bandijken waardoor de meanders geleidelijk stroomafwaarts migreerden. Daarbij werd de buitenoever geërodeerd, terwijl aan de binnenoever op- en aanwassen ontstonden. Tevens was de sinuositeit van de geul afgenomen. Grote delen van de uiterwaarden waren in 1850 al bekaad.

Samenhangend met de relatief grote breedte/diepte verhouding kwamen in de rivierbedding zandbanken voor. Tot aan de riviernormalisatie was laterale erosie van het zomerbed een continu voortgaand proces, waarbij de mens met pakwerk en kribben trachtte te voorkomen dat de bandijk

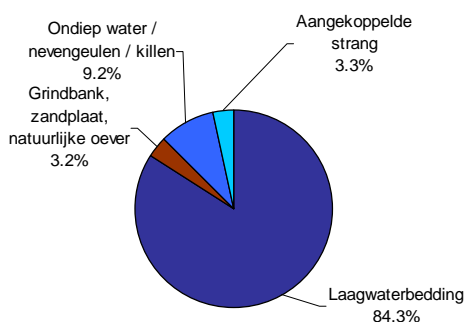
(schaardijk) ondergraven werd. Met name in de buitenbochten van de flauwe meanders was het zomerbed erg diep, tot meer dan 10 m. De processen die leiden tot het ontstaan van de op- en aanwassen zijn meer in detail beschreven in Wolfert (1992, 2001), Middelkoop (1997), Maas et al. (1997) en Hesselink (2002). Er kan onderscheid gemaakt worden in de opwas van kleine eilanden op locaties waar de bedding lokaal breder was, grotere eilanden in scherpe bochten, en de laterale aanwas van de uiterwaarden. Het aanwassen van de uiterwaarden werd versterkt door de aanleg van kribben, waarmee de mens land won op de rivierbedding. Steeds lag langs de buitenoever van de opwas de nevengeul, die aan de stroomopwaartse zijde snel verzandde en daarmee een strang werd. De strangen bleven aan de benedenstroomse zijde in het algemeen in open verbinding staan met de rivier. Het opslibben van de uiterwaard werd door de mens vaak versterkt door de aanplant van wilgen. Deze werden op den duur vervangen door grasland. Met name in de beginperiode van opslibbing kon de sedimentatiesnelheid tot enkele cm per jaar oplopen (Middelkoop (1997)). Door een stapsgewijze aangroei van de uiterwaard in stroomafwaartse richting was op den door het karakteristieke patroon van ruggen en strangen ontstaan. De strangen liggen naast elkaar, en zijn in tegenstelling tot kronkelwaardgeulen zoals langs de Maas en de IJssel, met de concave zijde naar de rivier gekeerd. De langs de bandijk gelegen strang is het eerst ontstaan, en is in de loop van de tijd in benedenstroomse richting uitgegroeid, maar heeft nooit in zijn huidige vorm als nevengeul gefungeerd. De hoger gelegen uiterwaardruggen tussen de strangen zijn de voormalige eilanden en opwassen ('aanwaswaarden').



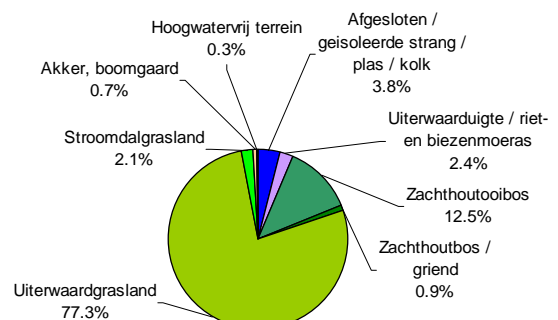
## Ecotopen

Het zomerbed van de Waal besloeg ruim een derde van het totale winterbed. Het oppervlak zandbanken en natuurlijke oevers bedroeg nog maar 3% van de bedding. Karakteristiek zijn de nevengeulen en de strangen, die in het algemeen dynamisch waren, en afhankelijk van de mate waarin ze dichtgeslibd waren bestonden uit open water, moeras en dynamische ruigte, natuurlijk zachthoutoibos en grienden, of nat uiterwaardgrasland. Ondiep water en nevengeulen omvatten bijna 10% van het zomerbed. Meer dan driekwart van de uiterwaard was natuurlijk uiterwaardgrasland, terwijl op de oeverwallen kleine arealen stroomdalgrasland (2%) voorkwamen. Op de hoge delen van de oeverwallen bevonden zich ruigten, echter zonder de vorming van rivierduinen. Natuurlijk hardhoutoibos kwam niet voor. Op verspreide plaatsen in de uiterwaard kwam een akker of boomgaard voor, die in totaal echter minder dan 1% van de uiterwaard bedekten.

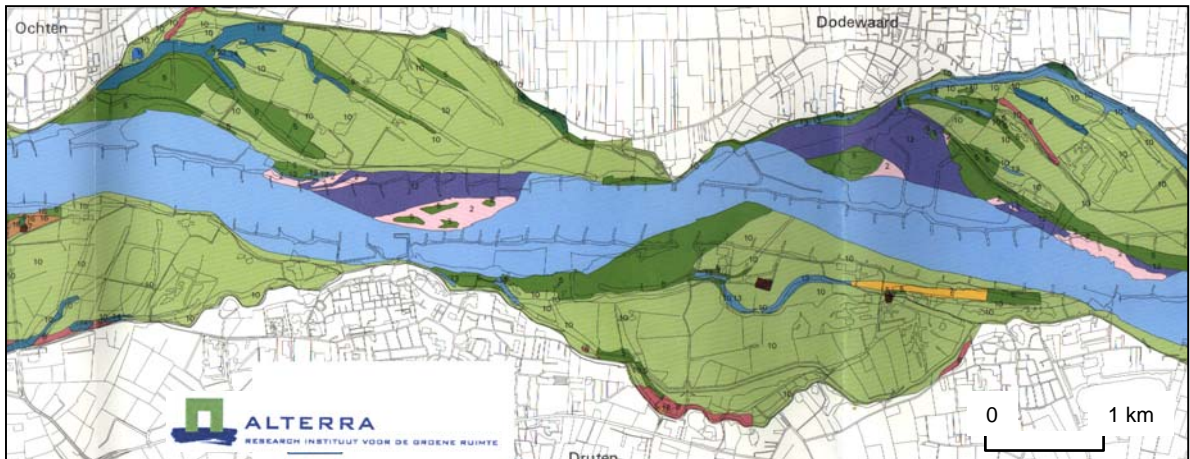
### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen







**LEGENDA**

1	Zomerbed	9	Stroomdalgrasland
2	Natuurlijke rivieroever	10	Natuurlijk uiterwaardgrasland
3	Rivierduin	11	Productiegrasland
4	Natuurlijk hardhoutoobos	12	Nevengeul
5	Natuurlijk zachthoutoobos	13	Dynamische strang
6	Productiebos	14	Geïsoleerde strang
7	Dynamische ruigte	15	Pias
8	Moeras	16	Akker
		17	Bebouwd terrein

Ecotopenverdeling langs de Midden Waal rond 1830 (bron: Maas et al., 1998)

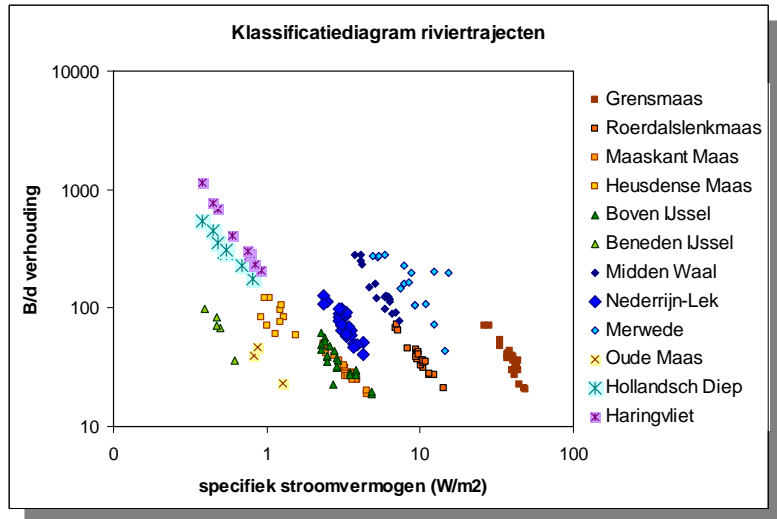


Landschapsimpresie van de ecotopen langs de Midden Waal rond 1830 (tekening: J. De Kramer). De kijkrichting is vanaf Ochten stroomopwaarts. Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

# Lek

## Geomorfologie en processen

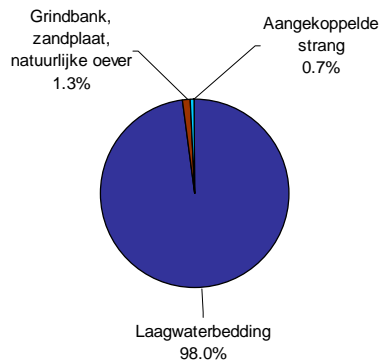
Benedenstrooms van Culemborg was de Lek een zeer zwak meanderende rivier met relatief smalle uiterwaarden. In de ligging van de stroomdraad was het meanderende karakter van de rivier echter nog duidelijk herkenbaar. Door het afnemende verhang en de relatief grote resistentie van de dikke pakketten klei en veen waaruit de oevers bestaan was laterale erosie door de rivier gering. Na de bedijking beperkte oeverbescherming laterale erosie van het zomerbed nog verder. Net als langs de Waal waren de uiterwaarden langs de Lek gevormd vanaf de 16e eeuw (Hesselink, 2002). Langs de binnenbochten waren aanwassen ontstaan; de kronkelwaarden die hieruit ontstonden hebben echter geen geprononceerd reliëf van ruggen en geulen zoals langs de IJssel. Het voor de Waal kenmerkende patroon van naast elkaar gelegen open, dynamische strangen die benedenstrooms met de rivier in verbinding staan was langs de Lek slechts op een paar plaatsen aanwezig. Wel bevond zich op veel plaatsen langs de bandijk een strang die deels nog uit open water bestond, en deels al dichtgeslibd was. Langs de oevers waren nog de resten aanwezig van oudere opwassen en eilanden. Slechts op enkele plaatsen was in de bedding nog een eiland aanwezig. Grote delen van de uiterwaarden waren in 1850 bekaad. De processen van oevererosie en aanwas waaruit de uiterwaarden ontstonden waren in 1850 door de kribben grotendeels stilgelegd. Langs het zomerbed ontstonden oeverwallen, en de uiterwaarden slibden op. Strangen en uitgegraven kleiputten langs de dijken slibden langzaam dicht.



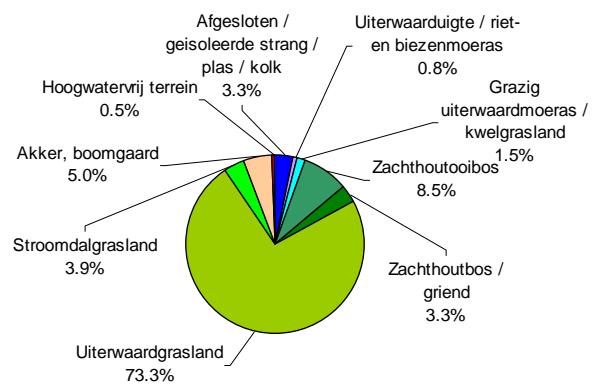
## Ecotopen

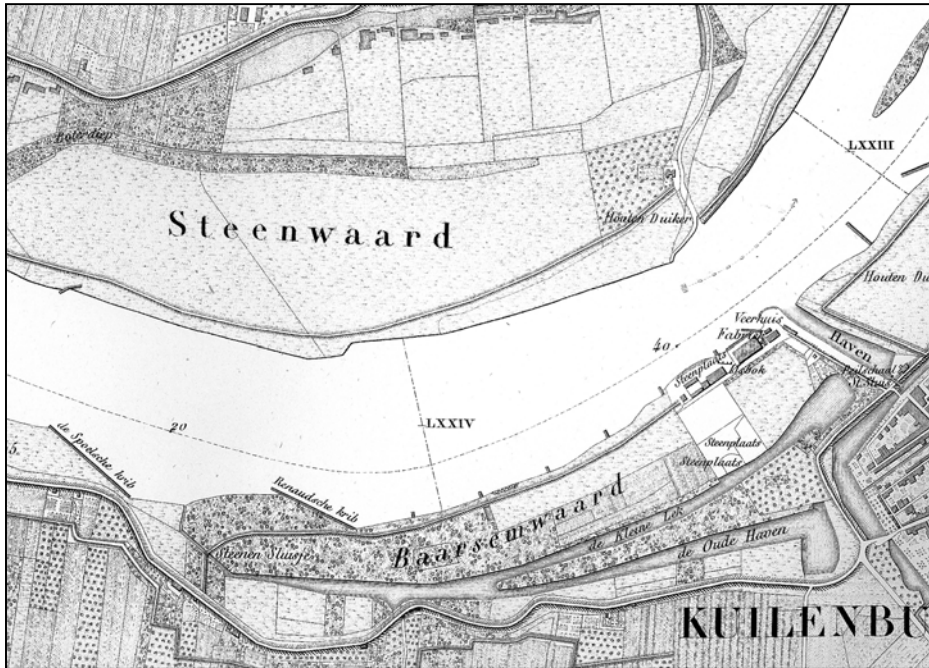
Het zomerbed van de Lek besloeg bijna een derde van het totale winterbed. Het oppervlak zandbanken en natuurlijke oevers was klein (ruim 1%), net als dat van *nevengeulen* en *aangekoppelde strangen*. De strangen binnen de uiterwaarden omvatten afhankelijk van de mate waarin ze dichtgeslibd waren de ecotopen *open water* (Ws-2), *grazige moeras* (Mg), *natuurlijk zachthoutooibos of griend* (Ub-2/6), of *nat uiterwaardgrasland* (Ug). Bijna driekwart van de uiterwaard was *natuurlijk uiterwaardgrasland* (Ug-1), terwijl op de oeverwallen *stroomdalgraslanden* (Og-1) (4%) voorkwamen. Op de jongste aanwassen langs het zomerbed groeide *zachthoutooibos*. Op verspreide plaatsen langs de bandijk lagen *akkers* en *boomgaarden*, die in totaal 5% van de uiterwaarden innamen.

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen





Fragment van de rivierkaart van de Lek bij Culemborg rond 1830 (Goudriaan, 1830-1842).



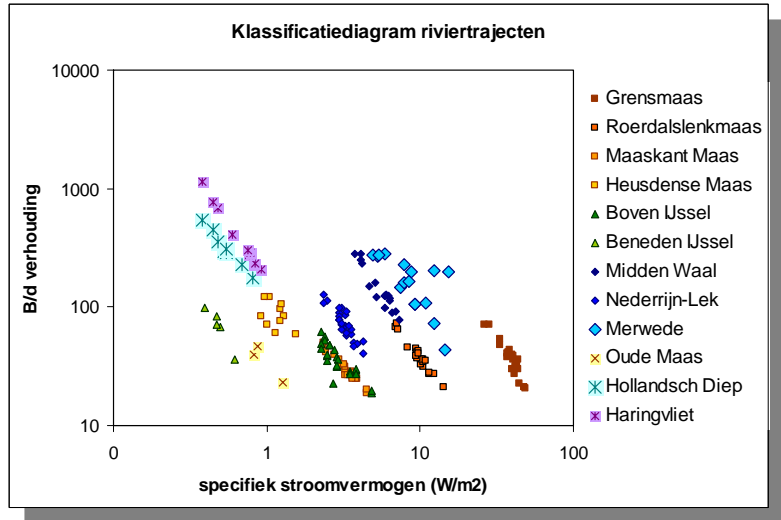
Landschapsimpressie van de ecotopen langs de Lek rond 1830 (tekening: J. De Kramer).  
De kijkrichting is stroomopwaarts richting Culemborg. Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

# Merwede - Hollandse Biesbosch

## Geomorfologie en processen

De Merwede bestond al als benedenloop van de Waal voordat de St. Elisabethsvloed in 1421 de Grote Waard in een estuarium deed veranderen. Vanuit de toen ontstane Merwedemond nabij Werkendam ontstond door opwas en aanslibbing een rivierdelta die zich geleidelijk in Z-W richting uitbouwde, en waaruit na verloop van tijd het Eiland van Dordrecht ontstond. Vanaf de 16e eeuw zijn de opwassen en het gorzengebied hier bedijkt. De Merwede bleef ruwweg de oorspronkelijk loop langs de noordelijke rand volgen, waarbij in zuidelijke richting killen aftakten. Door de verdergaande uitbouw van de rivierdelta ontstonden in de 17e en 18e overal in de Hollandse Biesbosch opwassen, waardoor een landschap ontstond van met biezen en vloedbos begroeide opwassen, doorsneden door killen. Vanaf het eind van de 18e eeuw is het gebied stapsgewijs bedijkt en zijn verscheidene kleine killen afgesloten.

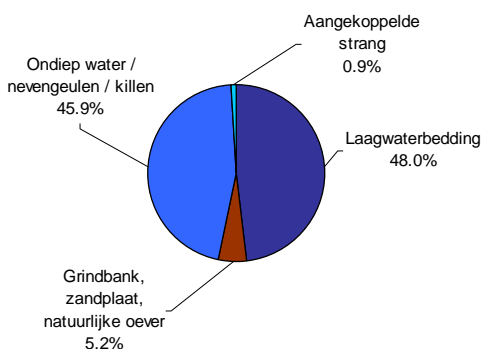
Erosie en aanwas in en langs het zomerbed waren actieve processen. De verticale getijbeweging in het gebied bedroeg bij Dordrecht ongeveer 160 cm en bij Werkendam bij 80 cm (bij lage rivierafvoer). In de eeuw voorafgaand aan de referentieperiode was ongeveer 20% van het land veranderd in water en vice versa. Erosie vond voornamelijk plaats aan de zuidelijke Merwede oever en in het centrale deel van de Hollandse Biesbosch. Langs de noordoever van Merwede ontstonden aanwassen, evenals langs de grotere killen in de Biesbosch. Ook in de oostelijke Merwede waren op verschillende plaatsen zandplaten aanwezig, die deels weer erodeerden en waarbij ook weer nieuwe opwassen ontstonden. De opwassen en aanwassen slibden in de loop van de tijd geleidelijk op. Het proces van opslibbing werd door de mens versneld door slikvangers en dammen te plaatsen en zandplaten te beplanten met biezen zodra die boven laagwater kwamen te liggen. Zodra een plaat hoog genoeg was opgeslibd werden er grienden aangelegd, die veelal door een kade omgeven werden om ze tegen gewone hoogwaters te beschermen. Uiteindelijk was een griend zo hoog opgeslibd dat het geruimd werd en tot graslandpolder omgevormd.



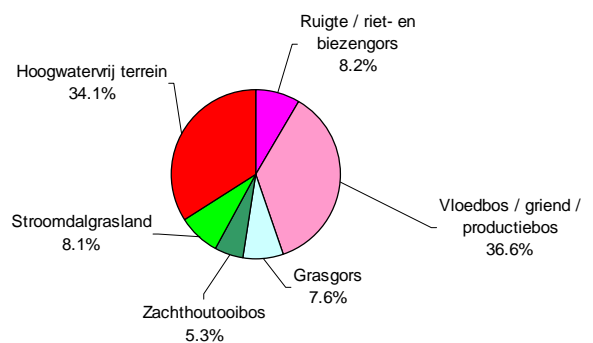
## Ecotopen

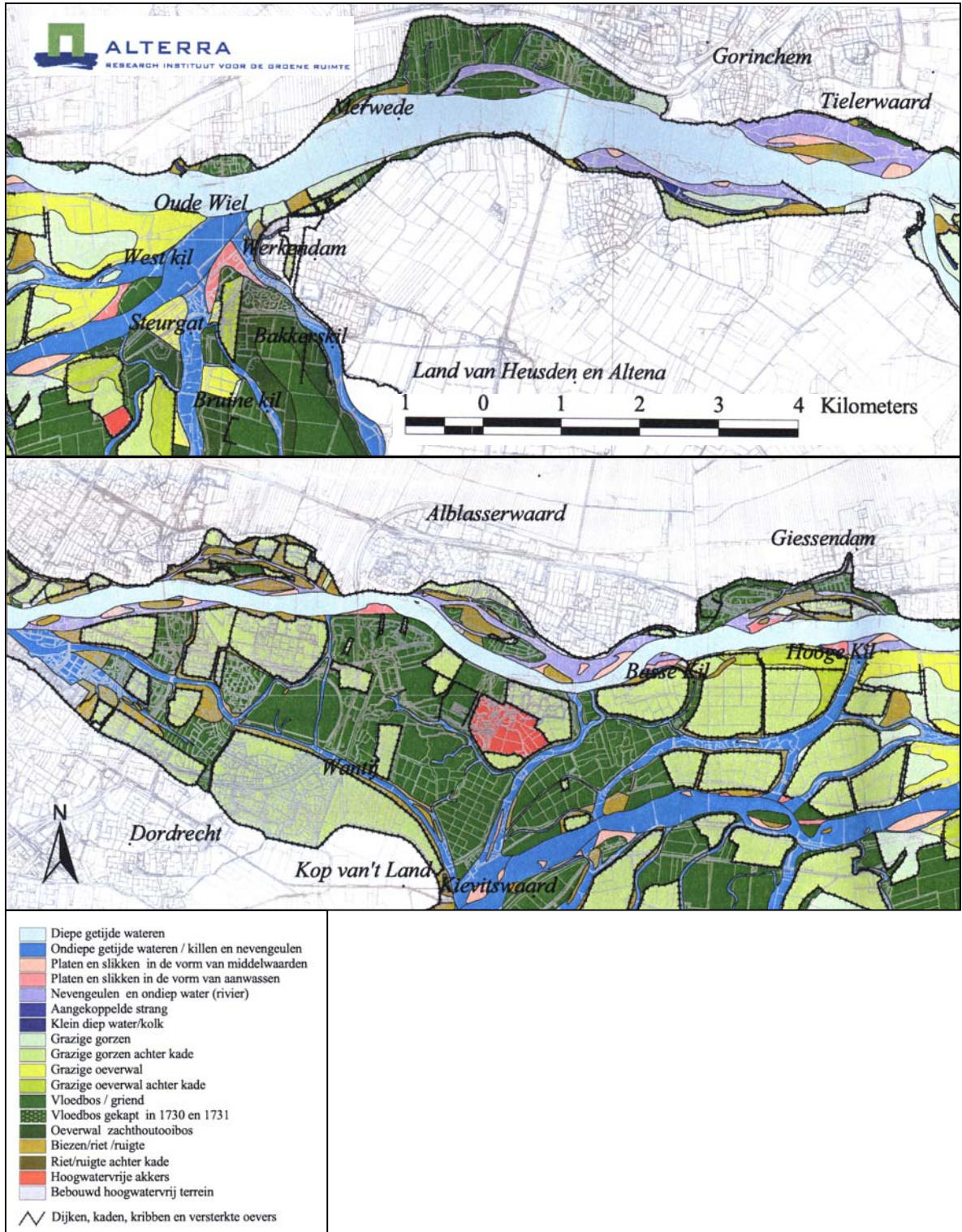
Kenmerkend voor dit traject zijn de ecotopen die samenhangen met de in de voorgaande periode ontstane opwassen. Ruim een derde van het gebied werd ingenomen door water: 16% door *zomerbed*, 11% door *killen* en 5% door *nevengeulen en strangen*. Hoewel er nog een aanzienlijk deel van de ecotopen uit de intergetijdzone voorkwam (*platen en slikken, biezen- en rietgors*) was dit areaal kleiner (8%) dan een eeuw daarvoor, omdat deze inmiddels omgevormd waren tot grienden. Ruim 35% van de uiterwaarden was begroeid met *griend / vloedbos*. Veel van de oude grienden waren ontgonnen tot graslandpolders (*grazige gorzen*), die samen met de *grazige oeverwallen* 15% van het gebied omvatten. Langs de bovenstroomse delen kwamen op de aanwassen *biezen- en rietruigten* voor.

### Beddingecotopen



### Uiterwaardecotopen





Ecotopenverdeling langs de Merwede – Hollandsche Biesbos rond 1833 (bron: Maas, 2000)

# Oude Maas

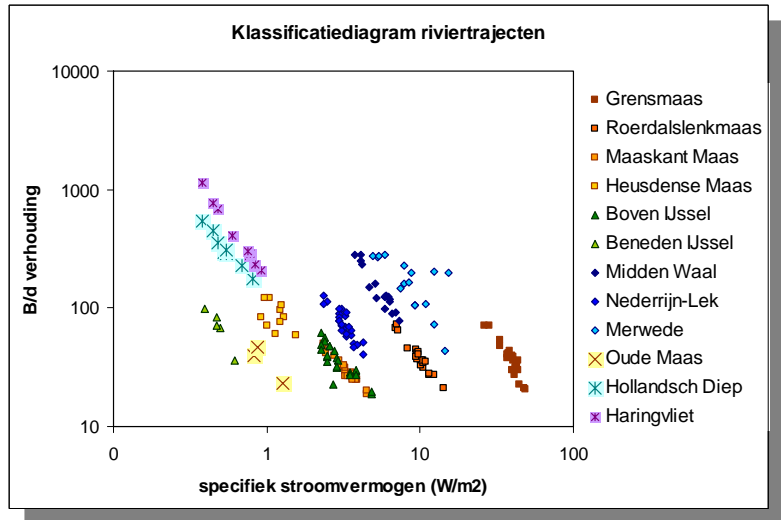
## Geomorfologie en processen

De Oude Maas is ontstaan uit de benedenlopen van de Waal en de Maas (Nieuwe Dubbel), die rond het jaar 1000 op deze plaats een veengebied doorsneden. Na de St. Elisabethsvloed in 1421 kreeg de Oude Maas het karakter van een getijdengeul. Omdat er toen tevens een brede open verbinding ontstond tussen Merwede en Haringvliet, nam het belang van de Oude Maas voor de afvoer van rivierwater af. Langs de oevers ontstonden opwassen, die door de aanvoer van slib en onder invloed van getij relatief snel opslibden. Vanwege de geschiktheid voor de landbouw werden deze opwassen bedijkt. Aan het eind van de 18e eeuw trad slechts weinig laterale erosie op van de geul. Rond 1738 werd nog ruim 40% van het gebied door water ingenomen, en waren er getijden- en nevengeulen. Deze laatste waren rond 1850 nagenoeg verdwenen, en ook slikken en platen kwamen weinig voor; nog maar 25% van het gebied bestond uit water.

Rond 1850 was de verticale getijbeweging in de Oude Maas gemiddeld in de orde van 130-150 cm. De vorming van opwassen was een van de belangrijkste

geomorfologische processen in het ontstaan van de overstromingsvlakten langs de Oude Maas. Erosie van oevers kwam vrijwel niet voor. Zandplaten in de Oude Maas en ook de gorzen en bedijkingen langs de randen van de geul slibden relatief snel op, waarbij de mens door de aanleg van kribben en slibvangen dit proces versnelde. Deze processen hingen samen met:

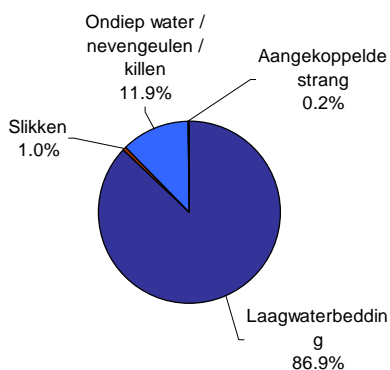
- de grote getijdeninvloed en de aanvoer van grote hoeveelheden slib die daar tijdens de kentering van het getij kon bezinken;
- de vermoedelijk sterke afname in getijstroom in de voorafgaande periode, wat leidde tot een natuurlijke aanpassing (verkleining) van het doorstroomprofiel;
- de geschiktheid van de aanwassen als landbouwgrond, wat bedijking stimuleerde.



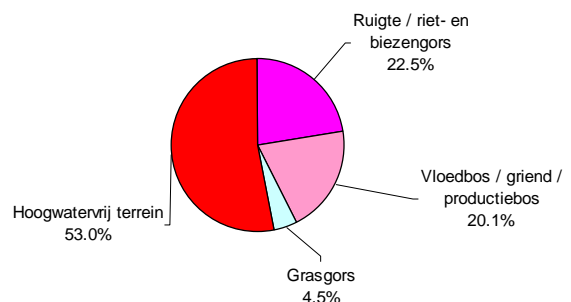
## Ecotopen

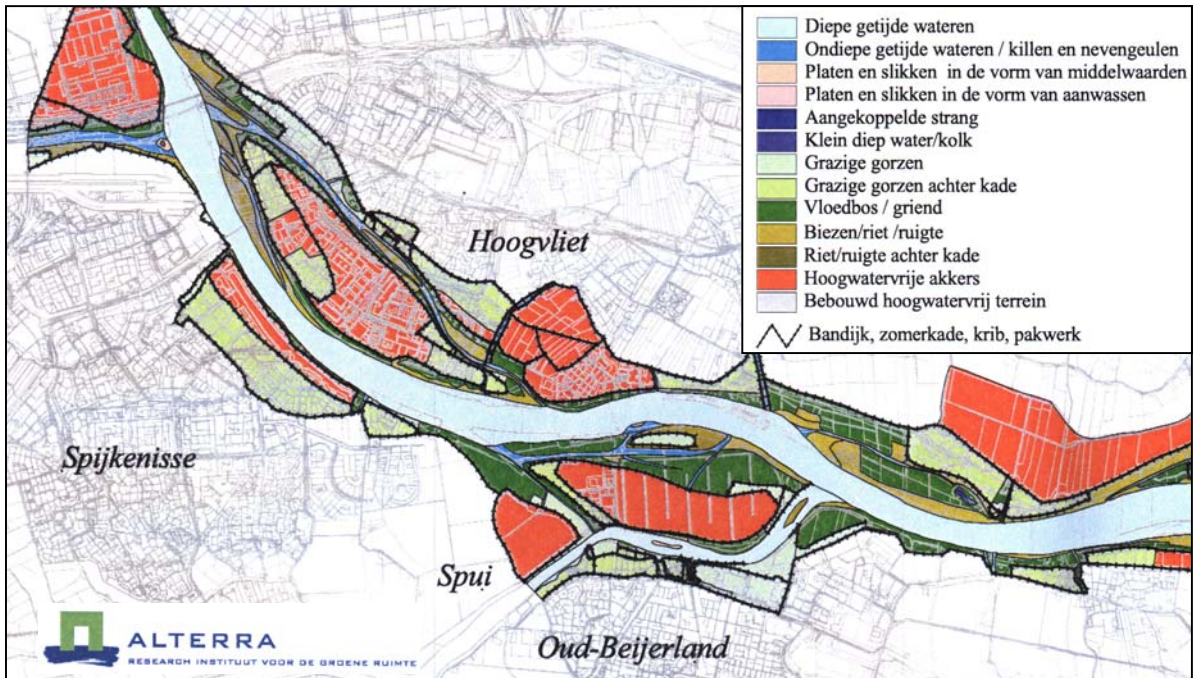
Ongeveer een kwart van het gebied bestond uit *open water*, waarvan 12 % door *killen* werd ingenomen, terwijl nevengeulen vrijwel ontbraken. De intergetijdezone besloeg bijna 17% van het gebied, en werd grotendeels ingenomen door *biezen- en rietgors*. In het westelijke deel waren *vloedbossen en grienden* (20% van het landoppervlak) karakteristiek, blijkbaar was het zoutgehalte hiervoor voldoende laag. *Grasgorzen* omvatten in totaal 17% van het landoppervlak, terwijl het grootste deel hiervan (14%) bekaad was. Ook *hoogwaterrijke akkers* namen een groot areaal in: meer dan een derde van het buitendijkse landoppervlak.

### Beddingecotopen

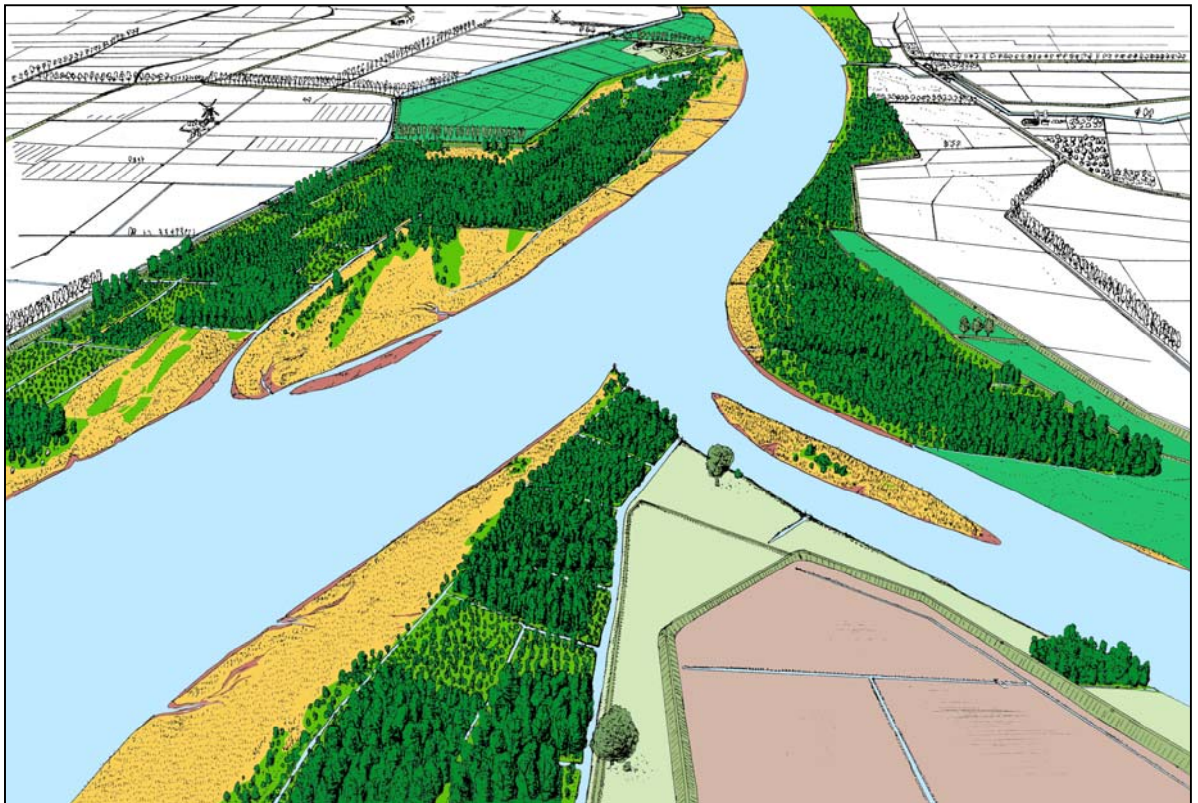


### Uiterwaardecotopen





Ecotopenverdeling langs de Oude Maas rond 1834 (bron: Maas, 2000)



Landschapsimpresie van de ecotopen langs de Oude Maas bij het splitsingspunt met het Spui rond 1834 (tekening: J. de Kramer).

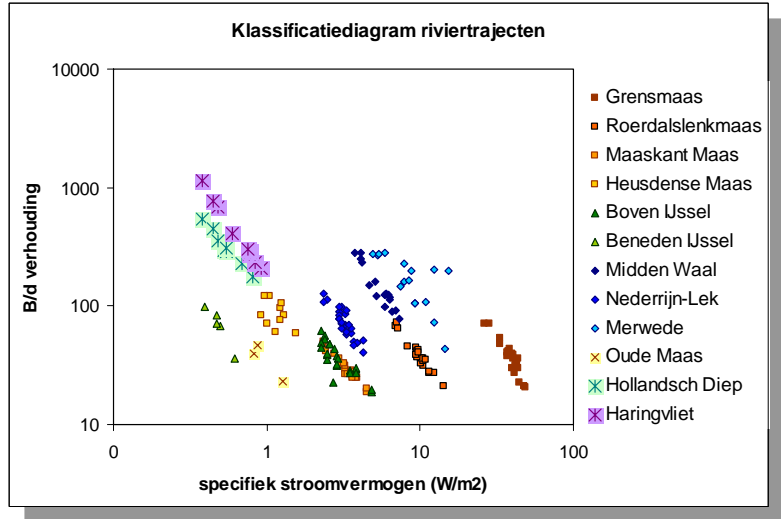
De kijkrichting is landinwaarts. Voor legenda: zie laatste blad bijlage.

# Hollandsch Diep - Haringvliet

## Geomorfologie en processen

Het Hollandsch diep en Haringvliet zijn ontstaan tijdens de St. Elisabethsvloed, en hebben sindsdien het estuarium gevormd van de Rijn en Maas, met naar het westen toe een toenemende getijdeninvloed en zoutgehalte. De morfologie in de 19e eeuw toont 15e en 16e eeuwse polders aan weerszijden van het estuarium als oudste bedijkte kernen, waarlangs jongere aanwassen tussen de 17e en 19e eeuw ingepolderd waren. De aanwassen ontstonden voornamelijk langs de oevers. De enige bedijkte opwas die als zandige opwas midden in het estuarium is ontstaan is het eiland Tiengemeten.

Rond 1850 bedroeg het getijdenverschil in het estuarium ongeveer 2 m. De breedte/diepte verhouding van het estuarium was groot, variërend van 200 tot 1000. Erosie en sedimentatie waren continue actieve processen. Getijgeulen veranderden door beddingerosie geleidelijk van plaats, en door opwas ontstonden zandplaten. Aanwas was het dominante morfologische proces langs de oeverzones. Hier ontstond een enkele honderden meters brede zone met de overgang van recent aangewassen slikken tot hoog opgeslibde gorzen, waarvan de hoogste delen bedijkt waren. Onder invloed van de begroeiing was de opslibbing tijdens de vloed zeer effectief. In de gorzen langs de oevers sneden zich krekken in. Vele hiervan zijn later rechtgetrokken om de hoger gelegen gorzen beter te ontwateren.

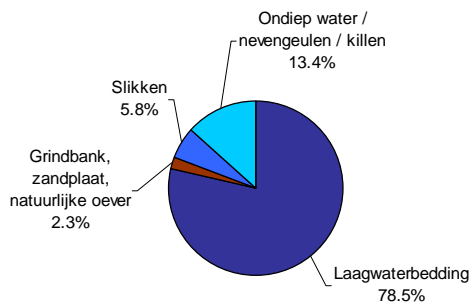


## Ecotopen

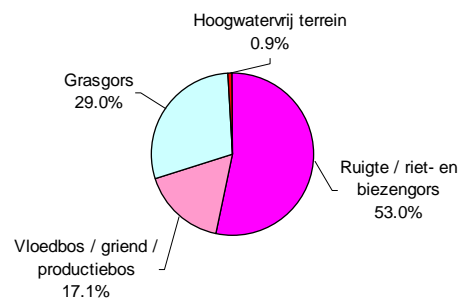
Bijna driekwart van het totale oppervlak werd ingenomen door *zoete / brak getijwater (B)*, waarvan 46% zeer diep, 15% diep en 12% ondiep (ondieper dan 1.5 m bij gemiddelde laagwaterstand in de zomer) was. In het Hollandsch Diep was dit oppervlak geringer dan in het Haringvliet. Ongeveer dertig procent van het buitendijkse gebied behoorde tot de inter- en supragetijdenzone. Hierbinnen namen de verschillende ecotoop-zones elk ongeveer een derde van het oppervlak in: *platen (Bs-2)* en *slikken (Bs-3)* (8%); *biezen- en rietgorzen (Kr)* 10%; *vloedbossen / grienden (Kb)* en *grazige gorzen (Gg)* 9%. De meeste grienden en grazige gorzen waren omgeven door een kade en liepen alleen onder bij waterstanden boven GHW. De ecotopensamenstelling en de relatieve oppervlakten van de ecotopen verschilde enigszins tussen het Hollands Diep en Haringvliet. De oppervlakten water, zandplaten en slikken waren oostelijk in het Hollandsch Diep het kleinst en namen in westelijke richting toe. In westelijke richting waren biezen- en rietgorzen in de successie vervangen door rietgorzen. Vloedbossen en grienden kwamen alleen nog voor in het Hollandsch Diep ten oosten van Willemstad, en in het Haringvliet niet, wat wellicht samenhangt met de toenmalige grens tussen zoet- en brakwater bij GHW en gemiddelde rivierafvoer van de Rijn.

### Hollandsch Diep

#### Beddingecotopen

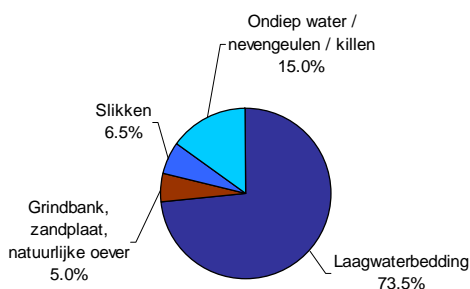


#### Uiterwaardecotopen

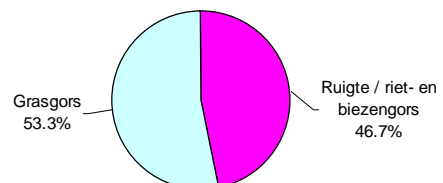


### Haringvliet

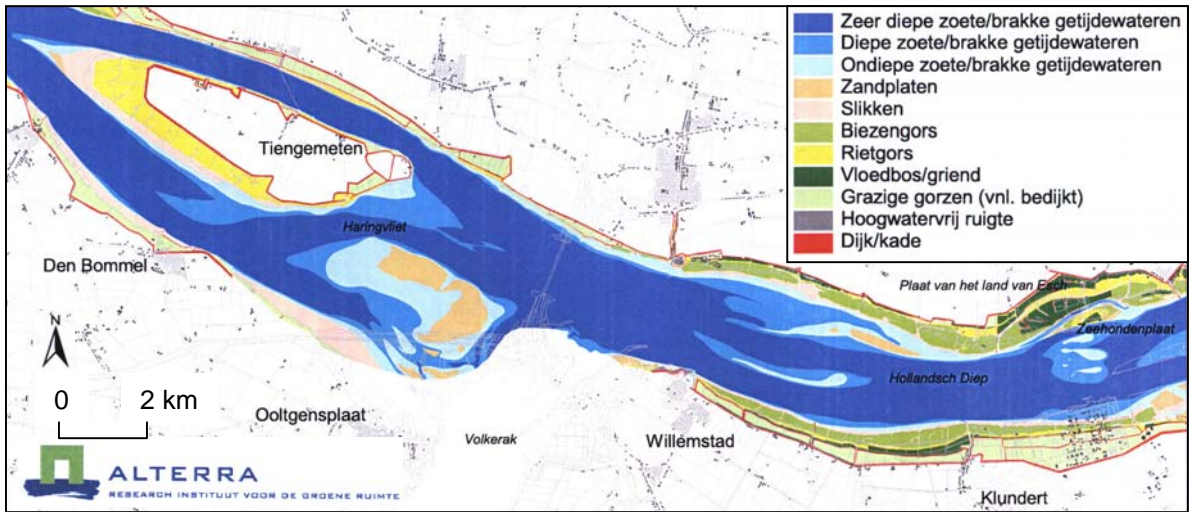
#### Beddingecotopen



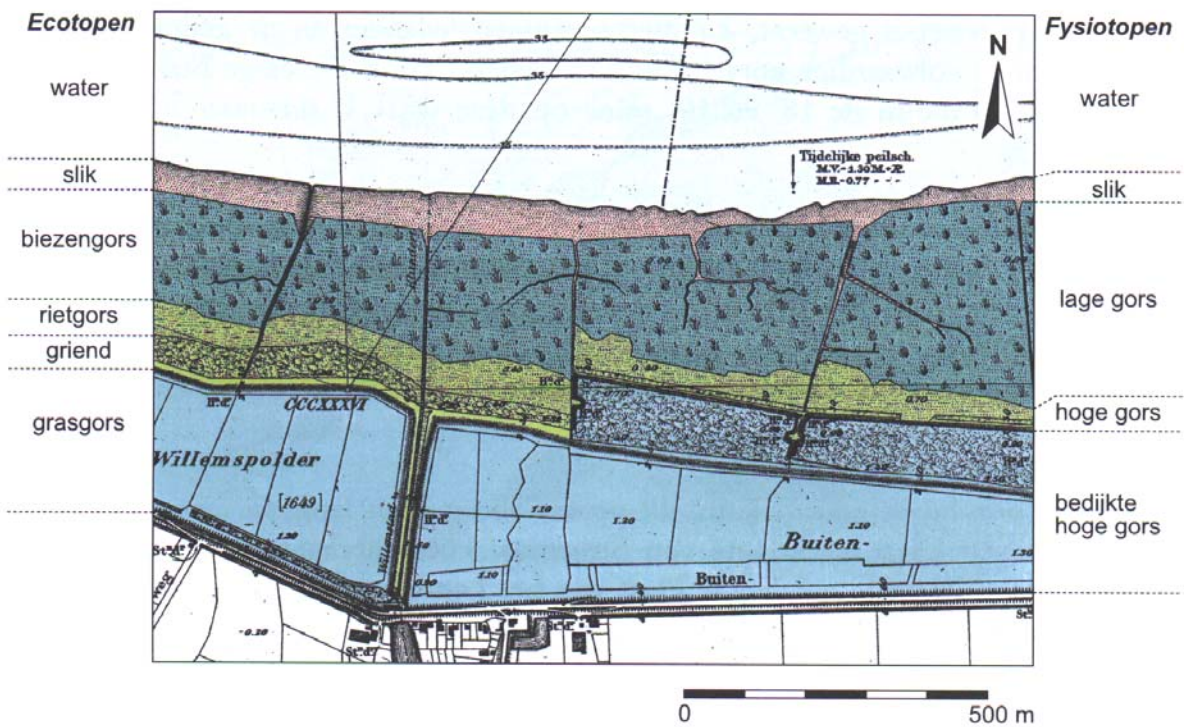
#### Uiterwaardecotopen







Ecotopenverdeling in het Hollandsch Diep - Haringvliet rond 1885 (bron: Maas, 2002)

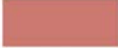


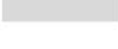


Zonering van verschillende ecotoopzones in de intergetijdezone van het Hollandsch Diep (bron: Maas, 2002).

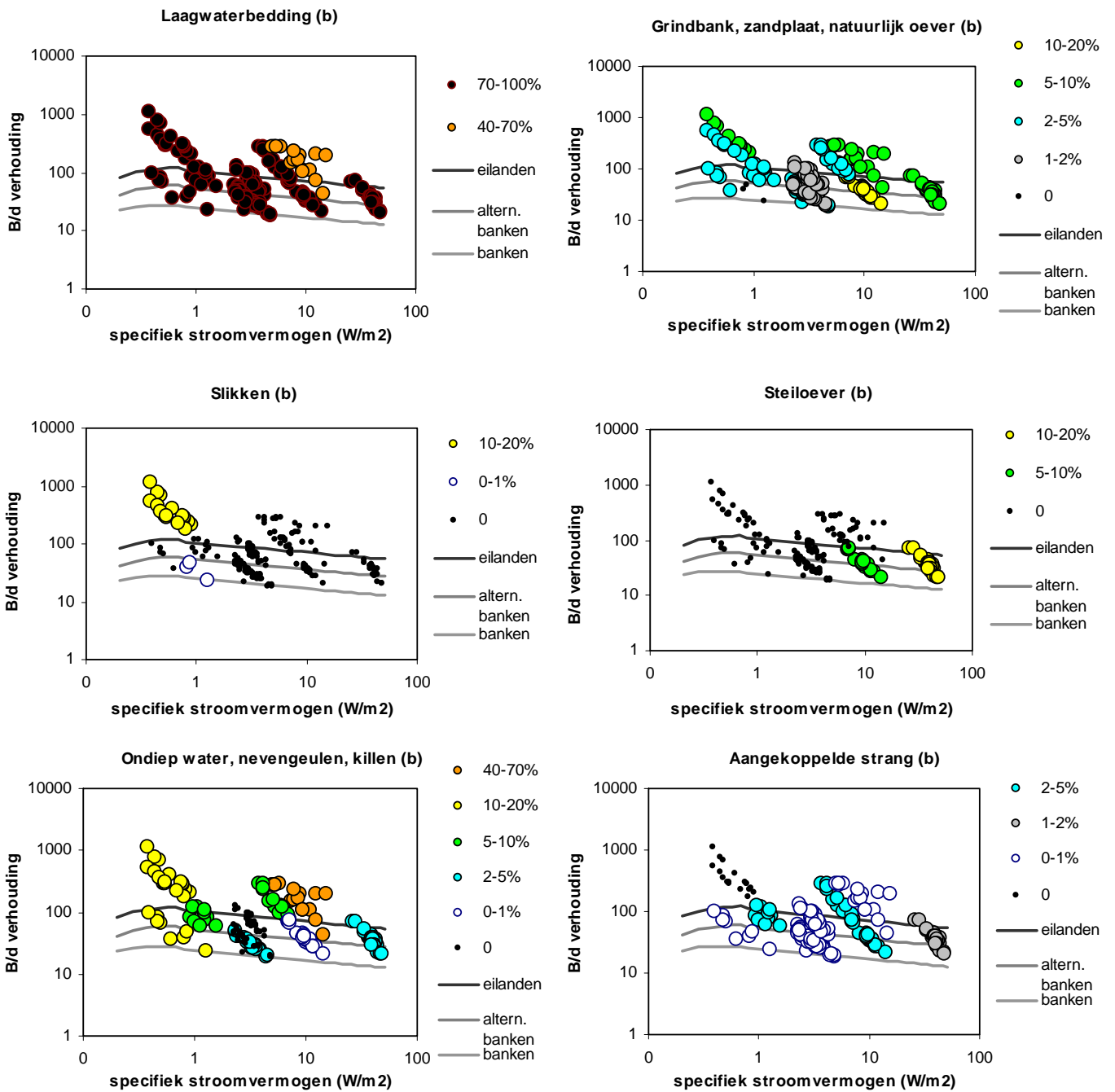
## Legenda landschapsimpressies Bovenrivieren

	water
	grind
	zand
	erosieve oever
	vochtminnende vegetatie
	ruigte
	zachthoutboomsoorten (wilgen en populieren)
	hardhoutboomsoorten (o.a. iepen, essen, eiken en meidoorns)
	aangeplante bomen en struiken
	boomgaard
	vochtig grasland
	gewoon of droog grasland
	bouwland
	dijk
	bebouwing en wegen

## Legenda landschapsimpressies Benedenrivieren (Oude Maas)

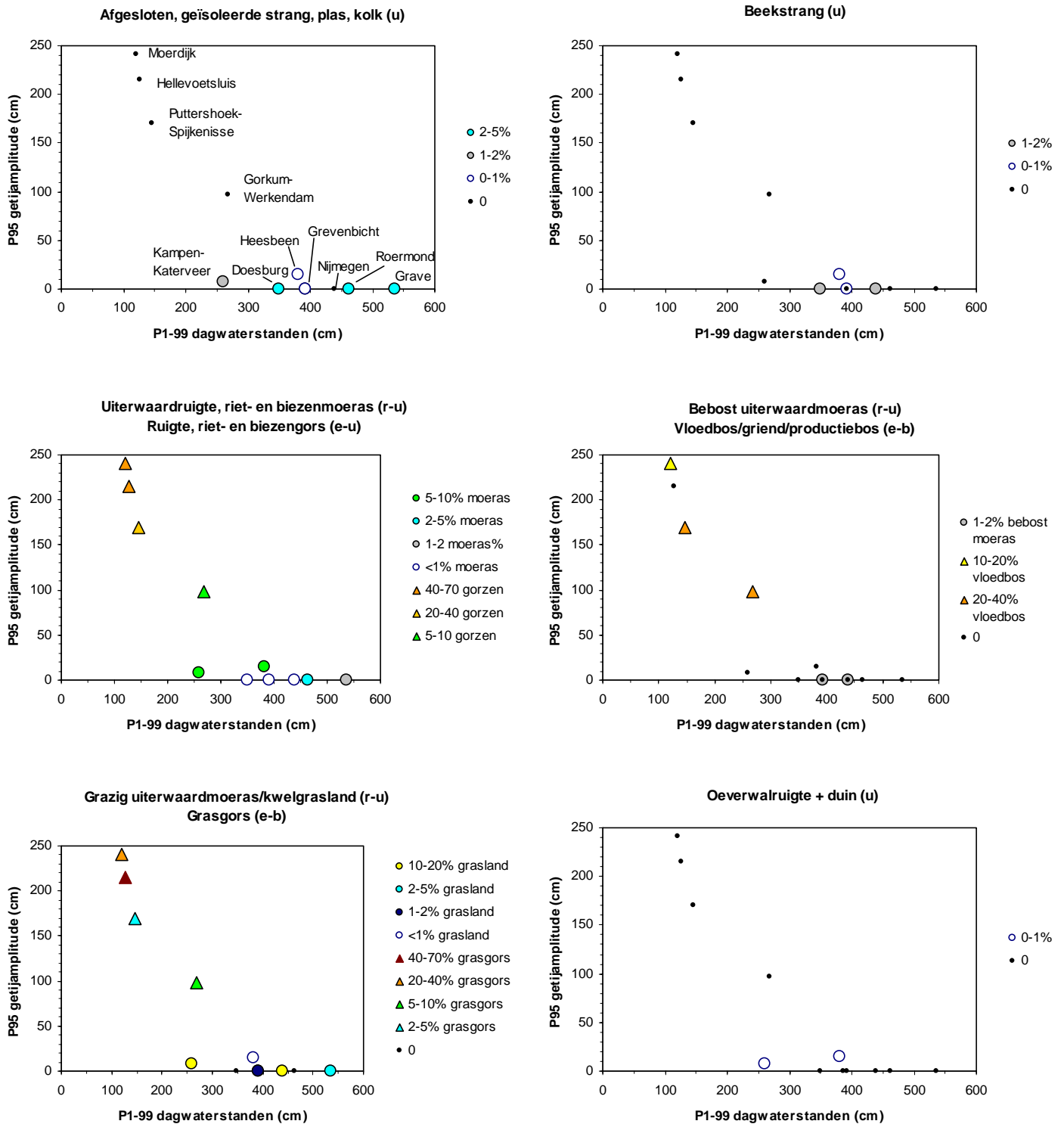
	water
	zand / klei / slib
	riet / vochtminnende vegetatie
	ruigte
	griend / zachthoutboomsoorten (wilgen en populieren)
	aangeplante bomen en struiken
	boomgaard
	gors
	grasland
	bouwland
	dijk
	bebouwing en wegen

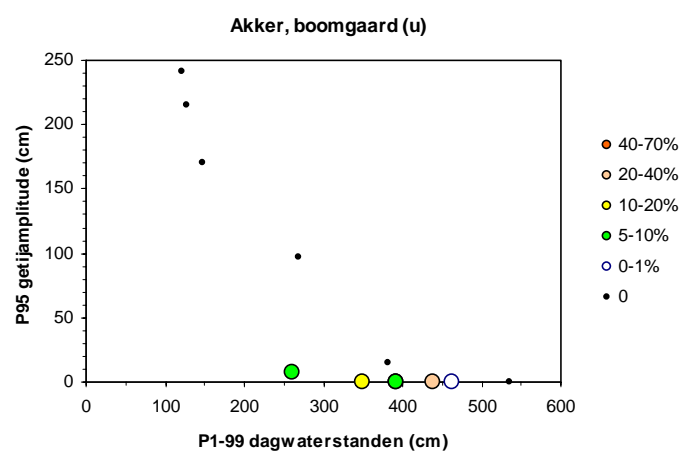
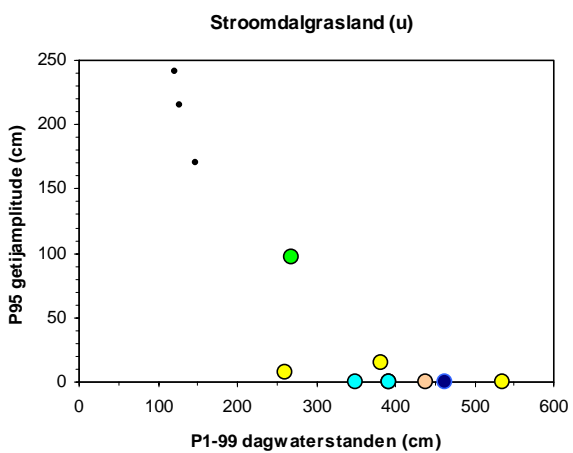
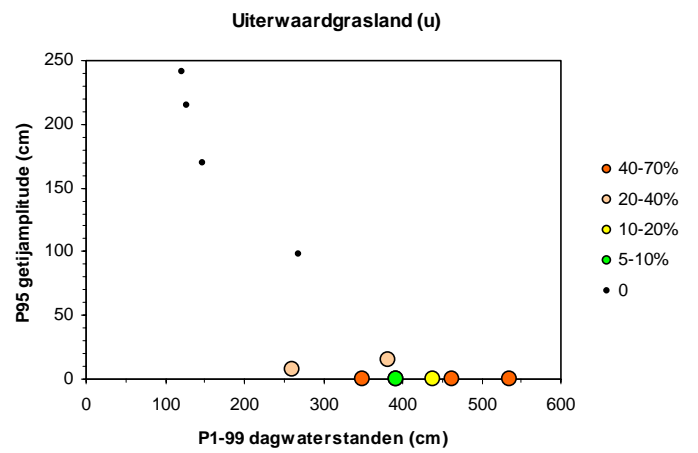
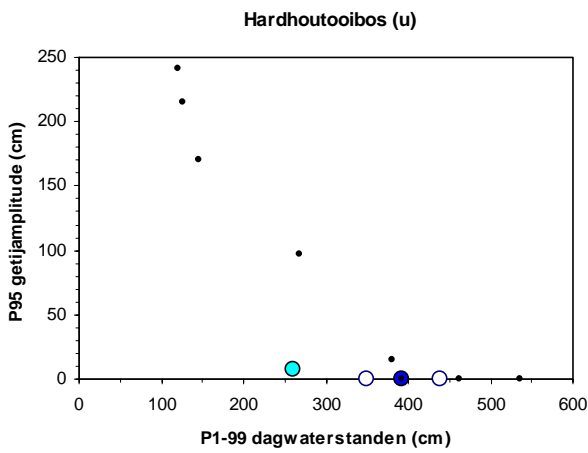
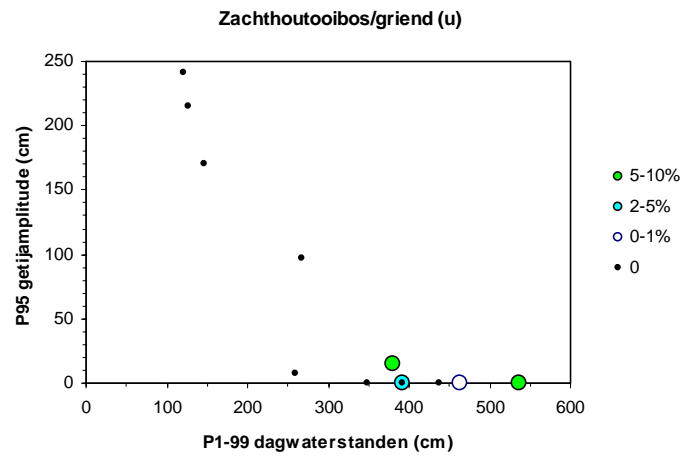
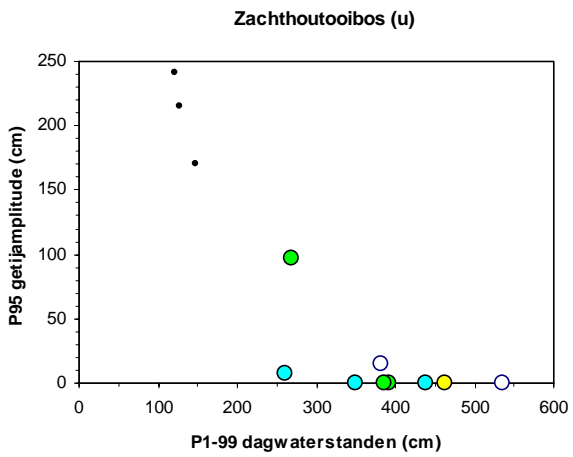
## Bijlage 6 Arealen beddingecotopen per riviertraject, weergegeven binnen het classificatiediagram voor morfodynamiek

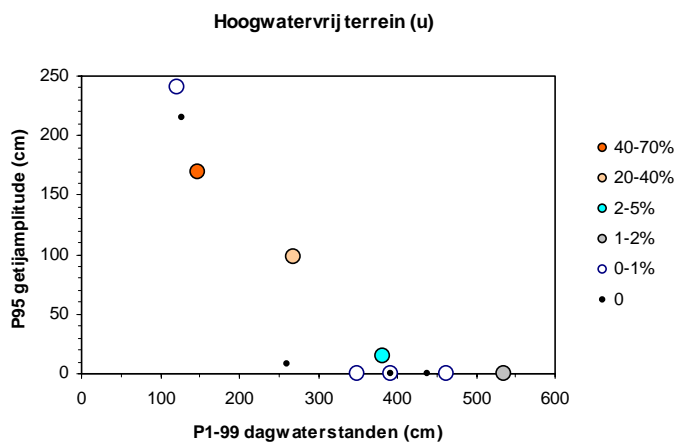


---

## Bijlage 7 Arealen uiterwaardecotopen per riviertraject, weergegeven binnen het classificatiediagram voor hydrodynamiek







---



---

## Bijlage 8 NCR Supervisory Board and NCR Programme Committee

---

### NCR Supervisory Board

**December 2003**

prof. dr. H.J. de Vriend, chairman  
WL I Delft Hydraulics  
email: Huib.deVriend@wldelft.nl

A.G. van Os, secretary  
programming secretary NCR  
email: Ad.vanOs@wldelft.nl

A.R. van Bennekom  
DG Rijkswaterstaat/RIZA  
email: a.r.vBennekom@riza.rws.minvenw.nl

prof. dr. E.A. Koster  
Utrecht University  
email: E.Koster@geog.uu.nl

prof. dr. M.J.F. Stive  
Delft University of Technology  
email: M.J.F.Stive@ct.tudelft.nl

prof. dr. P.H. Nienhuis  
University Nijmegen  
email: nienhuis@sci.kun.nl

prof. dr. S.J.M.H. Hulscher  
University Twente  
email: S.J.M.H.Hulscher@ctw.utwente.nl

M.W. Blokland  
Unesco-IHE Institute for Water Education  
email: mwb@ihe.nl

J. Ridder  
TNO-NITG  
email: j.ridder@nitg.tno.nl

prof. dr. J. Bouma  
ALTERRA  
email: Johan.Bouma@wur.nl

prof. dr. P.A. Troch  
University Wageningen  
email: Peter.Troch@wur.nl

### NCR Programme Committee

**December 2003**

prof. E. van Beek, chairman  
Delft University of Technology  
email: E.vanBeek@ct.tudelft.nl

A.G. van Os, secretary  
programming secretary NCR  
email: Ad.vanOs@wldelft.nl

G. Blom  
DG Rijkswaterstaat/RIZA  
email: g.blom@riza.rws.minvenw.nl

dr. H. Middelkoop  
Utrecht University  
email: H.Middelkoop@geog.uu.nl.

dr. C.J. Sloff  
WL I Delft Hydraulics  
Email: Kees.Sloff@wldelft.nl

dr. R. Leuven  
University Nijmegen  
email: rleuven@sci.kun.nl

dr. J.S. Ribberink  
University Twente  
Email: J.S.Ribberink@ctw.utwente.nl

N. Douben MSc.  
Unesco-IHE Institute for Water Education  
email: kjd@ihe.nl

dr. M.J. van Bracht  
TNO-NITG  
email: m.vanbracht@nitg.tno.nl

dr. H.P. Wolfert  
ALTERRA  
email: Henk.Wolfert@wur.nl

dr. R. Uijlenhoet  
University Wageningen  
email: Remko.Uijlenhoet@wur.nl

---

In this series the following publications were printed:

NCR-publication n°:

- 00-2000 "Delfstoffenwinning als motor voor rivierverruiming; kansen en bedreigingen", editors A.J.M. Smits, G.W. Geerling (in Dutch; out of stock, but can be downloaded from the NCR Internet site)
- 01-2000 "NCR Programma, versie 1999 – 2000", editors R. Leuven, A.G. van Os (in Dutch)
- 02-2000 "NCR workshop, de weg van maatschappelijke vraag naar onderzoek", editors A.F. Wolters, E.C.L. Martejn (in Dutch)
- 03-2001 "NCR dagen 2000, het begin van een nieuwe reeks", editors A.F. Wolters, C.J. Sloff, E.C.L. Martejn (partly in Dutch)
- 04-2001 "Umbrella Program IRMA-SPONGE, Background, Scope and Methodology", editors A. Hooijer, A.G. van Os
- 05-2001 "Summary of NCR Programme, version 2001 – 2002", editor A.G. van Os (also downloadable from the NCR Internet site)
- 06-2001 "The Netherlands centre for River Studies, a co-operation of the major developers and users of expertise in the area of rivers", editors A.G. van Os, H. Middelkoop
- 07-2001 "NCR-days 2001, from sediment transport, morphology and ecology to river basin management", editors E. Stouthamer, A.G. van Os
- 08-2001 "Land van levende rivieren: De Gelderse Poort", Stichting Ark, ISSN 90 5011 150 5; € 27,50
- 09-2001 "Guidelines for rehabilitation and management of floodplains, ecology and safety combined" editors H.A. Wolters, M. Platteeuw, M.M. Schoor
- 10-2001 "Living with floods: resilience strategies for flood management and multiple land use in the river Rhine basin", editors M. Vis, F. Klijn, M. van Buuren
- 11-2001 "Development and application of BIO-SAFE, a policy and legislation based model for the assessment of impacts of flood prevention measures on biodiversity in river basins", authors R.J.W. de Nooij, D. Alard, G. de Blust, N. Geilen, B. Goldschmidt, V. Huesing, J.R. Lenders, R.S.E.W. Leuven, K. Lotterman, S. Muller, P.H. Nienhuis, I. Poudevigne
- 12-2001 "Extension of the Flood Forecasting Model FloRIJN", authors E. Sprokkereef, H. Buiteveld, M. Eberle, J. Kwadijk
- 13-2001 "Interactive Flood Management and Landscape Planning in River Systems: Development of a Decision Support System and analysis of retention options along the Lower Rhine river", authors R.M.J. Schielen, C.A. Bons, P.J.A. Gijbers, W.C. Knol
- 13M-2001 "Interactive Flood Management and Landscape Planning in River Systems" - User Manual, version 1.0.0
- 14-2001 "Cyclic floodplain rejuvenation: a new strategy based on floodplain measures for both flood risk management and enhancement of the biodiversity of the river Rhine", editor H. Ducloux
- 15-2001 "Intermeuse: the Meuse reconnected", authors N. Geilen, B. Pedroli, K. van Looij, L. Krebs, H. Jochems, S. van Rooij, Th. van der Sluis
- 16-2001 "Development of flood management strategies for the Rhine and Meuse basins in the context of integrated river management",

- 
- authors M.B.A. van Asselt, H. Middelkoop, S.A. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, M. Haasnoot, J.C.J. Kwadijk, H. Buiteveld, G.P. Können, J. Rotmans, N. van Gemert, P. Valkering
- 17-2002 IRMA-SPONGE, "Towards Sustainable Flood Risk Management in the Rhine and Meuse River Basins", Proceedings of IRMA-SPONGE Final Working Conference, editors A.G. van Os, A. Hooijer
- 18-2002 IRMA-SPONGE, "Towards Sustainable Flood Risk Management in the Rhine and Meuse River Basins", (+ main results of the research project), editors A. Hooijer, A.G. van Os
- 18E-2002 IRMA-SPONGE, "Towards Sustainable Flood Risk Management in the Rhine and Meuse River Basins", main results of the research project, editors A. Hooijer, F. Klijn, J.C.J. Kwadijk, B. Pedrolì
- 18D-2002 IRMA-SPONGE, "Zu einem nachhaltigen Management des Hochwasserrisikos in den Einzugsgebieten von Rhein und Maas - die wichtigsten Ergebnisse", editors A.Hooijer, F. Klijn, J.C.J. Kwadijk, B. Pedrolì
- 18NL-2002 IRMA-SPONGE, "Naar een duurzaam hoogwater risico beheer voor het Rijn en Maas Stroomgebied", De belangrijkste conclusies van het onderzoeksprogramma, editors A. Hooijer, F. Klijn, J. Kwadijk, B. Pedrolì
- 18F-2002 IRMA-SPONGE, "Vers une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse", editors A.Hooijer, F. Klijn, J. Kwadijk, B. Pedrolì
- 19-2002 "Laseraltimetrie en Hydraulische Vegetatieruwheid van Uiterwaarden", authors M.R. Ritzen, M.W. Straatsma
- 20-2003 "NCR -days 2002, Current themes in Dutch river research", editors R.S.E.W. Leuven, A.G. van Os, P.H. Nienhuis
- 21-2003 "Kansrijkdom voor rivierecotopen vanuit historisch-geomorfologisch perspectief - Rijntakken - Maas - Benedenrivieren", authors H. Middelkoop, E. Stouthamer, M.M. Schoor, H.P. Wolfert, G.J. Maas.
- 22-2003 "Lowland River Rehabilitation 2003: an international conference addressing the opportunities and constraints, costs and benefits to rehabilitate natural dynamics, landscapes and biodiversity in large regulated lowland rivers. Programme, abstracts and participants. Wageningen, September 29 – October 2, 2003", editors A.D. Buijse, R.S.E.W. Leuven, M. Greijdanus-Klaas.