

32/uu6(621) 2^e ex

**Geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en
moerassen in de riviertrajecten van de Rijntakken**

H.P. Wolfert

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 621

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998

957049

REFERAAT

Wolfert, H.P., 1998. *Geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen in de riviertrajecten van de Rijntakken*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 621. 44 blz. 9 fig.; 6 tab.; 10 ref.

Historische kaarten zijn gebruikt om fysiotoepen en ecotopen in zes riviertrajecten van Waal, Lek en IJssel in verband te brengen met rivierkundige parameters. Welke fysiotoepen en ecotopen ontstaan hangt af van de breedte-diepteverhouding, stroomsnelheden in de uiterwaard, overstromingsfrequentie en waterstandsfluctuaties. De huidige variatie daarin is ook berekend en gebruikt om binnen de Rijntakken trajecten te onderscheiden die verschillende mogelijkheden bieden voor de ontwikkeling van kronkelwaardbanken, open, gesloten en dichtgeslibde strangen en moeras. Praktische informatie voor de toepassing in planvorming en inrichting wordt gegeven per fysiotoop en ecotoop.

Trefwoorden: ecotoop, fysiotoop, geomorfologie, rivierkunde, Rijntakken

ISSN 0927-4499

© 1998 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding en doel	11
1.2 Studiegebied	12
1.3 Werkwijze en gegevens	12
1.4 Opzet rapport	15
2 Historische referenties	17
2.1 Fysiotopen en ecotopen	17
2.1.1 Classificatie en beschrijving	17
2.1.2 Ontwikkelingsreeks	20
2.2 Morfodynamiek en hydrodynamiek	26
2.2.1 Classificatiediagram	26
2.2.2 Overstroming en waterstandsfluctuatie	29
2.2.3 Randvoorwaarden voor fysiotopen en ecotopen	30
3 Huidige geomorfologische geschiktheid	31
3.1 Morfodynamiek en hydrodynamiek	31
3.1.1 Classificatiediagram	31
3.1.2 Overstroming en waterstandsfluctuatie	32
3.1.3 Geschiktheid voor fysiotopen en ecotopen	34
3.2 Toepassing in planvorming en inrichting	36
3.2.1 Reikwijdte en beperkingen van de resultaten	36
3.2.2 Staalkaarten voor fysiotopen en ecotopen	36
Literatuur	43

Woord vooraf

Dit onderzoek is een onderdeel van het deelprogramma RIV*MEANDER*GEO van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA). Doel van het deelprogramma is het aanduiden van trajecten langs de Rijn die op grond van hun geomorfologie geschikt zijn voor het realiseren van diverse rivierecotopen. In dit kader wordt tegelijkertijd met dit onderzoek door RIZA een onderzoek naar het voorkomen van oeverwallen en rivierduinen afgerond.

Het in dit rapport beschreven onderzoek is in opdracht van RIZA uitgevoerd door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) in samenwerking met de Universiteit Utrecht (UU) en het Waterloopkundig Laboratorium (WL). A.W. Hesselink (UU) en G.J. Maas (SC-DLO) hebben de historische kaartanalyses verricht. Rivierkundige berekeningen zijn uitgevoerd door J.J.P. Lambeek en E. Mosselman (WL). De synthese van de onderdelen is uitgevoerd door H.P. Wolfert (SC-DLO) in nauw overleg met M.M. Schoor (RIZA), die ook projectbegeleider bij RIZA was en aanvullende rivierkundige berekeningen voor haar rekening nam. B. Schutte (RIZA) heeft de daarvoor benodigde GIS-gegevens bewerkt en aangeleverd. Daarnaast was er een begeleidingsgroep bestaande uit W.B.M. ten Brinke, E.F.M. Geilen, H. Middelkoop en M.H.I. Schropp (allen RIZA).

De synthese van de genoemde deelstudies is onderwerp van dit rapport. Over de historisch-geomorfologische analyses en de riviervierkundige berekeningen is meer gedetailleerde informatie beschikbaar in drie deelrapporten:

- Hesselink, A.W., 1998. Ontwikkeling van de uiterwaarden langs de Lek. Vanaf de 16^e eeuw tot heden. Amsterdam, Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek. Rapport 98/7.
- Maas, G.J., 1998. Historisch-geomorfologische ontwikkeling van enkele riviertrajecten langs de IJssel. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 620.
- Lambeek, J.J.P. en E. Mosselman, 1998. Huidige en historische rivierkundige parameters van de Nederlandse Rijntakken. Delft, Waterloopkundig Laboratorium. Rapport Q2382.

Samenvatting

Doelstellingen

Het onderzoek bouwde voort op een voorbeeldstudie, waarin vanuit een historisch-geomorfologisch en rivierkundig perspectief de Waal bij Dodewaard en de IJssel bij Doesburg onderzocht zijn op kansrijkdom voor diverse rivierecotopen (Maas et al., 1997). Om ook uitspraken te kunnen doen over anderssoortige riviertrajecten, en met name die met een gestuwd rivierregime, zijn nu trajecten van de Lek bij Culemborg en Vianen en de IJssel bij Olst en Wilsum onderzocht. Tevens is meer aandacht besteed aan de huidige verschillen in rivierkundige kenmerken in de Rijntakken. De synthese van het onderzoek is onderwerp van dit rapport.

Historische referenties

Op basis van historische kaarten uit de 17^e tot en met de 19^e eeuw is nagegaan welke fysiotopten (het abiotische deel van ecotopen) en ecotopen in deze trajecten voorkwamen en welke ontwikkeling en opeenvolging zij doormaakten. Er blijken duidelijke verschillen te zijn tussen de onderzochte riviertrajecten. Brede nevengeulen en eilanden kwamen veel voor in de Waal bij Dodewaard en de IJssel bij Wilsum, en ook wel in de Lek. Open strangen waren typisch voor de Waal bij Dodewaard; gesloten strangen kwamen veel voor langs de IJssel bij Doesburg en de Lek bij Culemborg. Dichtgeslibde strangen kwamen relatief veel voor langs de IJssel bij Olst en Wilsum en de Lek bij Culemborg. De Waal bij Dodewaard en de IJssel bij Wilsum onderscheidden zich door meer op- en aanwassen. Oude kronkelwaardruggen en kronkelwaardgeulen waren typisch voor de IJssel. Beekstrangen kwamen alleen voor langs de Boven-IJssel bij Doesburg. Moeras tenslotte kwam veel voor op op- en aanwassen in de Lek bij Vianen en de IJssel bij Wilsum.

Om een verklaring te kunnen vinden voor de beschreven verschillen zijn voor de historische situatie enkele rivierkundige parameters berekend. Met betrekking tot de morfodynamiek zijn de breedte-diepteverhouding en de Shieldsparameter uitgezet in een classificatiediagram dat een beeld geeft van de geomorfologische activiteit van een rivier. Het blijkt dat de berekende waarden goed overeen komen met de waargenomen fysiotopten: de Waal bij Dodewaard wordt in het diagram geclassificeerd als een rivier met eilanden en hoge kronkelwaardbanken, de Neder-Rijn/Lek bij Culemborg als een rivier met hoge kronkelwaardbanken en eilandvorming bij lagere afvoeren en de IJssel bij Wilsum als een rivier met alleen hoge kronkelwaardbanken. Op basis van berekeningen van de overschrijding van waterstanden kon duidelijk gemaakt worden dat de IJssel bij Wilsum zich qua hydrodynamiek onderscheidt door geringe waterstandsfluctuaties, hetgeen ruimtelijk gerelateerd was aan het voorkomen van moerassen.

Vervolgens zijn de gevonden verbanden vertaald in randvoorwaarden voor het ontstaan of voortbestaan van fysiotopten en ecotopen. Een algemene randvoorwaarde voor het op natuurlijke wijze ontstaan van fysiotopten in het zomerbed is erosie van oevers. Nevengeulen en opwassen ontstaan in de Rijntakken pas bij een breedte-

diepteverhouding van minimaal 100; voor op- en aanwassen, kronkelwaardgeulen en -ruggen en open strangen is een breedte-diepteverhouding nodig van minimaal 40. Of een strang open blijft, gesloten raakt of dichtslibt is afhankelijk van de stroomsnelheid in de uiterwaard gedurende overstroming. Moeras tenslotte, vraagt een maximale waterdiepte van 50-70 cm en een waterstand die in maar 5% van de tijd meer dan 50 cm onder de mediane waterstand ligt.

Huidige geschiktheid

Inzicht in de huidige geschiktheid van delen van de Rijntakken is verkregen door deze randvoorwaarden voor fysiotopten en ecotopten te vergelijken met huidige waarden voor de bovengenoemde rivierkundige parameters. Uit berekeningen van de breedte-diepteverhouding en de Shieldsparemeter blijkt dat de Rijntakken ondanks de normalisatie nog steeds een verschillende morfodynamiek hebben. De morfodynamiek is echter sterk verminderd. In de Boven-Rijn en Waal is de vorming van hoge of lage kronkelwaardbanken mogelijk. Ook langs de Beneden-IJssel kunnen in sterk gekromde meanders lage kronkelwaardbanken ontstaan. Elders echter zijn er geen mogelijkheden meer voor de natuurlijke vorming van kronkelwaardbanken of eilanden en de daarmee samenhangende open strangen. Eenmaal gevormde strangen kunnen langs de Boven-Rijn en de Boven- en Midden-Waal nog steeds open blijven. De IJssel onderscheidt zich door de betere mogelijkheden voor de ontwikkeling van hardhoutoebos op de daar aanwezige kronkelwaardruggen.

Geringe waterstandsfluctuaties in combinatie met een frequente overstroming komen daarentegen nu ook voor in de kunstmatig gestuwde Neder-Rijn/Lek. De mogelijkheden voor moeras en dichtgeslibde strangen zijn daarmee groter geworden: naast de Beneden-IJssel en de Lek vanaf Hagestein bieden nu ook het stuwpand Amerongen-Hagestein en het middelste deel van het stuwpand Driel-Amerongen hiervoor perspectief. De toevoer van kwelwater aan de voet van stuwwallen geeft ontwikkelingsmogelijkheden voor beekstrangen langs de Boven-IJssel en langs de Neder-Rijn van Arnhem tot Opheusden.

Deze resultaten zijn toepasbaar bij planvorming en inrichting. Er kunnen verschillende beleids- en beheersdoelstellingen geformuleerd worden voor de diverse riviertrajecten in de Rijntakken. Daarmee speelt men in op de mogelijkheden die geomorfologische en landschapecologische processen bieden. Hiermee wordt de kans op succesvolle realisatie van beleid groter en zal ook de benodigde beheersinspanning kleiner zijn. Wel moet men zich bij toepassing bedenken dat deze hier geformuleerde resultaten vooral toepasbaar zijn op het niveau van riviertrajecten en niet gebruikt mogen worden voor gedetailleerde inrichtingsplannen voor uiterwaarden waarvan geen gegevens beschikbaar zijn. Als handvat voor de planvorming wordt tenslotte een overzicht gepresenteerd waarin voor een aantal fysiotopten en ecotopten praktische informatie wordt gegeven over achtereenvolgens: definitie en belang, vorming en randvoorwaarden, kansrijke trajecten, historische ordening (in de uiterwaard) en maatregelen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In 1996/1997 is door DLO-Staring Centrum en het RIZA in samenwerking een voorbeeldstudie uitgevoerd naar de classificatie van riviertrajecten en de kansrijkdom voor ecotopen (Maas et al., 1997). Vanuit historisch-geomorfologisch en rivierkundig perspectief zijn de Waal tussen Nijmegen en Tiel en de IJssel tussen Westervoort en Zutphen onderzocht op kansrijkdom voor diverse ecotopen. Hieruit kwam naar voren dat combinatie van historisch-geomorfologisch en rivierkundig onderzoek inzicht geeft in de processen die een rol spelen bij de aanwezigheid, het ontstaan en het verdwijnen van fysiotopen in en langs de grote rivieren. Er is een classificatiediagram opgesteld, waarmee snel een beeld verkregen kan worden van de ecologisch relevante activiteit van de rivier. Hierin zijn de twee trajecten van de historische en de huidige Waal en IJssel opgenomen. Onderscheidende parameters zijn de breedte-diepte-verhouding en het stroomvermogen of de Shieldsparameter.

Om een uitspraak te kunnen doen over de geomorfologische geschiktheid van alle trajecten langs de Rijntakken, diende de kennis uitgebreid te worden met inzichten over de historische ontwikkeling, de geomorfologische gesteldheid en de rivierkundige processen in trajecten met een ander karakter dan de al bestudeerde. De reeds bestudeerde trajecten van Waal en IJssel liggen voor Nederlandse begrippen bovenstrooms. Stroomafwaarts krijgen de Rijntakken een meer sedimentatief karakter. De classificatie is bovendien opgesteld voor een geulvullende, ongestuwde situatie. In de benedenstroomse trajecten en de stuwpanden in de Neder-Rijn/Lek treedt echter bij lagere afvoeren stuwing op. Het effect daarvan op de kansrijkdom van ecotopen diende eveneens nader bestudeerd te worden. De grondwaterstand in de uiterwaard en het waterpeil in geulen, strangen en plassen/moerassen zal in een gestuwde situatie minder fluctueren en nooit echt laag zijn. Voor nevengeulen is ook van belang dat stuwing de stroomsnelheid vrijwel tot nul reduceert. Het leek daarom wenselijk om de classificatie aan te vullen met een parameter die deze invloed van stuwing afdekt. Daarbij werd gedacht aan de grondwatertrap in de uiterwaarden, het bodemtype of het hoogteverschil tussen lage en geulvullende waterstand.

Doel van dit onderzoek was derhalve de bepaling van de geomorfologische geschiktheid van alle riviertrajecten van de Rijntakken voor diverse rivierecotopen. Aangezien de geschiktheid voor oeverwallen en rivierduinen in een ander project bij het RIZA wordt bestudeerd (Schoor, mond. med.), beperkte deze studie zich tot de geomorfologische geschiktheid voor nevengeulen, strangen en moerassen, die een lager gelegen positie in de uiterwaarden innemen. De benedenrivieren worden niet tot de Rijntakken gerekend: de grens van het studiegebied lag bij Schoonhoven en Gorinchem.

1.2 Studiegebied

Aanvullend op de trajecten van de sterk meanderende IJssel en de zwak meanderende Waal zijn van vier trajecten de historische fysiotopen en ecotopen bestudeerd. Deze trajecten vormen de overgang van de eerder bestudeerde trajecten naar de benedenrivieren. Er werd verwacht dat van deze trajecten voldoende historische kaarten aanwezig zouden zijn. Bovendien waren van (delen van) deze trajecten bodemkundige of sedimentologische gegevens beschikbaar. Onderzocht zijn de trajecten (fig. 1):

- Lek-Culemborg: een zwak meanderend traject van de Lek tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en Fort Everdingen (km 929-935);
- Lek-Vianen: een traject van de Lek tussen Vianen en Schoonhoven (km 951-969) met smalle uiterwaarden en invloed van opstuwing door getijdenwerking;
- IJssel-Olst: een zwak meanderend traject van de IJssel bij Olst (km 953-958);
- IJssel-Wilsum: de IJssel tussen de Vreugderijker waard en Kampen (km 981-993), een sterk meanderend traject onder invloed van opstuwing vanuit de Zuiderzee.

In het onderzoek zijn de trajecten Lek-Culemborg en IJssel-Wilsum gedetailleerder onderzocht dan de trajecten Lek-Vianen en IJssel-Olst. De eerder bestudeerde trajecten van de IJssel en de Waal worden in deze studie aangeduid met de namen IJssel-Doesburg en Waal-Dodewaard.

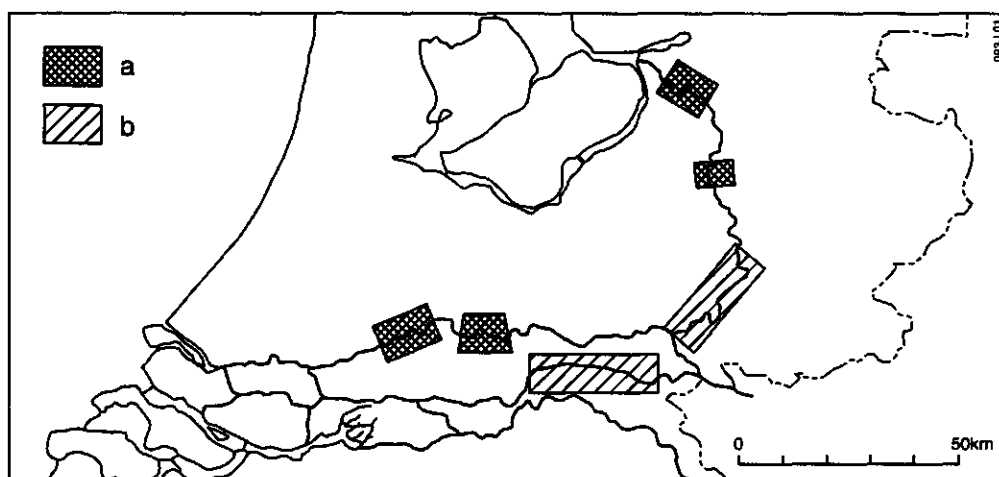


Fig. 1 De ligging van de onderzochte riviertrajecten (a: deze studie; b: Maas et al., 1997)

1.3 Werkwijze en gegevens

De gevolgde werkwijze wordt hier beknopt beschreven. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar Maas et al. (1997), Hesselink (1998), Maas (1998) en Lambeek en Mosselman (1998).

Historisch-morfologische en -ecologische situatie

Van de vier trajecten bleken voldoende historische kaarten aanwezig te zijn voor een historisch-geomorfologische interpretatie (fig. 2). De trajecten Lek-Culemborg, Lek-

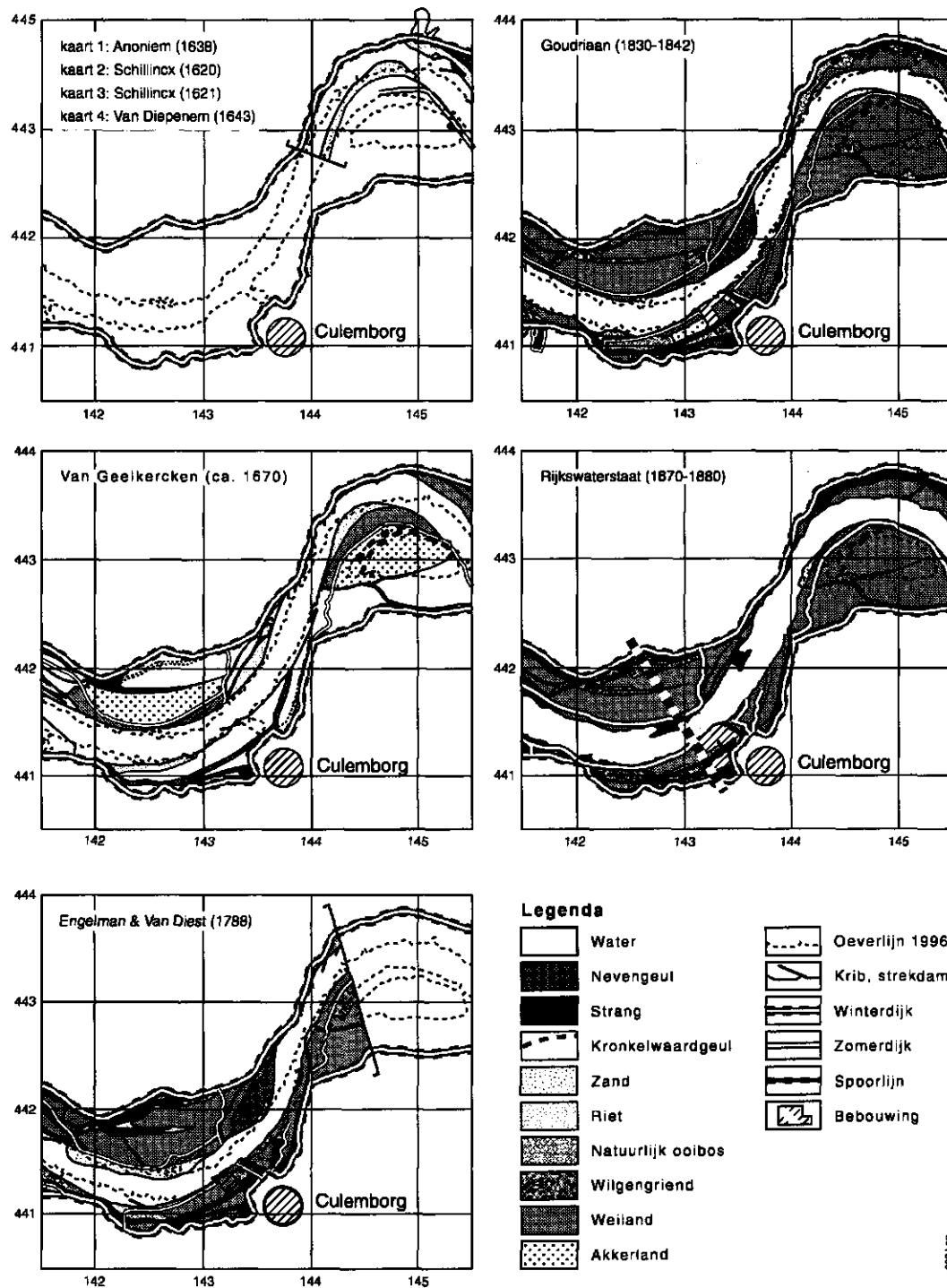


Fig. 2 De historische ontwikkeling van een deel van het traject Lek-Culemborg, zoals afgeleid kon worden uit historische kaarten (uit: Hesselink, 1998)

Vianen en IJssel-Wilsum zijn gedetailleerd onderzocht, het traject IJssel-Olst meer globaal. Onderzocht zijn de morfologische activiteit en de daarbij behorende gebiedseigen fysiotoen en ecotoen (zie voor een definitie par. 2.1). De nadruk lag daarbij op de fysiotoen nevengeulen, strangen en moerassen. Daarnaast werd aandacht besteed aan natuurlijke oevers. Er zijn geen digitale kaartbestanden

opgebouwd: er is volstaan met een kwalitatieve indruk van de trajecten. Samen met de gegevens uit de voorbeeldstudie waren historische kaarten van fysiotopen en ecotopen beschikbaar uit de jaren:

- Waal-Dodewaard: 1780 1830
- IJssel-Doesburg: 1750 1840
- IJssel-Olst: 1842 + schets van de ontwikkeling vanaf 1652/1712
- IJssel-Wilsum: 1842 + schets van de ontwikkeling vanaf 1670
- Lek-Culemborg: 1670 1788 1830 1880 + deels van 1575 en 1641
- Lek-Vianen: 1750 1830 1880 1910 + deels van 1553 en 1632

Rivierkundige parameters historische situatie

Voor de trajecten Lek-Culemborg en IJssel-Wilsum zijn ook kaarten met historische peilingen verzameld, zodat daarvoor de historische breedte-diepteverhouding en de Shieldsparameter berekend konden worden die nodig waren voor invulling van het eerdergenoemde classificatiediagram (zie voor de betekenis par. 2.2.1). Hiervoor zijn historische dwarsprofielen berekend. Was de berekening in de voorbeeldstudie nog alleen voor de geulvullende afvoer uitgevoerd, hier zijn beide parameters berekend voor de vier afvoeren Q95, Q75, Q35 en Q10. Ook voor het traject Waal-Dodewaard zijn deze vier doorgerkend, zodat de volgende informatie beschikbaar was:

- Waal-Dodewaard: 1801, km 30-37, Q95, Q75, Q35 en Q10
- IJssel-Doesburg: 1776, km 897-903, Qbf
- Lek-Culemborg: 1818, km 937-945, Q95, Q75, Q35 en Q10
- IJssel-Wilsum: 1865, km 981-990, Q95, Q75, Q35 en Q10

Tevens zijn de overschrijdingslijnen van waterstanden berekend voor de:

- Waal (Nijmegen): 1770-1799 1821-1849
- Neder-Rijn (Arnhem): 1821-1849 1854-1882
- Lek-Culemborg (Culemborg): 1854-1882 1921-1949
- IJssel-Wilsum (Katerveer): 1821-1849

Rivierkundige parameters huidige situatie

Op basis van gegevens uit de literatuur zijn de breedte-diepteverhouding en Shieldsparemeter in de huidige situatie voor alle trajecten berekend, eveneens voor de vier afvoeren Q95, Q75, Q35 en Q10, en in het classificatiediagram ingevoerd. Op dezelfde locaties zijn dwarsprofielen van het zomerbed en het winterbed getekend met daarin de waterstanden bij deze vier afvoeren. Beschikbaar kwamen zodoende gegevens voor de:

- Waal: (geheel tot Gorinchem; 4 profielen)
- Pannerdensch Kanaal: (1 profiel)
- Neder-Rijn/Lek: (Arnhem-Hagestein; 7 profielen)
- IJssel: (geheel; 6 profielen)

De waterstanden bij Q 95, Q75, Q35, Q10 zijn tevens geprojecteerd in het lengteprofiel voor de:

- Boven-Rijn:
- Waal: (tot km 82)
- Pannerdensch Kanaal:
- Neder-Rijn/Lek: (tot km 65)
- IJssel: (tot km 112)

De overschrijdingsduur van waterstanden is berekend voor de:

- Waal (Nijmegen): 1959-1974
- Neder-Rijn (Arnhem): 1959-1974
- Lek-Culemborg (Culemborg): 1971-1989
- IJssel-Wilsum (Katerveer): 1959-1974

1.4 Opzet rapport

Na deze inleiding worden in hoofdstuk 2 de historische verschillen tussen de onderzochte riviertrajecten beschreven. Er wordt nagegaan welke fysiotoopen en ecotoopen voorkwamen, en door middel van een vergelijking met de rivierkundige parameters worden globale randvoorwaarden voor hun ontwikkeling opgesteld. In hoofdstuk 3 wordt nagegaan in welke riviertrajecten deze randvoorwaarden in de huidige situatie nog voorkomen en wordt aangegeven welke delen van de Rijnstrangen geomorfologisch geschikt zijn voor het herstel van nevengeulen, strangen en moerassen. Tenslotte worden aanwijzingen gegeven voor toepassing in planvorming en inrichting.

2 Historische referenties

2.1 Fysiotopen en ecotopen

De beschrijving van historische referenties is gebaseerd op interpretaties van historisch kaartmateriaal. Voor meer gedetailleerde informatie en kaarten van de onderzochte trajecten wordt verwezen naar Maas et al. (1997), Hesselink (1998) en Maas (1998).

2.1.1 Classificatie en beschrijving

Op de historische kaarten worden abiotische en biotische kenmerken meestal slechts op eenvoudige wijze aangegeven. Door interpretatie kan soms, maar niet altijd, een verdergaand onderscheid gemaakt worden naar dynamiek van de standplaats of naar vegetatiestructuur. Om de diverse riviertrajecten op consistente manier te kunnen vergelijken werd hier dan ook voor de kartering van nevengeulen, strangen en moerassen gewerkt met een indeling in rivierecotopen die een vereenvoudiging is van het Rivier-ecotopen-stelsel (Rademakers en Wolfert, 1994). Deze ecotopen zijn in het landschap herkenbare en ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, die zich van elkaar onderscheiden door kenmerken van zowel abiotische, biotische als antropogene aard. 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. Het zijn juist de fysiotoopen die gevormd worden door geomorfologische processen; daarom staan de fysiotoopen in deze studie centraal en zijn deze in de hier gebruikte indeling ook apart aangegeven. De relevante fysiotoopen en ecotopen zijn aangegeven in tabel 1. Deze indeling wordt verder in dit rapport gebruikt voor de beschrijving van voorkomen, ontwikkelingen en kansrijkdom van fysiotoopen en ecotopen.

Tabel 1 Gebruikte indeling in fysiotoopen en ecotopen

Fysiotoop	Ecotoop
Nevengeul	Water in nevengeul
Open strang	Water in open strang
Gesloten strang	Water in gesloten strang
Dichtgeslibde strang	Moeras in dichtgeslibde strang
	Zachthoutooibos in dichtgeslibde strang
	Grasland in dichtgeslibde strang
Beekstrang	Beekwater in strang
Kronkelwaardgeul	Moeras in kronkelwaardgeul
	Grasland in kronkelwaardgeul
Kronkelwaardrug	Grasland op kronkelwaardrug
	Zachthoutooibos op kronkelwaardrug
	Hardhoutooibos op kronkelwaardrug
Opwas of Aanwas	Onbegroeide opwas of aanwas
Uiterwaard	Moeras in uiterwaard
	Zachthoutooibos in uiterwaard
	Grasland in uiterwaard

De onderscheiden fysiotopen kunnen als volgt worden omschreven, waarbij een aantal ruimtelijke kenmerken schematisch zijn weergegeven in figuur 3:

- *Nevengeul*. Een nevengeul is een nagenoeg permanent meestromende geul. De stroming in het zomerbed splitst zich ter plaatse, meestal doordat er een eiland (opwas) in het zomerbed is ontstaan. De dynamiek van nevengeulen is vergelijkbaar met die in de hoofdgeul, maar kleiner omdat de nevengeul al vrij snel na het ontstaan aan de bovenstroomse zijde aan verzanding onderhevig is. De bodem van deze nevengeulen bestaat uit zand met inschakelingen van grindbanken. Daarnaast zijn er veel smallere nevengeulen die als tweezijdig aangetakte strangen in de uiterwaarden liggen. Deze zijn minder dynamisch maar blijken vrij stabiele fysiotopen te zijn. Door de permanente stroming blijft het beddingsubstraat zandig en zijn de kleiige oevers steil.
- *Open strang*. Een open strang is een door sedimentatie van zand bovenstrooms afgesloten nevengeul die benedenstrooms permanent in open verbinding staat met de rivier. Open strangen kunnen ook ontstaan bij de vorming van een kronkelwaardbank. In vergelijking met een nevengeul is de stromingsdynamiek veel geringer, maar bij hoge waterstanden kunnen periodiek grote stroomsnelheden optreden. Open strangen zijn vaak gelegen op locaties waar gedurende overstroming convergerende waterstroming in de uiterwaard optreedt en dus waarschijnlijk meer uitschuring voorkomt: aan het benedenstroomse deel van een uiterwaard en/of langs de dijk. De bodem van open strangen bestaat overwegend uit zand.
- *Gesloten strang*. Een gesloten strang is zowel bovenstrooms als benedenstrooms afgesloten van de rivier. De benedenstroomse afsluiting is vaak een gevolg van menselijk ingrijpen. Slechts periodiek, bij hoog water, zijn deze strangen met de rivier verbonden, waarbij dan over het algemeen de stroomsnelheden vrij gering zijn. Door de benedenstroomse afsluiting blijft er na hoog water relatief veel slib achter in de strang. Waar meerdere strangen in de uiterwaard bij elkaar komen blijft de gesloten strang relatief diep en watervoerend. Waarschijnlijk vindt hier bij overstroming door de convergerende waterstroming uitschuring door verhoogde turbulentie op. De bodem van gesloten strangen bestaat uit een dunne laag slib met weinig organisch materiaal op zand.
- *Dichtgeslibde strang*. Een dichtgeslibde strang is in tegenstelling tot een open en gesloten strang niet meer watervoerend. Met name de bovenstroomse delen van gesloten strangen slibben snel dicht: de stromingsdynamiek is daar zeer gering, ook tijdens hoog water. De bodem van deze strangen bestaat uit slib, gemengd met organisch materiaal. Veen is in de strangen nauwelijks aangetroffen. Blijkbaar speelt verlanding geen rol. Er zijn daarom in deze studie geen geïsoleerde, verlandende strangen onderscheiden.
- *Beekstrang*. Een beekstrang is een strang waar een beek in uitmondt. Door hun permanent waterafvoerende functie zijn ze niet geheel verland en kunnen over grote afstand parallel lopen aan het zomerbed van de rivier. Beekstrangen staan benedenstrooms in open verbinding met het zomerbed van de rivier of worden gereguleerd door middel van een in-of uitlaatwerk. De bodem van een beekstrang bestaat uit zand en/of slib.
- *Kronkelwaardgeul*. Een kronkelwaardgeul is een lange smalle sikkelvormige laagte in de binnenbocht van meanders. In tegenstelling tot nevengeulen en strangen zijn het geen echte restgeulen: bij de vorming van elke nieuwe

kronkelwaardbank ontstaat er een laagte tussen deze zandbank en de kronkelwaard. Voortdurende migratie heeft een complex van kronkelwaardruggen en kronkelwaardgeulen tot gevolg. De kronkelwaardgeulen zijn stabiele terreinvormen. De bodem bestaat uit zand met soms daarin een dunne slibafzetting.

- **Kronkelwaardrug.** Kronkelwaardruggen zijn tussen kronkelwaardgeulen gelegen en dus parallel aan elkaar liggende, sikkelvormige hoogten in de kronkelwaard. De ruggen zijn ontstaan uit kronkelwaardbanken en onderscheiden zich daarvan door hun hogere ligging en begroeiing. Kronkelwaardruggen zijn opgebouwd uit zand.
- **Opwas of aanwas.** Periodiek droogvallende platen in het zomerbed worden opwassen of aanwassen genoemd. Opwassen zijn eilanden en ontstaan door sedimentatie van grind en/of zand in het midden van het zomerbed. Door sedimentatie groeien opwassen vast aan de oevers en zijn dan nauwelijks meer te onderscheiden van aanwassen. Aanwassen ontstaan in de Rijntakken meestal als kronkelwaardbanken in de binnenbochten van meanders. De dynamiek van opwassen en aanwassen is erg groot: met name de lager gelegen delen blijven daardoor lang onbegroeid. Door voortdurende sedimentatie en erosie veranderen de op- en aanwassen regelmatig van gedaante en soms ook van ligging.
- **Uiterwaard.** Een uiterwaard is een hoger opgeslibde opwas of aanwas. Door de opslibbing heeft de uiterwaard een hogere ligging gekregen en daardoor een minder grote dynamiek. De bodem bestaat over het algemeen uit zavel en klei.

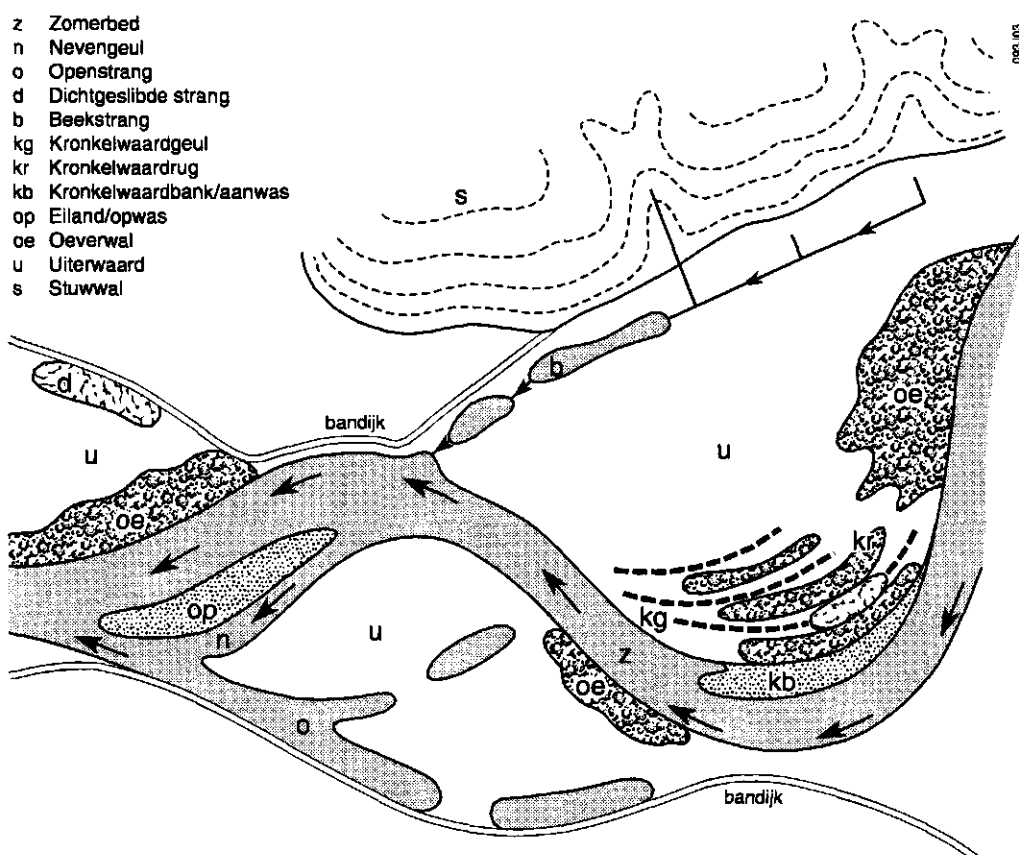


Fig. 3 Schematische voorstelling van enkele ruimtelijke eigenschappen van de onderscheiden fysiotopen

Op basis van de in deze studie verzamelde gegevens konden wel duidelijk van elkaar verschillende vegetatiestructuren gekarteerd worden (zoals rietlanden en zachthout-oobos), maar over het algemeen geen verschillen tussen vergelijkbare vegetaties op verschillende fysiotopen. In verband hiermee worden de verschillende ecotopen met een vergelijkbare vegetatiestructuur onder een noemer behandeld. Het gaat daarbij om de volgende (gegroepeerde) ecotopen:

- *Moeras*. Onder moeras worden in deze studie zowel rietmoerassen, laaggelegen ruigten als verlandingsvegetaties verstaan. De verschillen tussen deze vegetatietypen komen tot uiting in de naamgeving van ecotopen. Moerassen op de laaggelegen delen van opwassen en aanwassen zijn veelal rietmoerassen met een vrij homogene vegetatiesamenstelling. Dergelijke rietlanden komen ook voor in de uiterwaarden van benedenstrooms gelegen riviertrajecten. Waarschijnlijk werden veel rietlanden geëxploiteerd. Smalle rietzones waarin veel ruigtkruiden voorkomen worden aangetroffen langs de oevers van open en vooral van gesloten strangen. Tot de laatste worden ook de kleiputten gerekend. Deze laaggelegen ruigten komen ook voor in kronkelwaardgeulen. In afgelegen strangen tenslotte komen soorten van stilstaand water voor die kunnen leiden tot een structuurrijke verlandingsvegetatie. Op locaties onder invloed van toestromend grondwater kunnen dit kwelmoerassen zijn.
- *Zachthoutoobos*. Het zachthoutoobos omvat zowel het natuurlijke zachthoutoobos als het productiebos. Bij de eerste categorie gaat het om zachthout(pionier)oobos en zachthoutstruweel op de lagere delen van uiterwaarden en in dichtgeslibde strangen. Veel van dit bos is gepoot om nieuw land vast te leggen of slib in te vangen voor een kleidek. Daarnaast was er intensieve exploitatie van grienden.
- *Hardhoutoobos*. Zowel hardhoutoobos als doornstruweel worden gerekend tot het natuurlijk hardhoutoobos. Op historische kaarten werd hardhoutoobos niet als zodanig aangegeven. Hardhoutsoorten komen van nature slechts voor op de hoger opgeslibde fysiotopen, zoals (oude) oeverwallen en (oude) kronkelwaardruggen.
- *Grasland*. Zodra uiterwaarden of strangen voldoende waren opgeslibd of dichtgeslibd, werden deze terreinen in gebruik genomen als weide- of hooiland. Daartoe werden de natuurlijke moeras- of oobosvegetaties omgezet in grasland.

2.1.2 Ontwikkelingsreeks

Uit het historische materiaal blijkt dat de gekarteerde fysiotopen en ecotopen geen statische verschijnselen waren, maar in de tijd een ontwikkeling doormaakten. Na vorming volgde een gebruikelijke successie waarin de vegetatie gaandeweg een belangrijker rol speelde bij de karakterisering van de eenheid. Een algemeen model voor de natuurlijke opeenvolging wordt gegeven in figuur 4. Deze ontwikkelingen werden beïnvloed door fysische processen, zoals erosie en sedimentatie van zand en slib, maar ook door biologische processen zoals de kolonisatie met pioniervegetaties en de vegetatiesuccessie. Fysiotopen en ecotopen veranderden daardoor geleidelijk van karakter en vertoonden een onderlinge opeenvolging.

Welke van de in de reeks geschetste ontwikkelingen plaatsvonden was afhankelijk van de natuurlijke omstandigheden in het betreffende riviertraject en van het beheer.

Zo kon erosie van de rivieroever op de ene plaats leiden tot de vorming van een opwas en nevengeul maar elders tot de vorming van een aanwas en open strang of kronkelwaardgeul. Door aanleg van kribben kon erosie worden tegengegaan. Bij de vegetatiesuccessie is het beheer nog dominanter. Slechts in enkele gevallen stopte de natuurlijke successie vanwege natuurlijke omstandigheden, zoals bij moeras in de benedenstroomse trajecten. Elders heeft het landbouwkundig beheer sterk een stempel gedrukt op de successie: de moerassen en zachthoutoebossen in de uiterwaarden zijn in de loop van de tijd vrijwel overal vervangen door grasland zodra de uiterwaarden voldoende waren opgeslibd.

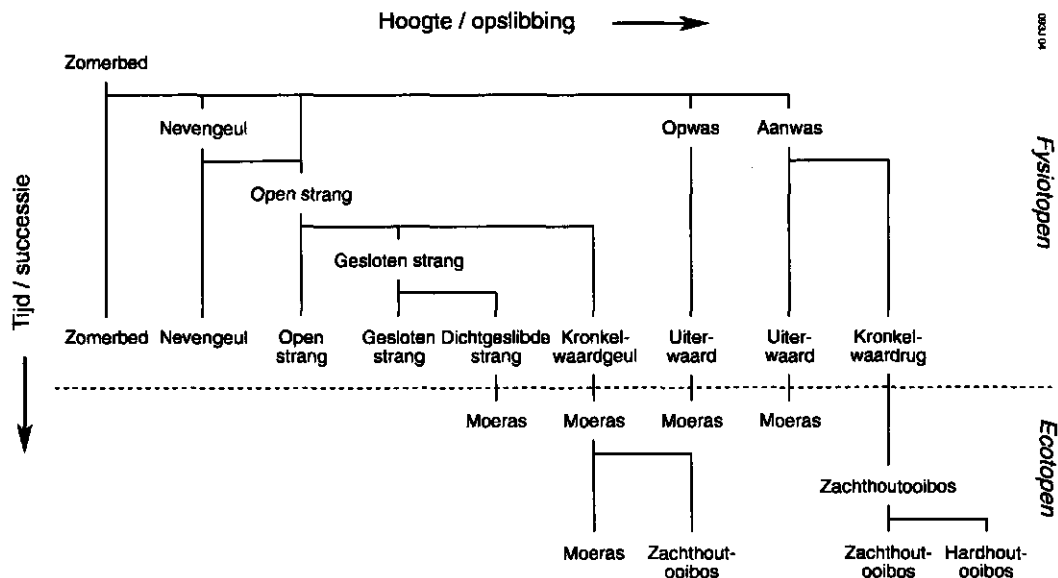


Fig. 4 Natuurlijke opeenvolging van de verschillende fysiotoepen en ecotoepen in de periode voor de riviernormalisatie

2.1.3 Verschillen tussen de riviertrajecten

De verschillen tussen de riviertrajecten reflecteren zich in het voorkomen van fysiotoepen en ecotoepen. Uit de kartering komen duidelijke verschillen tussen de trajecten te voorschijn. Een indruk van de verschillen met betrekking tot fysiotoepen wordt gegeven in tabel 2.

De fysiotoepen en ecotoepen kwamen en komen vaak voor in karakteristieke patronen die de ontstaanswijze en onderlinge verbanden weerspiegelen. Het voorkomen van enkele opvallende karakteristieke fysiotoop/ecotoop combinaties in de onderzochte riviertrajecten wordt hieronder besproken. Het gaat om de combinaties (1) nevengeulen en eilanden, (2) kronkelwaardbanken, kronkelwaardruggen en kronkelwaardgeulen, (3) open, gesloten en dichtgeslibde strangen en (4) moeras en zachthoutoebos.

Tabel 2 De onderzochte trajecten en de daar voorkomende fysiotopen in de periode van de 18^e eeuw tot de normalisatie (++) = komt veel voor; + = komt voor; - = komt vrijwel niet voor)

Fysiotop	Waal-Dodewaard	IJssel-Doesburg	IJssel-Olst	IJssel-Wilsum	Lek-Culemborg	Lek-Vianen
Nevengeulen						
- brede	++	-	-	++	+	+
- smalle	-	++	-	+	+	+
Strangen						
- open strangen	++	-	-	-	-	-
- gesloten strangen	+	++	+	-	++	-
- dichtgeslibde strangen	+	+	++	++	++	+
- kronkelwaardgeul	-	++	+	++	+	-
- beekstrang	-	+	-	-	-	-
Op- en aanwassen						
- opwassen	++	+	+	++	+	+
- aanwassen	++	+	+	++	+	+
- kronkelwaardrug	-	++	+	++	+	-

Nevengeulen en eilanden

Nevengeulen waren het meest karakteristiek voor het traject IJssel-Wilsum, met name bij Wilsum. Diverse grote en kleine eilanden, ontstaan in de 17^e eeuw, scheidden de hoofdstroom en (soms meerdere naast elkaar gelegen) nevengeulen van elkaar. Door de eeuwen heen zijn slechts enkele eilanden aan de oever of aan elkaar vast gegroeid: voor de rivierverbetering uit de 19^e eeuw waren de nevengeulen hier dus stabiele fysiotopen. Wel zijn de brede nevengeulen in de loop van de tijd smaller geworden.

Nevengeulen waren eveneens kenmerkend voor de Waal; de vorming ervan is het langst doorgegaan van alle onderzochte trajecten: tot in de 19^e eeuw. Nevengeulen ontstonden door de vorming van opwassen (eilanden) in de hoofdstroom. Deze geulen raakten binnen enkele decennia verzand aan hun bovenstroomse zijde en veranderden zodoende in een open strang. In de Waal zijn ook nevengeulen ontstaan door erosie van aanwassen waarbij het langs het zomerbed gelegen hogere deel van de aanwas geïsoleerd raakte van de uiterwaard en een eiland werd.

Langs de Lek zijn er ook nevengeulen geweest. Er zijn aanwijzingen voor het voorkomen van vrij veel nevengeulen in de 16^e eeuw, waarbij enkele soms naast elkaar lagen. Uit de oudere kaarten blijkt dat een aantal nevengeulen is ontstaan langs eilanden die ontstonden in de buitenbocht van meanders. Langs de Lek lijken er meer nevengeulen in het meest benedenstroomse traject te zijn geweest. Beide trajecten van de Lek hebben vanaf het begin van de 17^e eeuw al min of meer hun huidige vorm en sindsdien zijn er slechts hier en daar nevengeulen gevormd. De ontstaanswijze daarvan was vergelijkbaar met die van de Waal. Ook langs de Lek werden brede nevengeulen snel smaller om uiteindelijk te veranderen in open strangen. In vergelijking met andere, meer bovenstrooms gelegen nevengeulen is de nevengeul bij de Bol (km 966) ook een stabiel fysiotop geweest: na ruim 400 jaar als nevengeul gefunctioneerd te hebben is deze geul door de aanleg van een dam aan de bovenstroomse zijde afgesloten.

Bij het traject IJssel-Doesburg waren er in de 17^e eeuw enkele nevengeulen, waarbij er twee typen zijn onderscheiden: nevengeulen langs eilanden in de buitenbocht van grote meanders en nevengeulen die dwars door de kronkelwaard liepen. De eerstgenoemde zijn vergelijkbaar met de nevengeulen in meanders van de Lek. Deze verzandden al snel. De laatstgenoemde bleven open vanwege de afvoer van water door de kronkelwaard; deze hadden ook een kleinere breedte dan de nevengeulen direct langs de hoofdgeul en bovendien meer kleiige oevers.

Nevengeulen ontbreken in het traject IJssel-Olst. Enkele strangen zijn mogelijk wel ontstaan door vorming van een opwas en daarmee een nevengeul. Deze moeten al (misschien heel) snel door aanleg van kribben aan de oever vast zijn gemaakt, waardoor de nevengeul veranderde in open strang.

Eilanden breidden zich over het algemeen in stroomafwaartse richting uit. De jongste delen waren onbegroeid en slibrijk. In stroomopwaartse richting veranderde de begroeiing in laaggelegen ruigte en daarna in gras op de hoger gelegen kop. De oevers langs de omringende nevengeulen bestonden ook uit laaggelegen ruigte. Enkele eilanden waren geheel met bos bedekt, later is dit bos gerooid. Langgerekte smalle zones met laaggelegen ruigte waren ook te vinden aan de oevers van de kronkelwaardbanken in de grote meanderbochten.

Kronkelwaardbanken, kronkelwaardruggen en kronkelwaardgeulen

Het patroon van kronkelwaardgeulen aan de binnenzijde van meanders is zeer karakteristiek voor het traject IJssel-Doesburg. Deze geulen zijn daar gevormd vóór de aanpassingen van het splitsingspunt bij Pannerden in het begin van de 17^e eeuw. De kronkelwaarden getuigen van sterke migratie van meanders door erosie van de buitenbocht en aangroei van kronkelwaardbanken in de binnenbocht. Vanaf de 17^e eeuw zijn er in binnenbochten nog wel kronkelwaardbanken gevormd, maar deze zijn zeer gering van omvang. Dit geldt ook voor het traject IJssel-Olst. Slechts in kleine delen van de geulen is moeras aanwezig; in vergelijking met strangen is de ligging van de kronkelwaardgeulen hoger en dus veelal te droog voor moerasvegetatie.

In alle grote meanderbochten van het traject IJssel-Wilsum vond tot in de 19^e eeuw aangroei plaats in de binnenbocht, die mogelijk gemaakt werd door erosie van de buitenbocht. Er was daar duidelijk sprake van vrij brede kronkelwaardbanken, waarbij in ieder geval één maar vaak meer kronkelwaardgeulen zijn ontstaan. De geulen zijn ook hier over het algemeen vrij droog, gezien de begroeiing met uiterwaardgrasland in 1842. Zeer kenmerkend is het reliëf van kronkelwaardruggen en -geulen bij Zalk, dat daar waarschijnlijk is ontstaan door verhoogde sedimentatie onder invloed van het Zalkerbos. Ook langs de IJssel-Olst vond zijdelingse aangroei plaats, maar langzamer en slechts in smalle zones langs binnenbochten.

Behalve door de vorming van eilanden kenmerkte de Waal zich ook door de vorming van vele, grote aanwassen in binnenbochten. Een duidelijke reliëf van meerdere kronkelwaardruggen in de uiterwaard heeft dit echter niet opgeleverd. Veel aanwassen waren ook weer aan erosie onderhevig.

Ook langs de Lek vond aangroei plaats in binnenbochten, het meest in het traject Lek-Culemborg. Slechts in één geval (in de Redichemse Waard) in het traject Lek-Culemborg heeft de aanwas geresulteerd in een duidelijk reliëf van meerdere kronkelwaardruggen en geulen. De overige aanwassen zijn langgerekt en smal met hooguit één kronkelwaardgeul. Er is geen netto groei van uiterwaarden. Waar aangroei plaatsvond, was erosie van de tegenoverliggende buitenbocht een voorwaarde. De migratie nam gedurende de 16^e tot de 19^e eeuw gestaag af. Voor de riviernormalisatie waste voornamelijk zand aan, daarna werd er meer slib afgezet.

Open, gesloten en dichtgeslibde strangen

Open strangen zijn het meest kenmerkend voor de Waal. Het zijn de benedenstroomse restanten van nevengeulen die bovenstrooms zijn verzand en aan de uiterwaard vastgegroeid. In de trajecten van de Lek en de IJssel waren open strangen in de 18^e en 19^e eeuw vrijwel niet aanwezig. In de 17^e eeuw kwamen langs de Lek en in het traject IJssel-Wilsum nog open strangen voor. In het laatstgenoemde traject zijn deze strangen alle door aanleg van dammen afgesloten van het zomerbed.

Opvallend grote gesloten strangen zijn er langs het traject IJssel-Doesburg. Het zijn de restanten van oude beddingen van de rivier, op plaatsen waar de hoofdstroom is omgelegd. Gesloten strangen zijn er ook langs de Waal en de trajecten Lek-Culemborg en IJssel-Olst. Langs de Waal liggen de watervoerende delen ten opzichte van dichtgeslibde strangen meer in het benedenstroomse deel van de uiterwaard. De gesloten strangen langs de Waal bleken ook redelijk stabiel. Het langst watervoerend langs de Lek zijn, naast de gedeelten die liggen aan het benedenstroomse deel van de uiterwaard, de diepe gedeelten op punten waar strangen in uiterwaarden samenvloeien. Langs de IJssel-Olst resten er in de strangen nog slechts kleine delen met open water.

De meest benedenstrooms gelegen trajecten hebben relatief zeer weinig gesloten, watervoerende strangen. Deze zijn vrijwel alle dichtgeslibd. In het traject Lek-Vianen bleken de strangen al in de 18^e eeuw voor ca. 80% te zijn dichtgeslibd. Bij het traject IJssel-Wilsum zijn eveneens zeer weinig watervoerende strangen.

De opeenvolging van vegetatie in dichtgeslibde strangen is riet, zachthoutooibos en, door toedoen van menselijk ingrijpen, gras. Deze successie doet zich overal voor, ongeacht de locatie in de strang. Wel raken over het algemeen de bovenstroomse delen van strangen het eerst dichtgeslibd. Zodra de waterdiepte voldoende was afgenomen groeide in de ondiepe delen van strangen riet. Daarna raakte de strang geheel begroeid met riet. Dit maakte plaats voor een natuurlijk zachthoutooibos. In sommige strangen wordt ook wilgengriend aangetroffen. Overigens wordt een zonering van riet en zachthoutooibos ook langs gesloten en open strangen aangetroffen.

Vrijwel alle strangen langs de Lek en het traject IJssel-Wilsum zijn in het verleden dichtgeslibd. Langs de Lek zijn deze strangen in de 19^e eeuw echter weer uitgegraven ten behoeve van de winning van klei, waardoor ze weer watervoerend werden. Al snel na de uitgraving is het proces van dichtslibbing en de bijbehorende

vegetatiesuccessie weer op gang gekomen, in traject Lek-Vianen met de groei van riet en in traject Lek-Culemborg met de groei van ooibos, eerst langs de oevers, maar later overal.

Beekstrangen, tenslotte, komen alleen voor in het traject IJssel-Doesburg. Dit deel van de IJssel is lager gelegen dan het direct omringende landschap en grenst bovendien aan een stuwwal. Daardoor is er toevoer van kwelwater naar de uiterwaarden, dat voor een deel via het stelsel van strangen in de wordt afgevoerd naar het zomerbed.

Moeras en zachthoutooibos

In de benedenstroomse riviertrajecten is riet de eerste begroeiing van op- en aanwassen. De groei start op de hogere delen van de zandbank. Vaak blijven slechts de laagste delen van de zandbanken onbegroeid. Bij verdere opslibbing verandert het rietmoeras in zachthoutooibos. In het geval van rietcultures wordt deze successie tegengegaan door een gericht maaibeheer.

In het traject Lek-Vianen is het opvallend dat omstreeks 1750 grote delen van de uiterwaard begroeid zijn met riet. Vanaf 1830 komt riet nog slechts in de laagste, stroomafwaartse delen van de uiterwaarden voor. Vanaf 1910 beperkte riet zich tot de oeverzone van zomerbed, strangen en kleiputten. In het traject Lek-Culemborg is riet slechts hier en daar gekarteerd langs strangen. De veranderingen zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan een veranderd beheer.

In de bovenstroomse trajecten komt namelijk nauwelijks rietmoeras voor. Hier raken de laagste en jongste delen van de uiterwaarden, zoals langs de Waal en het traject Lek-Culemborg, vrij snel begroeid met natuurlijk of gepoot zachthoutooibos. In de loop van de tijd zijn deze boszones smaller geworden en heeft ook bos zich ontwikkeld in smalle zones langs strangen en kleiputten langs de dijk. In het traject Lek-Vianen komt nauwelijks natuurlijk zachthoutooibos voor, alleen in de 19^e eeuw langs de dijk: het rietmoeras is hier direct overgegaan in grasland. Zachthoutooibos is ook in het traject IJssel-Wilsum slechts hier en daar aanwezig, in de lagere delen van afgesloten strangen.

Exploitatie van wilgengrienden is voornamelijk waargenomen in de uiterwaarden van het traject Lek-Vianen, maar ook wel in het traject Lek-Culemborg. Anno 1750 kwamen grienden verspreid over de hele uiterwaard voor. In 1830 vooral in smalle zones langs de dijk en vanaf 1880 in brede zones langs het zomerbed. In 1910 werden nauwelijks nog grienden gekarteerd.

Bij nog verdergaande opslibbing kan uit het zachthoutooibos hardhoutooibos ontstaan, met name op oeverwallen en kronkelwaardruggen. Hardhoutooibos is echter niet apart weergegeven op de historische kaarten. Bekend is wel dat de oudere oeverwallen en kronkelwaardruggen langs de IJssel interessante restanten hardhoutooibos herbergen.

2.2 Morfodynamiek en hydrodynamiek

De historische verschillen tussen de onderzochte riviertrajecten zijn terug te voeren op verschillen in morfodynamiek en hydrodynamiek. Deze verschillen kunnen worden uitgedrukt in rivierkundige parameters.

2.2.1 Classificatiediagram

De verschillen in morfodynamiek zijn weergegeven in het eerder genoemde classificatiediagram (fig. 5). De weergegeven informatie is ontleend aan Lambeek en Mosselman (1998), aangevuld met een nieuwe berekening voor het traject IJssel-Wilsum, waarvan de achtergrondgegevens zijn opgenomen in Maas (1998).

In het classificatiediagram wordt de breedte-diepteverhouding van het riviertraject uitgezet tegen de Shieldsparameter. De breedte-diepteverhouding is een maat voor de verhouding tussen de sterkte van de stroming en de sterkte van de oevers, waarbij de sterkte van de oevers de weerslag vormt van de gesteldheid van het omliggende terrein en de eventuele aanwezigheid van oeververdedigingen en kribben. De Shieldsparameter is een maat voor de sterkte van de stroming in verhouding tot de korrelgrootte van het beddingmateriaal. Samen geven de breedte-diepteverhouding en Shieldsparameter derhalve een beeld van de onderlinge verhoudingen tussen stroming, sediment en lokale omstandigheden. Het classificatiediagram geeft dus een indruk van het karakter van de geomorfologische processen in het zomerbed en de veranderingen van fysiotopen daarin.

Naast de breedte-diepteverhouding is bij de interpretatie naar geomorfologische geschiktheid ook de waarde van de Shieldsparameter van belang. Bij een toenemende waarde van de Shieldsparameter treedt meer sedimenttransport op. Als de breedte-diepteverhouding hoog is, maar de Shieldsparameter tegelijkertijd laag, kan de aanvoer van sediment zo langzaam gaan dat aanzetten voor de vorming van banken telkens bij een hoogwater worden opgeruimd omdat bij hoge waterstanden de breedte-diepteverhouding kleiner is. Ondanks een grote breedte-diepteverhouding ontstaan er dan uiteindelijk geen aanwassen.

In het diagram wordt het voorkomen van vier typen rivieren aangegeven die zich kenmerken door specifieke beddingvormen. Welk type ontstaat is voor de Rijntakken in eerste instantie afhankelijk van de breedte-diepteverhouding. Bij hoge waarden ontstaan naast (hoge) kronkelwaardbanken ook eilanden (opwassen) in de rivier (veld A in fig. 5). Bij lagere waarden (veld B) is vorming van eilanden niet mogelijk en vormen zich alleen banken die aan de oever vast liggen (aanwassen). In principe kan er in de velden A en B onderscheid gemaakt worden in zogenaamde vrije en plaatsvaste banken. Vrije banken hebben geen vaste locatie. Bij een enigszins gekromde rivier, zoals in de Rijntakken, wordt de vrije vorming van banken onderdrukt en kunnen alleen plaatsvaste kronkelwaardbanken ontstaan in de binnenbocht van meanders. Wanneer de breedte-diepteverhouding nog relatief groot is, zijn de banken (in veld B) hoog. Bij nog kleinere breedte-diepteverhoudingen is er vervolgens nog onderscheid te maken tussen lage (veld C) en zeer lage en kleine banken (veld D).

De laatste komen niet meer boven water. De grenzen tussen de velden in het diagram zijn voor elke rivier anders, zodat dit diagram alleen geldt voor de Rijntakken.

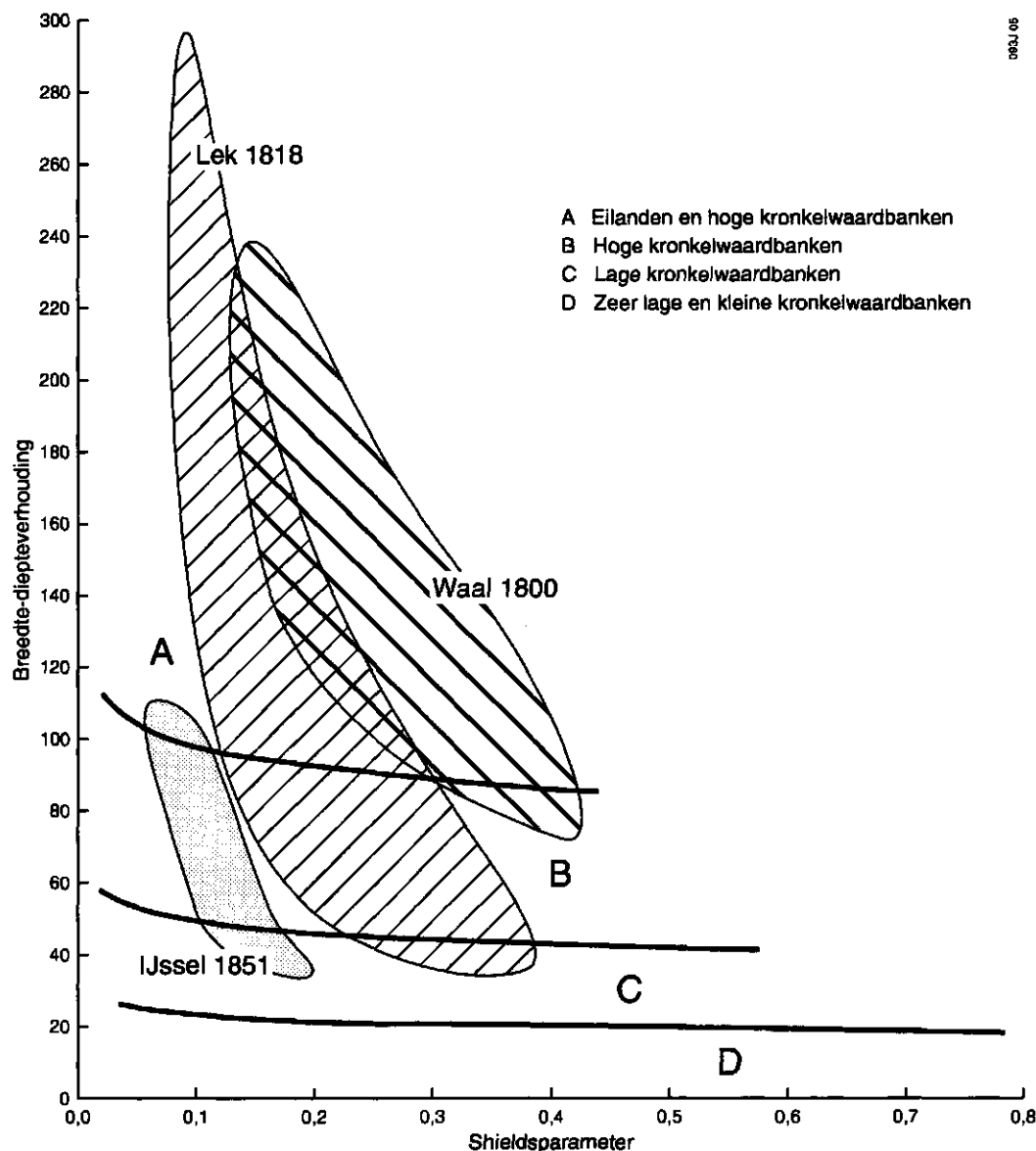


Fig. 5 Classificatiediagram met de onderzochte riviertrajecten in de historische situatie (grotendeels naar Lambeek en Mosselman, 1998)

Het traject Waal (km 30,7-37,8) had in 1800 een hoge breedte-diepte-verhouding van 80-250 en een Shieldsparameter van 0,10-0,45. Er blijken verschillen te zijn tussen de gemeten dwarsprofielen: profielen met een lage breedte-diepte-verhouding bij geringe afvoer zijn profielen die gelegen zijn in de nabijheid van een krib of een sterk verdedigde oever. De meer natuurlijke profielen van de Waal hebben een hoge breedte-diepte-verhouding en komen in het classificatiediagram in het veld met naast kronkelwaardbanken ook eilanden. Dit komt goed overeen met de kartering van opwassen en nevengeulen en van aanwassen en open strangen. Waar de breedte-

diepteverhouding van invloed was op het ontstaan van relatief veel open strangen langs de Waal, is mogelijk de stabiliteit daarvan te danken aan de relatief hogere stroomsnelheden in de uiterwaard gedurende overstroming. Uit berekeningen voor de historische situatie (Maas et al., 1997) bleek dat de stroomsnelheden langs de Waal ongeveer tweemaal zo groot waren dan die langs de IJssel (respectievelijk ca. 50 cm/s en 25 cm/s).

Het traject Lek-Culemborg (km 937,0-945,5) had in 1818 een breedte-diepteverhouding van 35-300 en een Shieldsparemeter van 0,08-0,40. De Neder-Rijn/Lek bevond zich deels in het veld met naast (hoge) kronkelwaardbanken ook eilanden, maar vooral in het veld met alleen hoge kronkelwaardbanken. Dit beeld komt goed overeen met de profielen waaruit blijkt dat een redelijk groot deel van zowel de eilanden als de kronkelwaardbanken boven het Q75 waterpeil uitstak (zie tabel 3). In deze tabel zijn geen waarden voor Waal opgenomen; de bekende peilingen van de Waal zijn opgenomen tijdens zeer laag water, zodat de hoogte van de banken niet bekend is. In het benedenstroomse deel van het traject Lek-Vianen zijn de grote stabiele eilanden uit de 17^e eeuw mogelijk ontstaan onder invloed van de getijdenwerking.

Tabel 3 Aantallen profielen met banken met een hoogte boven de waterstanden h35, h75 en h95

Riviertraject	Banktype	Hoogte		
		h35	h75	h95
Lek-Culemborg (1818) N=25	Eiland	0	2	7
	Kronkelwaardbank	0	9	11
IJssel-Doesburg (1771) N=23	Eiland	0	0	2
	Kronkelwaardbank	0	3	11
IJssel-Wilsum (1865) N=20	Eiland	1	1	3
	Kronkelwaardbank	1	3	6

Het traject IJssel-Wilsum (km 988,1-990,7) had in 1851 een breedte-diepteverhouding van 30-110 en een Shieldsparemeter van 0,05-0,20. De meeste profielen omvatten twee naast elkaar gelegen geulen en vallen in het classificatiediagram in het veld met hoge kronkelwaardbanken (veld B). Alleen het profiel dat slechts uit een geul bestaat valt in het veld met lage kronkelwaardbanken. De waarde van de Shieldsparemeter is vrij laag door het geringe verhang. De IJssel komt in het diagram dus niet naar voren als een eilandenrivier, hetgeen overeenkomt met de vaststelling dat de meeste eilanden en nevengeulen al in de 17^e eeuw gevormd waren en er daarna voornamelijk versmalling van geulen en vorming van aanwassen plaatsvond. Toen de profielen werden opgenomen was de IJssel al smaller en dieper geworden en waren de eilanden al opgeslibd tot uiterwaardhoogte. Van het traject IJssel-Doesburg zijn geen berekeningen bij verschillende afvoeren beschikbaar. Uit de berekening van de geulvullende afvoer bleek dit riviertraject al anno 1800 in het veld met lage kronkelwaardbanken te liggen, hetgeen goed overeenkomt met de aldaar waargenomen korte en smalle kronkelwaardbanken.

De berekende rivierkundige parameters geven dus een redelijk goede verklaring voor de waargenomen fysiotoopen in en langs het zomerbed in de diverse riviertrajecten, en

voor de onderlinge verschillen in morfodynamiek. Vrijwel alle dynamiek van fysiotopen in het zomerbed begon met het proces van erosie van oevers: hierdoor kwam extra sediment vrij en ontstond ruimte in het zomerbed voor sedimentatie daarvan. Op enkele punten zijn over de migratie van het zomerbed kwantitatieve gegevens beschikbaar, die eveneens passen bij de hierboven geschetste verschillen. Langs de Waal bedroeg de migratiesnelheid gemiddeld ca. 4,1 m/jr; dat is veel sneller dan bij de andere rivieren. Langs de Lek was de migratiesnelheid bij Lexmond tussen 1630 en 1750 nog 3,3 m/jr, maar werd tussen 1750 en 1830 veel kleiner: 1,1 m/jr. Langs het traject IJssel-Doesburg bedroeg de migratiesnelheid maximaal 2,5 m/jr.

2.2.2 Overstroming en waterstandsfluctuatie

De verschillen in hydrodynamiek komen tot uiting in de overstromingsfrequenties van de verschillende fysiotopen. Deze verschillen hebben vooral te maken met het proces van opslibbing en de vegetatiesuccessie.

Voor de vergelijking zijn de overschrijdingslijnen van de waterstanden bruikbaar (fig. 6). Uit een vergelijking van de lijnen die gelden voor Arnhem, Nijmegen, Culemborg en Katerveer blijkt dat de schommelingen in de waterstand in de 19^e eeuw afnamen in

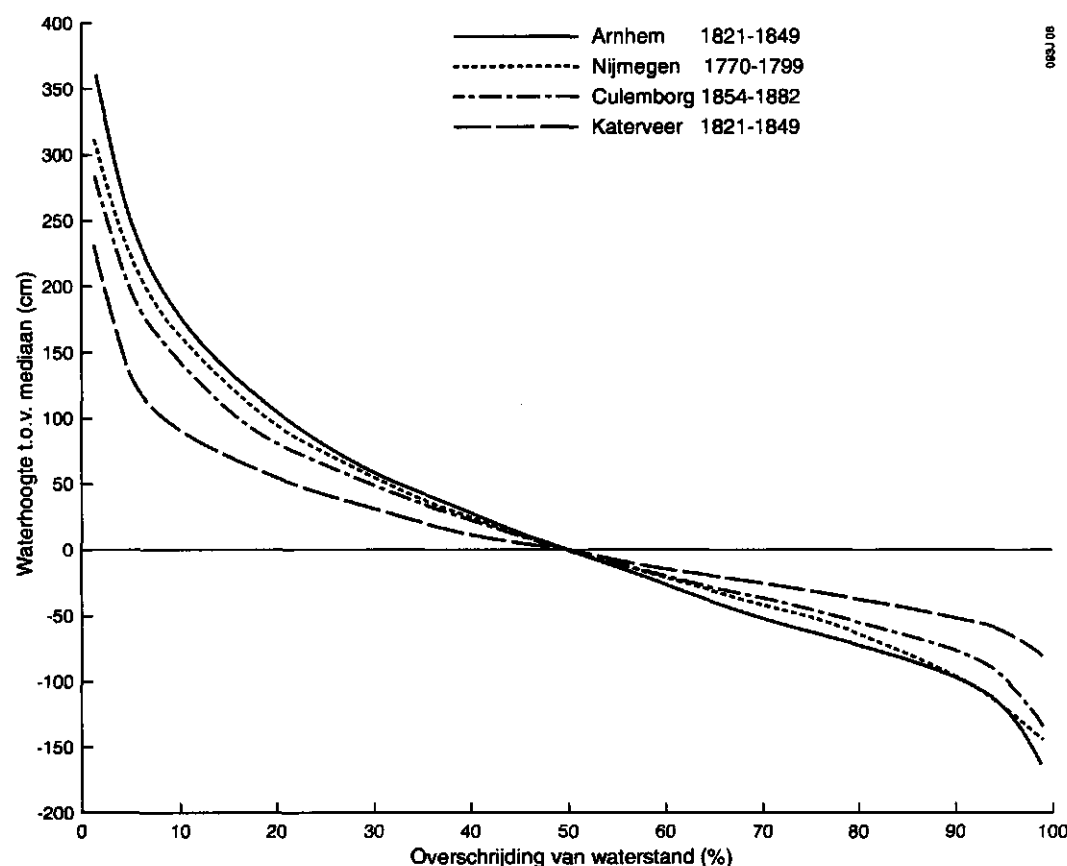


Fig. 6 Overschrijding van waterstanden in de Rijntakken in de historische situatie

benedenstroomse richting. Met name het profiel bij Katerveer, dat als enige in een benedenstrooms traject (IJssel-Wilsum) ligt, wijkt duidelijk af van de andere drie: er komen minder overstromingen voor, waarbij in maar 5% van de tijd de waterstand meer dan 50 cm onder de mediane waterstand ligt. Dit komt overeen met de waarneming van ongerijpte kleien en uitgestrekte rietmoerassen in dit gebied. Blijkbaar zijn kleine fluctuaties in de waterstand in het groeiseizoen van belang voor rietmoeras.

2.2.3 Randvoorwaarden voor fysiotopen en ecotopen

Uit de vergelijking van het voorkomen van fysiotopen en ecotopen in de verschillende riviertrajecten en de rivierkundige kenmerken daarvan, zijn globaal de randvoorwaarden voor het ontstaan en voortbestaan van de fysiotopen en ecotopen afgeleid. Enkele randvoorwaarden voor het ontstaan en voortbestaan van de in dit project onderzochte fysiotopen en ecotopen zijn vermeld in tabel 4. De randvoorwaarden voor de ecotopen moeras en zachthoutooibos zijn deels ontleend aan respectievelijk Zonneveld (1960) en Coops en Geilen (1996) en aan Van Splunder (1998).

Tabel 4 Morfodynamische en hydrodynamische randvoorwaarden voor het ontstaan van fysiotopen en ecotopen in de Rijntakken

Fysiotop / ecotoop	Morfodynamiek	Hydrodynamiek
Nevengeul	Erosie van oevers zomerbed B/d zomerbed minimaal 100	n.v.t.
Open strang	B/d zomerbed minimaal 40 Grote stroomsnelheden bij overstroming	n.v.t.
Gesloten strang	Plaatselijk grote stroomsnelheden bij overstroming	n.v.t.
Dichtgeslibde strang	Geringe stroomsnelheden bij overstroming	n.v.t.
Kronkelwaardgeul en -rug	Erosie van oevers zomerbed B/d zomerbed minimaal 40	n.v.t.
Opwas	Erosie van oevers zomerbed B/d zomerbed minimaal 100	n.v.t.
Aanwas	Erosie van oevers zomerbed B/d zomerbed minimaal 40	n.v.t.
Uiterwaard	Hoge mate van opslibbing Geringe stroomsnelheden bij overstroming	n.v.t.
Moeras	Hoge mate van op- of dichtslibbing Geringe stroomsnelheden of golfslag	Waterdiepte maximaal 50-70 cm Waterstandsfluctuaties maximaal -50 cm onder mediaan
Zachthoutooibos (vestiging)	Geringe stroomsnelheden of golfslag	Overstromingsduur maximaal 210 dagen/jaar

3 Huidige geomorfologische geschiktheid

3.1 Morfodynamiek en hydrodynamiek

Inzicht in de huidige geomorfologische geschiktheid van de verschillende delen van de Rijntakken wordt verkregen door de parameters voor morfodynamiek en hydrodynamiek in de huidige situatie te vergelijken met die in de vroegere situatie in de referentietrajecten. Daarna kan op basis van de randvoorwaarden voor de verschillende fysiotopen en ecotopen, zoals afgeleid uit de historische gegevens, worden aangegeven welke delen van de Rijntakken tegenwoordig voldoen aan deze randvoorwaarden. De te onderscheiden delen van de Rijntakken worden in dit hoofdstuk aangeduid met de namen van de rivieren, waarbij indien relevant een onderscheid gemaakt wordt in een boven-, midden- of benedendeel.

3.1.1 Classificatiediagram

De verschillen in huidige morfodynamiek zijn weergegeven in figuur 7. Voor meer detailinformatie over de resultaten van de berekeningen wordt verwezen naar Lambeek en Mosselman (1998).

In de huidige situatie kenmerkt de Waal zich door de grootste breedte-diepte-verhouding van de Rijntakken: de Waal heeft een breedte-diepte-verhouding van 30-55 en een Shieldsparemeter van 0,05-0,50. In stroomafwaartse richting neemt bij gelijke afvoeren de Shieldsparemeter af. Ook de breedte-diepte-verhouding neemt van Bommel via Ewijk naar Waardenburg af, maar wordt bij Vuren dan weer groter. Hoge kronkelwaardbanken kunnen daarom verwacht worden bij Bommel en Vuren, terwijl daartussenin kronkelwaardbanken laag zullen blijven. De grootste breedte-diepte-verhouding doet zich voor bij lage afvoer. Dan is ook de Shieldsparemeter hoog en zijn er dus gunstige omstandigheden voor vorming van kronkelwaardbanken. Bij toenemende afvoer neemt de breedte-diepte-verhouding in de Waal echter af, waarbij de Shieldsparemeter tegelijkertijd toeneemt. Eenmaal gevormde banken zullen daarom voor een deel weer worden afgebroken bij hogere afvoeren. Banken in de Boven- en Midden-Waal zullen dus voortdurend van vorm veranderen. Bij Vuren, echter, is de breedte-diepte-verhouding ook bij hogere afvoeren hoog, zodat de bij lage afvoeren gevormde banken daar niet afgebroken worden in perioden van hoge afvoer.

Ook bij de IJssel hebben de meest benedenstrooms gelegen trajecten hogere waarden in breedte-diepte-verhouding en blijft deze factor vrij constant bij veranderende afvoeren. Hierin weerspiegelt zich, evenals bij Vuren in de Waal, de stuwings in dit benedenstrooms gelegen riviertraject. De IJssel heeft echter slechts een breedte-diepte-verhouding van 10-20 met uitzondering van het profiel bij Zalk dat een waarde van 30 heeft. De Shieldsparemeter varieert van 0,10-0,45. Alleen bij de meander bij Zalk is dus de mogelijkheid voor vorming van een lage kronkelwaardbank. Mogelijk geldt dit ook voor andere sterk gekromde meanders in de Midden- en Beneden-IJssel. Bij Zalk is deze lage kronkelwaardbank inderdaad aanwezig.

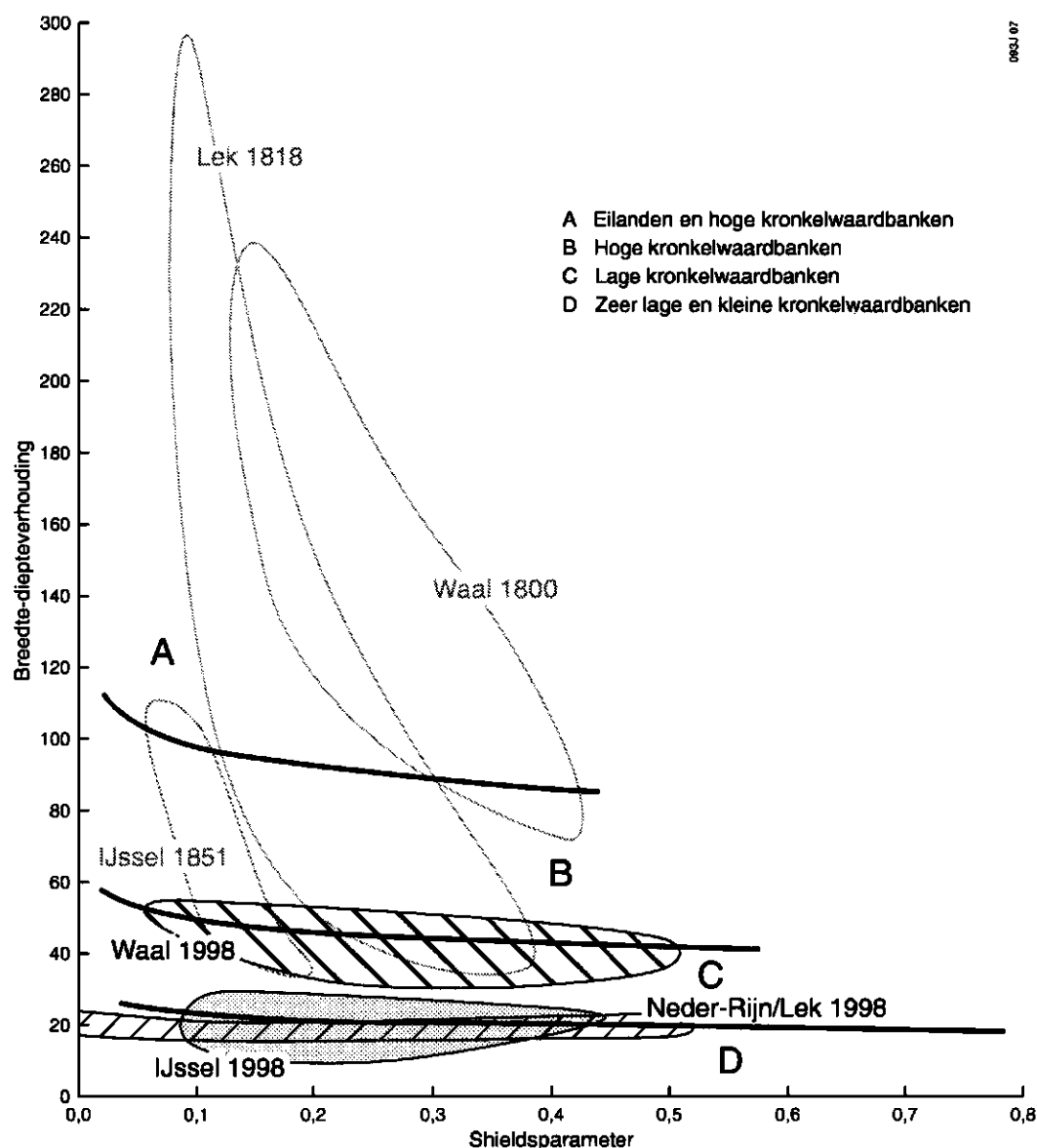


Fig. 7 Classificatiediagram met de Rijntakken in de tegenwoordige situatie, vergeleken met de onderzochte rivertrajekten in de historische situatie (grotendeels naar Lambeek en Mosselman, 1998)

De Neder-Rijn/Lek blijft in het classificatiediagram vrijwel geheel in het veld met zeer lage kronkelwaardbanken. Hieruit volgt dat vorming van kronkelwaardbanken die boven water komen in de Neder-Rijn/Lek niet meer aan de orde is.

3.1.2 Overstroming en waterstandsfluctuatie

De verschillende riviertrajekten onderscheiden zich soms ook door een afwijkend overstromingsregime. Wanneer welke delen van de uiterwaarden overstroomd worden blijkt uit tabel 5. De tegenwoordige overschrijding van waterstanden wordt

gepresenteerd in figuur 8. Met betrekking tot de Neder-Rijn zijn ook gegevens over de overschrijding van waterstanden uit Kwadijk en Rademakers (1995) geraadpleegd.

Tabel 5 Overstroming van verschillende uiterwaardcomponenten bij verschillende afvoeren.

Rijntak	Km	Q10	Q35	Q75
Waal	880 Bommel	Uiterwaard	Strangen	-
	893 Ewijk	Strangen	Strangen	-
	933 Waardenburg	Uiterwaard	Strangen	-
	949 Vuren	-	-	-
Pannerdensch Kanaal	875 Loo	Uiterwaard	Strangen	-
Neder-Rijn: Stuwpannd Driel-Amerongen	894 Doorwerth	-	-	-
	904 Opheusden	-	-	-
	920 Amerongen	Strangen	Uiterwaard	Uiterwaard
Neder-Rijn/Lek: Stuwpannd Amerongen-Hagestein	929 Ravenswaaij	-	-	-
	934 Culemborg Oost	Strangen	Uiterwaard	-
	940 Culemborg West	Strangen	Uiterwaard	Strangen
	945 Hagestein	Strangen	Uiterwaard	Strangen
IJssel	902 Doesburg	Strangen	Strangen	Strangen
	932 Eefde	Uiterwaard	Strangen	-
	956 Olst	Uiterwaard	Strangen	-
	983 Zalk Oost	Uiterwaard	Uiterwaard	Strangen
	989 Wilsum	Uiterwaard	Uiterwaard	-
	992 Wilsum West	Uiterwaard	Uiterwaard	-

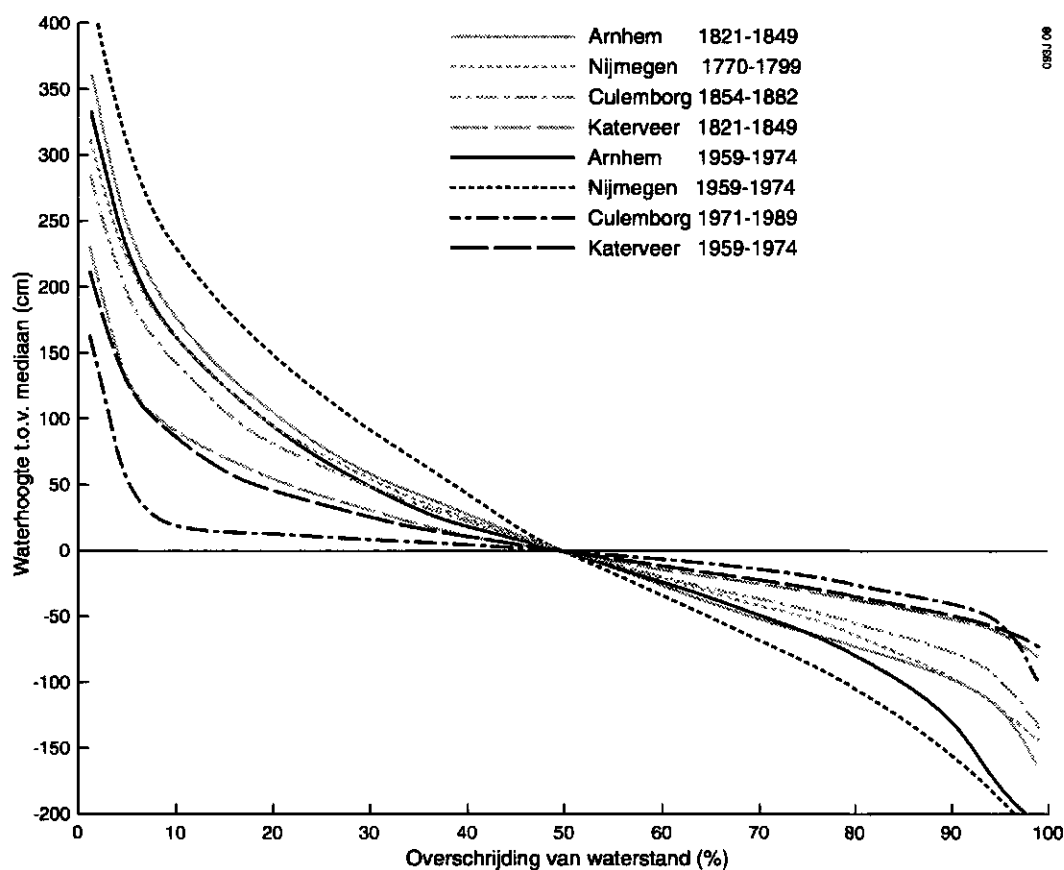


Fig. 8 Overschrijding van waterstanden in de Rijntakken in de tegenwoordige situatie, vergeleken met die van de historische situatie

Bij de IJssel is een duidelijke stroomafwaartse gradiënt te zien, die ook overeenkomt met de overschrijdingslijnen in het lengteprofiel van de rivier. Bovenstrooms overstroomt slechts de strangen bij de genoemde afvoeren; verder in benedenstroomse richting overstroomt de uiterwaarden ook bij Q10. Helemaal benedenstrooms overstroomt delen van de uiterwaarden al bij Q35. Wanneer strangen langer onder water staan zullen zij sneller dichtslibben. Uit de overschrijdingslijnen blijkt dat de minimale waterstanden bij Katerveer niet lager dan ca. 50 cm onder de mediaan komen. Het traject bij Katerveer onderscheidt zich ook door een lagere ligging van het maaiveld en het voorkomen van ongerijpte kleien.

De Waal is min of meer vergelijkbaar met het middelste deel van de IJssel. Alleen het benedenstroomse deel bij Vuren wijkt duidelijk af: er vinden daar geen overstromingen plaats. De reden hiervoor is onduidelijk.

In de Neder-Rijn/Lek is met betrekking tot de overstroming binnen de stuwpanden een tweedeling aan te brengen. In de bovenstroomse helft is er nauwelijks sprake van overstroming: zelfs bij Q10 blijft het water in het zomerbed. In de benedenstroomse helft echter overstroomt de strangen al bij een Q75 en de uiterwaarden bij een Q35. Uit de overschrijdingslijn van waterstanden bij Culemborg blijkt daarnaast dat de rivier daar nauwelijks schommelingen in de waterstand kent. Uit de waterstandsverhanglijnen is op te maken dat dit waarschijnlijk voor het gehele onderste stuwpand Amerongen-Hagestein geldt. Ook in het stuwpand Driel-Amerongen blijkt het middelste gedeelte, tussen Opheusden en Elst (km 904-916), relatief weinig waterstandsfluctuaties te kennen. Een hoge frequentie van overstroom en kleine waterstandsfluctuaties zijn kenmerken die veel lijken op die van riviertrajecten die van nature gestuwd zijn.

3.1.3 Geschiktheid voor fysiotopen en ecotopen

In tabel 6 wordt een indeling van de Rijntakken gepresenteerd op basis van het bovenstaande. Daarin worden de breedte-diepteverhouding en de overschrijding van de waterstanden in klassen als indelingscriteria gebruikt voor respectievelijk de vorming van banken en het voorkomen van moeras. Voor het laatste ecotoop speelt ook de mate van overstroming een rol. Aanvullend zijn verschillen in stroomsnelheden in uiterwaarden gebruikt om verschillen met betrekking tot het voorkomen van (bestaande) strangen aan te geven. De ligging van de onderscheiden trajecten wordt aangegeven in figuur 9. Trajecten waar (oude) kronkelwaardruggen en -geulen en beekstrangen voorkomen worden apart in de tekst genoemd.

Tabel 6 Indeling van de Rijntakken in trajecten op basis van huidige morfodynamiek en hydrodynamiek

Morfodynamiek	Rivier afvoer	Gestuwde afvoer
B/d zomerbed > 40	Boven-Waal en Boven-Rijn: – Hoge kronkelwaardbanken – Open strangen	Beneden-Waal – Hoge kronkelwaardbanken – Gesloten strangen
B/d zomerbed 20-40	Midden-Waal: – Lage kronkelwaardbanken – Open strangen	Beneden-IJssel: – Lage kronkelwaardbanken – Dichtgeslibde strangen – Moeras
B/d zomerbed < 20	Boven- en Midden-IJssel; Pannerdensch Kanaal Neder-Rijn/Lek, stuwpand Driel-Amerongen muv km 904-916: – Zeer lage kronkelwaardbanken – Gesloten strangen	Neder-Rijn/Lek, stuwpand km 904-916 in stuwpand Driel-Amerongen en vanaf stuw Amerongen: – Zeer lage kronkelwaardbanken – Dichtgeslibde strangen – Moeras

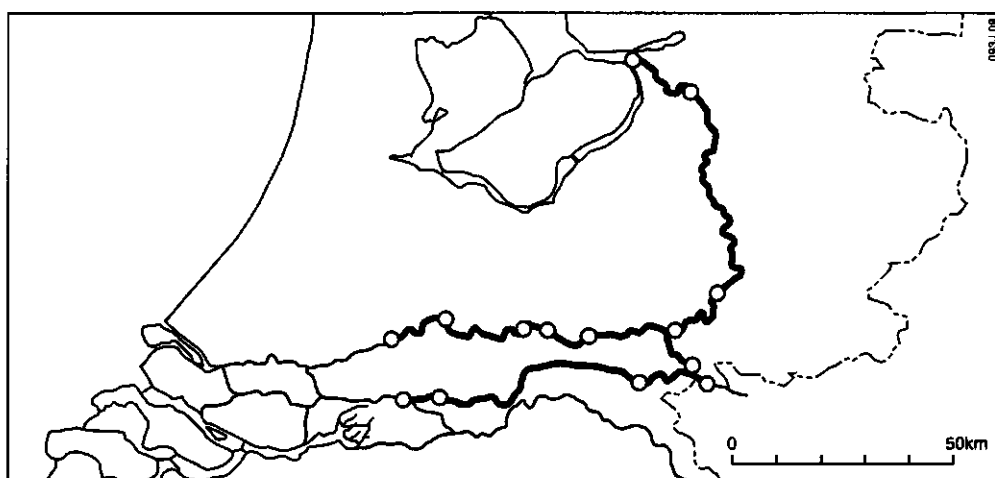


Fig. 9 Indeling van de Rijntakken in trajecten op basis van tegenwoordige morfodynamiek en hydrodynamiek.

Het blijkt dat een aantal fysiotopten bij de blijvende aanwezigheid van kribben in het zomerbed niet meer op natuurlijke wijze gerealiseerd kan worden. Voor het ontstaan van eilanden, nevengeulen en kronkelwaardgeulen zijn erosie van oevers en een grote breedte-diepte-verhouding randvoorwaarden. Al eerder was geconstateerd dat meandering van het zomerbed niet meer aan de orde kan zijn.

Alhoewel kronkelwaardgeulen onder de huidige omstandigheden niet meer kunnen ontstaan, zijn deze fysiotopten nog wel als zodanig aanwezig in het veld en daarmee nog onderscheidend voor de vegetatiestructuur. Kronkelwaardgeulen zijn zeer karakteristiek voor de Boven-IJssel en komen elders langs de IJssel voor aan de binnenzijde van sterk gekromde meanders. De tussen de geulen gelegen kronkelwaardruggen zijn als enige van de hier bestudeerde fysiotopten geschikt voor de ontwikkeling van hardhoutoibos.

Tenslotte bieden dicht bij stuwwallen gelegen riviertrajecten mogelijkheden voor de ontwikkeling van beekstrangen. Het gaat hierbij om de Boven-IJssel en de Neder-Rijn van Arnhem tot Opheusden.

3.2 Toepassing in planvorming en inrichting

3.2.1 Reikwijdte en beperkingen van de resultaten

De resultaten van deze studie zijn toepasbaar bij planvorming en inrichting in het rivierengebied. Op basis van de beschreven verschillen in geomorfologische geschiktheid is het nu mogelijk om beleids- en beheersdoelstellingen te differentiëren voor de diverse trajecten van de Rijntakken. Juist door in te spelen op mogelijkheden die geomorfologische en landschapsecologische processen bieden, wordt de kans op een succesvolle realisatie van het beleid groter. Dit geldt zeker waar door een veelheid aan functies aanspraken op de schaarse ruimte in het rivierengebied gemaakt wordt, en er derhalve voor elke functie naar optimaal geschikte locaties gezocht moet worden. De mogelijkheid om de geomorfologische en landschapsecologische processen bij de aanleg of instandhouding van fysiotopten of ecotopten in te zetten kan in aantal gevallen ook een lagere beheersinspanning met zich mee brengen. Door doelstellingen met betrekking tot natuur aan te laten sluiten op de in het verleden ontstane variatie aan landschappen wordt bovendien aangesloten bij de doelen van het landschapsbeleid.

De aard van dit onderzoek brengt echter wel mee dat bij de toepassing in planvorming en inrichting een aantal aspecten in acht genomen moet worden, wil men geen foutieve interpretaties maken:

- Ondanks het gebruik van gedetailleerde kaarten en de uitvoering van nauwkeurige berekeningen, heeft de synthese van dit onderzoek zich in het algemeen op een vrij hoog (nationaal) schaalniveau afgespeeld. De hier beschreven resultaten zijn daarom vooral geschikt voor de formulering van natuurdoelen op het niveau van riviertrajecten, maar minder voor dat op het niveau van individuele uiterwaarden.
- Uit het onderzoek blijkt dat in een aantal gevallen nog slechts een grove indicatie gegeven kan worden van geomorfologische en ecologische randvoorwaarden voor een duurzame ontwikkeling van fysiotopten en ecotopten. De aard van de geomorfologische en landschapsecologische processen is namelijk veelal niet tot in details bekend. Daarom moet men de aangegeven randvoorwaarden vooral als indicatief beschouwen en niet als harde randvoorwaarde.
- In het onderzoek zijn slechts van een aantal representatief geachte delen van, of locaties langs de Rijntakken gegevens verzameld. De resultaten van de historisch-geomorfologische karteringen (zie Hesselink, 1998; Maas, 1998) en de rivierkundige berekeningen (zie Lambeek en Mosselman, 1998) kunnen op deze locaties wel goede diensten bewijzen bij het opstellen van inrichtingsplannen van uiterwaarden op die locaties. Elke uiterwaard heeft echter een eigen historie en eigen kenmerken. Voor plannen met betrekking tot inrichting van andere uiterwaarden dient dus gebiedseigen informatie verzameld te worden.

3.2.2 Staalkaarten voor fysiotopten en ecotopten

Als handvat voor planvorming en inrichting worden hieronder een aantal staalkaarten gepresenteerd waarin informatie wordt gegeven over achtereenvolgens: definitie en

belang; vorming en randvoorwaarden; kansrijke trajecten; historische ordening (in de uiterwaard) en maatregelen.

Nevengeul

- ***Kenmerken en belang.*** Nevengeulen zijn permanent stromende geulen. Zowel de morfodynamiek als de hydrodynamiek in nevengeulen zijn vergelijkbaar met die van de vroeger in het zomerbed voorkomende ondiepe delen van het zomerbed. Nieuwe nevengeulen kunnen dit fysiotoop vervangen en zijn daarom zeer relevant voor het herstel van de aquatische macrofauna en vispopulaties.
- ***Vorming en randvoorwaarden.*** Voor de natuurlijke vorming van nevengeulen is erosie van oevers een eerste vereiste. Door erosie krijgt het zomerbed een grotere breedte-diepteverhouding en komt er materiaal vrij voor sedimentatie. Door stroomvertraging kunnen er dan eilanden ontstaan in het zomerbed die de waterstroming splitsen in hoofd- en nevengeul. Eilanden ontstaan pas bij een breedte-diepteverhouding van 100 of meer.
- ***Kansrijke trajecten.*** Gezien de blijvende aanwezigheid van kribben in de Rijntakken kan er geen erosie van oevers meer optreden en blijft de breedte-diepteverhouding van alle riviertrajecten onder de maat voor een natuurlijke vorming van nevengeulen. Nevengeulen dienen dan ook aangelegd te worden. In dat geval zijn riviertrajecten met een kleinere breedte-diepteverhouding geschikter, vanwege de kleinere kans op verzanding van de bovenstroomse opening van de nevengeul. Dit doet zich voor bij de Boven- en Midden-IJssel. Langs gestuwde trajecten stromen aangelegde nevengeulen niet permanent; de Neder-Rijn/Lek is daarom minder geschikt voor meestromende nevengeulen. Het effect van scheepvaart op nevengeulen is nog onvoldoende onderzocht.
- ***Historische ordening.*** Nevengeulen kwamen langs de zwak meanderende rivieren voor aan het benedenstroomse deel van een uiterwaard. Dit blijkt vooral uit de historische kaarten van de Waal en de Lek. De jongste strangen in een uiterwaard zijn vanuit historisch-landschappelijk oogpunt dan ook te verkiezen om nevengeulen in aan te leggen. Langs de IJssel kwamen in de 17^e eeuw opvallend smalle nevengeulen voor die dwars door de kronkelwaard liepen. Deze zijn nog herkenbaar als strangen.
- ***Maatregelen.*** Voor een dynamisch en divers milieu binnen de nevengeul dienen deze een grote breedte-diepteverhouding te krijgen van minstens 40. Een nevengeul heeft bij voorkeur zandige oevers. Dit past goed bij de mogelijkheid om zand te winnen: bij een dergelijke breedte moet veel graafwerk verricht worden. Wanneer de stabiliteit van de nevengeul van belang is (bijvoorbeeld bij de instroomopening) zijn echter oevers van klei te prefereren, gecombineerd met een breedte-diepteverhouding van minder dan 20. De invloed van vorm en constructie is hier buiten beschouwing gelaten.

Open strang

- ***Kenmerken en belang.*** Open strangen zijn eenzijdig, aan de benedenstroomse zijde aangesloten op het zomerbed van de rivier. Zij vormen een permanent vanuit de rivier toegankelijk aquatisch milieu dat essentieel is voor diverse rivierorganismen. In vergelijking met de oevers van het zomerbed en andere typen strangen neemt

het oevermilieu qua dynamiek een intermediaire plaats in, met onder andere karakteristieke laaggelegen ruigtevegetaties.

- *Vorming en randvoorwaarden.* Open strangen kunnen van nature ontstaan door verzanding van het bovenstroomse deel van een nevengeul of bij de ontwikkeling van een hoge kronkelwaardbank aan de binnenzijde van een meander. Nieuwvorming vraagt om erosie van oevers en een grote breedte-diepteverhouding van het zomerbed van meer dan 40. Daarnaast zijn hoge stroomsnelheden bij overstroming van de uiterwaard of waterbeweging door getijden of scheepvaart bevorderlijk voor het voortbestaan van de benedenstroomse opening.
- *Kansrijke trajecten.* Natuurlijke vorming van nieuwe open strangen is, evenals bij nevengeulen, niet meer mogelijk in verband met de blijvende aanwezigheid van kribben in de rivier. In het verleden afgesloten strangen kunnen echter ook weer geopend worden. Een duurzame oplossing is dit vooral langs de Boven-Rijn en de Boven- en Midden-Waal, waar de stroomsnelheden in de uiterwaard groter zijn dan langs de andere Rijntakken.
- *Historische ordening.* Hoge stroomsnelheden in het strangenstelsel in de uiterwaarden kwamen in het verleden vooral voor aan de benedenstroomse zijde van onbekade uiterwaarden. Daarnaast waren langs de winterdijk gelegen strangen vaak open strangen, evenals locaties waar meerdere strangen samenvloeiden. De turbulentie door convergerende waterstroming draagt daar bij aan het op diepte en open houden van de strang. Op een aantal plaatsen komen in de uiterwaarden relatief oude strangen voor, die zich kenmerken door een sterkere kromming. Deze strangen waren vroeger relatief diep en slibden nauwelijks dicht. Vanuit historisch-landschappelijk past juist in deze strangen open water. Op deze locatie bleven de strangen langs de Lek en de Waal het langst open. Ook de getijdenbeweging heeft aan deze zijde het aangrijpingspunt.
- *Maatregelen.* Door de aanleg van kaden en bos in de uiterwaard kan de stroming gedurende overstroming van de uiterwaard geconcentreerd worden op locaties waar strangen open dienen te blijven.

Gesloten strang

- *Kenmerken en belang.* Een gesloten strang kenmerkt zich door het voorkomen van open water dat bij lage waterstand aan beide zijden is afgesloten van het zomerbed. Doordat de strangen een groot deel van het jaar zijn afgesloten van de rivierinvloed ontwikkelen zich hier anderssoortige aquatische milieus, die bijvoorbeeld relevant zijn voor amfibieën.
- *Vorming en randvoorwaarden.* Gesloten strangen slibben niet dicht doordat plaatselijk grote stroomsnelheden voorkomen gedurende overstroming van de uiterwaarden. Door de grotere turbulentie blijven delen van de strangen vrij diep en open.
- *Kansrijke trajecten.* De meeste ruimte voor dit fysiotooptype wordt geboden door riviertrajecten die enerzijds in uiterwaarden gelegen zijn die gedurende overstroming niet overal hoge stroomsnelheden hebben, en anderzijds niet onder invloed staan van een gestuwd rivierregime. Bij hoge stroomsnelheden zullen strangen open blijven en bij gestuwde rivierafvoer zullen ze dichtslibben. Kansrijke trajecten zijn daarom de Boven- en Midden-IJssel, het Pannerdensch

Kanaal, het stuwpand Driel-Amerongen in de Neder-Rijn/Lek met uitzondering van het middelste deel, de Neder-Rijn vanaf Amerongen en de Beneden-Waal.

- *Historische ordening.* Gesloten strangen namen in de strangstelsels in de uiterwaarden een intermediaire positie in: veelal bevonden zij zich tussen de bovenstrooms gelegen dichtgeslibde strangen en de benedenstrooms gelegen open strangen.
- *Maatregelen.* Evenals bij open strangen kan hier gebruik gemaakt worden van kaden en bos om een betere convergentie van waterstroming te bereiken. Bij aanleg op locaties waar dichtslibbing te verwachten is kunnen strangen voorzien worden van steilere oevers, waardoor er minder slibinvangend rietmoeras en bos zal groeien.

Dichtgeslibde strang

- *Kenmerken en belang.* Bij een dichtgeslibde strang is het reliëf van de strang nog wel in het veld aanwezig, maar is er geen open water meer. De ondergrond bestaat in vergelijking met de omringende uiterwaard uit een dikkere kleilaag. In een natuurlijke situatie is de strang dichtgegroeid met moeras of met zachthoutoobos, en vormt als zodanig een overgangsmilieu van het open water naar de uiterwaard.
- *Vorming en randvoorwaarden.* Strangen slibben dicht wanneer zij vaak overstromen en het water langzaam wegstroomt zodat er veel slib kan sedimenteren. Zodra de waterdiepte minder wordt dan 50-70 cm wordt het dichtslibben versneld door de groei van riet (of meer algemeen: helofyten) dat extra sediment invangt en ook organisch materiaal levert. De ontwikkeling van rietmoerassen is gebaat bij kleine waterstandfluctuaties waarbij het water slechts zelden meer dan 50 cm onder de gemiddelde waterstand komt.
- *Kansrijke trajecten.* Geschikte situaties voor de ontwikkeling van dichtgeslibde strangen doen zich met name voor in de trajecten die een gestuwd afvoerregime hebben. Van nature komt dit voor langs de Beneden-IJssel en door de aanleg van stuwen in de Neder-Rijn/Lek. In de laatstgenoemde riviertak is vooral het stuwpand Amerongen-Hagestein van belang, waar zich de geringste waterstandschommelingen voordoen, en daarnaast het deel tussen Opheusden en Elst (km 904-916) in het stuwpand Driel-Amerongen en de Lek vanaf Hagestein.
- *Historische ordening.* De meest bovenstroomse delen van strangencomplexen slibden altijd het eerst dicht. Sinds de bekading van vele uiterwaarden zijn ook bekade strangen sneller dichtgeslibd, vergeleken met de onbekade. Maatregelen ter bevordering van het dichtslibben zouden zich dus kunnen richten op de bovenstroomse delen van strangen in bekade uiterwaarden.
- *Maatregelen.* Behalve bekading, waardoor de verblijftijd van het overstromingswater langer wordt, kan door de ontwikkeling van bos in de strang de stroomsnelheid verminderd worden, zodat eenmaal afgezet slib niet weer wordt opgenomen.

Beekstrang

- *Kenmerken en belang.* Een beekstrang is een strang waar een beek in uitmondt. Met name waar beken en/of beekstrangen gevoed worden met kwelwater, vormt

de beekstrang een apart en waardevol leefmilieu voor planten en dieren in de uiterwaard.

- *Vorming en randvoorwaarden.* Beekstrangen vormen zich alleen waar beken uitmonden in de uiterwaarden, of waar de uiterwaarden grenzen aan veel hoger gelegen gebieden, waardoor aan de voet daarvan kwelsituaties kunnen ontstaan. Om verlanding van de ver van de rivier gelegen beekstrangen te voorkomen is een permanente afvoer van beek- en/of kwelwater vereist.
- *Kansrijke trajecten.* Toestroming van oppervlaktewater of kwelwater vindt alleen plaats waar de rivier een drainerende werking heeft op de omgeving. Kwelmilieus in de uiterwaard komen voor aan de voet van stuwwallen. Deze milieus kunnen zich beter ontwikkelen wanneer zij niet te vaak overstroomd worden. Kansrijke trajecten zijn daarom de Boven-IJssel en de Neder-Rijn van Arnhem tot Opheusden.
- *Historische ordening.* Beekstrangen zijn over het algemeen ver van het zomerbed gelegen. Vanwege de waterafvoerende functie kunnen beekstrangen over grote afstand parallel lopen aan het zomerbed van de rivier, waarbij soms het water afgevoerd wordt door strangen van verschillende ouderdom.
- *Maatregelen.* Om een permanente stroming te creëren is een kleine breedte-diepte-verhouding van de beekstrang gewenst. De werking van een beekstrang kan verbeterd worden door een kwelgebied alleen op deze stang te laten afwateren, bijvoorbeeld door dit te omkaden.

Kronkelwaardrug en kronkelwaardgeul

- *Kenmerken en belang.* Kronkelwaardruggen en -geulen zijn sikkelvormige ruggen en geulen aan de binnenzijde van meanders. De geulen vormen in vergelijking met andere strangen een droger ecotoop, waarbinnen zich moerasruigten kunnen ontwikkelen. De hogere ruggen zijn opvallende droge standplaatsen waarop zich hardhoutoibos kan ontwikkelen.
- *Vorming en randvoorwaarden.* Kronkelwaardruggen en -geulen ontstaan langs de binnenbocht van meanders, wanneer door erosie aan de buitenbocht ruimte in het zomerbed ontstaat voor sedimentatie in de vorm van een kronkelwaardbank. Geulen met een geprononcerd reliëf ontstaan pas wanneer hoge kronkelwaardbanken ontstaan; randvoorwaarde daarvoor is een vrij grote breedte-diepte-verhouding van het zomerbed van meer dan 40.
- *Kansrijke trajecten.* In verband met de blijvende aanwezigheid van kribben, zijn er ook voor de natuurlijke vorming van kronkelwaardruggen en -geulen geen geschikte trajecten meer. In het verleden gevormde kronkelwaardruggen en -geulen zijn echter wel aanwezig langs de Boven-IJssel en aan de binnenzijde van sterk gekromde meanders in de andere trajecten van de IJssel. Met name de kronkelwaardruggen vormen daar een karakteristiek en onvervangbaar natuurlijk fysiotoop.
- *Historische ordening.* In kronkelwaarden waar een complex van kronkelwaardruggen en -geulen gespaard is gebleven voor afgraving of nivellering, zou natuurontwikkeling zich kunnen richten op het behoud van deze patronen. Een unieke positie vormt de kronkelwaard bij Zalk, waar het bijzonder reliëfrijke patroon van kronkelwaardruggen en -geulen is ontstaan onder invloed van het daar voorkomende eeuwenoude hardhoutoibos (Maas, 1998).

- *Maatregelen.* Voor het behoud van het reliëf van bestaande kronkelwaarden is het aan te bevelen de ontwikkeling van hardhoutooibos te stimuleren op de hogere ruggen. Bij overstroming concentreert de stroming zich dan in de geulen die daardoor minder snel opslibben. In de jongste en meest laaggelegen geulen kan de ontwikkeling van moerasruigte gestimuleerd worden, zodat deze zich onderscheiden van de ouder, hoger gelegen geulen met grasland.

Aanwas of kronkelwaardbank

- *Kenmerken en belang.* Aanwassen of kronkelwaardbanken vormen ondiepe delen in het zomerbed die geleidelijk overgaan in veelvuldig overstroomde natuurlijke rivieroever. Zij vormen dus een belangrijke ecologische gradiënt op de grens van diep zomerbed en uiterwaard en zijn als zodanig relevant voor aquatische fauna en pioniervegetaties.
- *Vorming en randvoorwaarden.* Aanwassen ontstaan door het proces van vorming van kronkelwaardbanken. Er is een onderscheid te maken tussen hoge of lage kronkelwaardbanken die regelmatig boven water uitsteken en zeer lage kronkelwaardbanken, die een typisch onderwatermilieu vormen. Welk type ontstaat is afhankelijk van de breedte-diepteverhouding van het zomerbed: onder een waarde van 20 ontstaan slechts nog zeer lage banken. De natuurlijke vorming van aanwassen is beperkt wanneer er geen erosie van de tegenoverliggende oever plaatsvindt: er is dan te weinig ruimte in het zomerbed voor sedimentatie.
- *Kansrijke trajecten.* Door de hoge breedte-diepteverhouding is de Waal de enige riviertak waar in principe overal hoge en lage kronkelwaardbanken zouden kunnen ontstaan. De aanwezige kribben zijn hiervoor echter wel een belemmering. De Beneden-Waal is het traject waar bij laagwater gevormde banken niet worden opgeruimd bij hoogwater. Langs de IJssel kunnen lage kronkelwaardbanken alleen nog ontstaan in de binnenbocht van sterk gekromde meanders, zoals bij Zalk.
- *Historische ordening.* Aanwassen vonden en vinden vooral plaats aan de benedenstroomse zijde van de binnenbocht van meanders.
- *Maatregelen.* Aangezien sedimentatie in het zomerbed over het algemeen ontoelaatbaar is vanwege eisen voor voldoende diepgang voor schepen, dienen maatregelen gericht te zijn op sedimentatie van zand op de oever. Wanneer delen van de oever achter de kribben worden afgegraven zal daar gedurende hoogwater meer sedimentatie plaatsvinden, zeker wanneer de afgraving in een binnenbocht plaatsvindt en wanneer achter de afgraving een strang of zandwinplas gelegen is die een (klein) deel van de afvoer van het zomerbed naar de uiterwaard trekt. Een deel van het terrein zal zich echter al snel tot oeverwal of uiterwaard ontwikkelen. Een voorbeeld is de recente ontwikkeling op de Ewijkse plaat (Bosman en Sorber, 1997).

Moeras

- *Kenmerken en belang.* Moerassen zijn permanent natte laaggelegen delen van de uiterwaarden met riet, ruigte of verlandingsvegetaties. Het zijn kenmerkende natuurlijke ecotopen in de uiterwaarden.
- *Vorming en randvoorwaarden.* Moerassen en met name rietlanden komen voor waar de uiterwaarden niet te hoog zijn opgeslibd en de waterdiepte niet groter is

dan 50-70 cm. Riet kan zich snel vestigen op kaal substraat. Het rietmoeras wordt in de vegetatiesuccessie opgevolgd door zachthoutooibos, dat zich eigenlijk overal in de uiterwaard kan vestigen en handhaven. Deze successie wordt sneller in gang gezet wanneer er grote waterstandsschommelingen zijn zodat de boomzaden kunnen kiemen. De successie vindt echter niet plaats wanneer de waterstand in niet meer dan 5% van de tijd meer dan 50 cm onder de mediane waterstand ligt. Tevens kan de successie worden tegengegaan door een gericht maaibeheer.

- *Kansrijke trajecten.* De meest geschikte trajecten voor rietlanden zijn de trajecten met een gestuwd afvoerregime: de geringe waterstandschommelingen verhinderen verdroging en de snelle vestiging van zachthoutsoorten. Deze omstandigheden doen zich van nature voor langs het benedenstrooms gelegen Beneden-IJssel. Ook de delen van de uiterwaarden langs de gestuwde Neder-Rijn/Lek die vaak overstromen en geringe waterstandschommelingen kennen zijn kansrijk: een klein deel van het stuwpand Driel-Amerongen (tussen Opheusden en Amerongen; km 904-916) en het gehele stuwpand Amerongen-Hagestein. Ook de Lek tussen Hagestein en Schoonhoven is zeer kansrijk.
- *Historische ordening.* Langs de Lek en de Beneden-IJssel kwam moeras veel voor op op- en aanwassen, en in sommige perioden in grote delen van de gehele uiterwaard. In de meer bovenstrooms gelegen riviertrajecten kwam moeras slechts voor in de meest bovenstrooms gelegen delen van strangen. De totale oppervlakte aan moeras was daar dan ook veel kleiner. Langs de sterk meanderende IJssel kwamen langs de oevers smalle, maar langerekte zones met zachthoutooibos voor.
- *Maatregelen.* Voor de vestiging van riet kan het maaiveld verlaagd worden tot ongeveer het niveau van het grondwater en is een kaal substraat vereist. Voor blijvende vestiging van riet is een gericht maaibeheer vereist.

Literatuur

Bosman, W.W. en A.M. Sorber, 1997. De Ewijkse Plaat. Natuurontwikkeling in relatie tot overstroming en begrazing. *Landschap 14*: 131-146.

Coops, H. en N. Geilen. *Oeverplanten. Over eigenschappen en toepassingen in het waterbeheer*. Lelystad, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. Nota 96.001.

Hesselink, A.W., 1998. *Ontwikkeling van de uiterwaarden langs de Lek. Vanaf de 16^e eeuw tot heden*. Utrecht, Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Geografie. Geopro rapport 98/7.

Kwadijk, F. en J.G.M. Rademakers, 1995. Natuurontwikkeling noordoever Nederrijn. Toepassing van landschapsecologie in de planvorming. *Landschap 12*: 3-14.

Lambeek, J.J.P. en E. Mosselman, 1998. *Huidige en historische rivierkundige parameters van de Nederlandse Rijntakken*. Delft, Waterloopkundig Laboratorium. Rapport Q2382.

Maas, G.J., 1998. *Historisch-geomorfologische ontwikkeling van enkele riviertrajecten langs de IJssel*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 620.

Maas, G.J., H.P. Wolfert, M.M. Schoor en H. Middelkoop, 1997. *Classificatie van riviertrajecten en kansrijkdom voor ecotopen; een voorbeeldstudie vanuit historisch-geomorfologisch en rivierkundig perspectief*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 552.

Rademakers, J.G.M. en H.P. Wolfert, 1994. *Het Rivier-Ecotopen-Stelsel. Een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied*. Lelystad, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. Publicaties en rapporten van het project 'Ecologisch Herstel Rijn en Maas' 61-1994.

Splunder, I. van, 1998. *Floodplain forest recovery. Softwood forest development in relation to hydrology, riverbank morphology and management*. Nijmegen, Katholieke Universiteit Nijmegen. Proefschrift.

Zonneveld, I.S., 1960. De Brabantse Biesbosch. *Een studie van bodem en vegetatie van een zoetwatergetijdendelta*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Bodemkundige studies 4.