

**Handvatten voor Nevengeulen  
in de Rijntakken**





# **Handvatten voor Nevengeulen in de Rijntakken**

Gertjan Geerling  
Leon van Kouwen

1201474-000





## Titel

Handvatten voor Nevengeulen in de Rijntakken

## Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

## Project

1201474-000

## Kenmerk

1201474-000-ZWS-0005-vj 70

## Pagina's

## Trefwoorden

Nevengeulen, Ecologie, Morfologie, Kaderrichtlijn Water, Vis, Macrofauna, Waterplanten.

## Samenvatting

De komende jaren worden veel nevengeulen aangelegd. In dit rapport, dat de basis vormt voor een handboekje 'nevengeulen', staan ecologische en morfologische handvatten voor het ontwerpen van Nevengeulen weergegeven. Dit is zoveel mogelijk geïllustreerd met in de afgelopen jaren opgedane kennis uit de pilotprojecten langs de Rijntakken: Gameren, Klompenwaard, Bakenhof, Vreugderijkerwaard, Beneden-Leeuwen en Opijnen. Daarbij is voor de onderbouwing verder gebruikt gemaakt van inzichten uit de internationale wetenschappelijke literatuur. Deel I beschrijft de in nevengeulen aangetroffen aquatische ecologie en morfologische aspecten die het ecologische functioneren beïnvloeden. Deel II laat de resultaten zien van de monitoring van de vier geulen die in 2009 nogmaals bemonsterd zijn. Deel III geeft ontwerphandvatten.

## Referenties

Geerling, G. & L. van Kouwen (2011) Handvatten voor nevengeulen in de Rijntakken. Deltares.

| Versie | Datum    | Auteur           | Paraaf | Review     | Paraaf | Goedkeuring  | Paraaf |
|--------|----------|------------------|--------|------------|--------|--------------|--------|
|        | mei 2011 | Gertjan Geerling |        | Tom Buijse |        | Toon Segeren |        |
|        |          | Leon van Kouwen  |        |            |        |              |        |

## Status

definitief



## Inhoud

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Voorwoord</b>                                             | <b>1</b>  |
| <b>Samenvatting</b>                                          | <b>3</b>  |
| <b>1 Deel 1: Ecologie en hydromorfologie van Nevengeulen</b> | <b>5</b>  |
| 1.1 Wat zijn nevengeulen?                                    | 5         |
| 1.2 Riviertakken                                             | 6         |
| 1.3 Ecologie                                                 | 10        |
| 1.3.1 Waterplanten                                           | 11        |
| 1.3.2 Macrofauna                                             | 12        |
| 1.3.3 Vis                                                    | 14        |
| 1.4 Ecohydromorfologie                                       | 16        |
| 1.4.1 Connectiviteit                                         | 17        |
| 1.4.2 Stroming                                               | 19        |
| 1.4.3 Waterdiepte variatie                                   | 21        |
| 1.4.4 Substraatvariatie                                      | 22        |
| 1.4.5 Regelwerk                                              | 26        |
| 1.4.6 Oeverbegroeiing                                        | 28        |
| <b>2 Deel 2: Nevengeulen langs de Rijntakken</b>             | <b>29</b> |
| 2.1 Bestaande geulen in Rijntakken                           | 29        |
| 2.2 Hydromorfologie Gamenen                                  | 31        |
| 2.2.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg              | 31        |
| 2.2.2 Hydraulische en morfologische aspecten                 | 32        |
| 2.3 Hydromorfologie: Klompenwaard                            | 35        |
| 2.3.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg              | 35        |
| 2.3.2 Hydraulische en morfologische aspecten                 | 36        |
| 2.4 Hydromorfologie Bakenhof                                 | 37        |
| 2.4.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg              | 37        |
| 2.4.2 Hydraulische en morfologische aspecten                 | 39        |
| 2.5 Hydromorfologie: Vreugderijkerwaard                      | 41        |
| 2.5.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg              | 41        |
| 2.5.2 Hydraulische en morfologische aspecten                 | 43        |
| 2.6 Vis in nevengeulen                                       | 46        |
| 2.6.1 Methode                                                | 46        |
| 2.6.2 Nevengeulen versus strangen en plassen                 | 47        |
| 2.6.3 Aantallen soorten                                      | 48        |
| 2.6.4 Dichtheden                                             | 50        |
| 2.6.5 Ontwikkeling in de tijd                                | 51        |
| 2.6.6 Aantal soorten                                         | 52        |
| 2.6.7 Dichtheden                                             | 53        |
| 2.7 Macrofauna in nevengeulen                                | 54        |
| 2.7.1 Algemeen                                               | 54        |
| 2.7.2 Aantal taxa                                            | 54        |
| 2.7.3 Bijzondere soorten                                     | 55        |
| 2.7.4 Ontwikkeling in de tijd                                | 56        |
| 2.7.5 Aantal organismen                                      | 58        |

|          |                                                                                             |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8      | Waterplanten in nevengeulen                                                                 | 58        |
| 2.8.1    | Gameren                                                                                     | 58        |
| 2.8.2    | Klompenwaard                                                                                | 59        |
| 2.8.3    | Bakenhof                                                                                    | 59        |
| 2.8.4    | Vreugderijkerwaard                                                                          | 60        |
| <b>3</b> | <b>Deel 3: De nevengeul, afweging ecologie ten opzichte van randvoorwaarden</b>             | <b>63</b> |
| 3.1      | Wat hebben we geleerd van de bestaande nevengeulen wat betreft hun ontwerp en functioneren? | 63        |
| 3.2      | Overzicht aandachtspunten voor het ontwerpen van geulen                                     | 64        |
| 3.3      | Beheer / Cyclisch beheer                                                                    | 67        |
| <b>4</b> | <b>Literatuur</b>                                                                           | <b>69</b> |

## Voorwoord

Het rapport dat voor u ligt is een aanzet tot een handboekje “Nevengeulen”. Het doel van het handboekje is overzicht te geven van de werking van geulen op basis van bestaande kennis uit het Nederlandse rivierenlandschap. De doelgroep bestaat uit beleidsmakers, planontwerpers en niet-ecologen en –morfologen. De nadruk ligt op de verbinding van het ontwerp met de werking van een geul voor de aquatische ecologie, en dan vooral de ecologische aspecten die binnen de Kaderrichtlijn Water worden opgepakt. Het is een aanvulling op het door Bureau Drift uitgebrachte boekje “Kwaliteitsprincipes van Nevengeulen”. Daarin wordt goed uitgelegd wat de mogelijkheden zijn voor aanleg van geulen langs verschillende rivieren en voor het integreren van lokaal voorkomende landschapsprocessen in het uiterwaard-ontwerp.

In dit handboekje staan ecologische en morfologische handvatten voor het ontwerpen van Nevengeulen weergegeven, die zoveel mogelijk zijn geïllustreerd met in de afgelopen jaren opgedane kennis uit de pilotprojecten langs de Rijntakken: Gameren, Klompenwaard, Bakenhof, Vreugderijkerwaard, Beneden-Leeuwen en Opijnen. Daarbij is voor de onderbouwing verder gebruikt gemaakt van inzichten uit de internationale wetenschappelijke literatuur.





## Samenvatting

In Nederlandse rivieren kunnen nevengeulen een meer natuurlijk en langzamer stromend habitat bieden als alternatief voor de snelstromende en gereguleerde hoofdgeul. Door hun ligging of ontwerp kunnen nevengeulen in meer of mindere mate meestromen. Hierdoor zijn niet alle geulen even effectief voor stroomminnende soorten waterplanten, macrofauna of vis. Omdat de komende jaren veel in nevengeulen wordt geïnvesteerd, is het nuttig de bestaande kennis voor ecologische effectiviteit van geulen te bundelen. In dit handboekje zijn hiervoor de volgende vragen beantwoord:

1. Wat zijn voor ecologie belangrijke karakteristieken van nevengeulen?
2. Wat zijn deze van de bestaande nevengeulen in de Rijntakken?
3. Kunnen op basis hiervan ontwerphandvatten worden gegeven?

De voor (aquatische) ecologie belangrijkste karakteristieken van een nevengeul zijn connectiviteit (maanden meestromen), stroming, waterdieptevariatie, substraatvariatie en oeverbegroeiing. Een bijkomend belangrijk ontwerpaspect is het regelwerk. Regelwerken worden toegepast om de toestroom van water te reguleren en de scheepvaartfunctie van de aanpalende hoofdgeul te waarborgen.

De bestaande geulen Gameren, Klompenwaard, Bakenhof en de Vreugderijkerwaard zijn in 2009 in detail onderzocht op voorkomen van waterplanten, macrofauna en vis. Daarbij zijn ook de bodemligging, de waterdiepte, het aantal dagen meestromen en stroomsnelheden bepaald. De effectiviteit van de geulen is vergeleken met de nabij gelegen hoofdgeul (kribvak) en met de geulen onderling. Van alle nevengeulen (onafhankelijk van meestromen) was het soortenaantal en aantallen individuen macrofauna en vis hoger dan in de aanpalende kribvakken. De geulen die nagenoeg permanent meestromen en qua stroomsnelheid bij verschillende afvoeren stabiel zijn, bevatten de meeste stroomminnende soorten. Niet alleen de geul zelf, maar ook kenmerken van het riviersysteem zijn van belang. De locatie in de rijntakken bepaalt de mogelijkheden voor stroming (het effect van stuwen), en de boven- of benedenstroomse ligging bepaalt de waterstandfluctuaties. De kansen voor ontwikkeling van waterplanten hangt af van de waterstandfluctuaties in de verschillende rijntakken.

De belangrijkste handvatten voor ontwerpen van stromende geulen zijn:

1. Stroomt de aanpalende hoofdgeul? Zo nee, dan voldoet eenzijdig aangetakt.
2. De nevengeul moet 10 maanden of meer meestromen.
3. Stroomsnelheden in de geul variëren tussen 0 tot 100 cm/s. Een hoger gemiddelde is beter, maar een laag gemiddelde (6-10 cm/s) met grote variatie geeft al resultaat.
4. Waterdieptevariatie laten ontstaan, dit vergroot stromingsvariatie en behoud van waterdieptevariatie bij hogere en lagere waterstanden. Ondiepe (>2m) delen in het voorjaar nodig om vestiging van waterplanten mogelijk te maken.
5. Substraatvariatie in de vorm van sediment en dood hout bepaalt habitatvariatie. Voorkeur ligt op processen die dit stimuleren zoals erosie, sedimentatie en ontworteling.
6. Leg niet dwangmatig geulen aan. Wanneer op punten 1, 2 of 3 teveel compromis nodig is, onderzoek dan of eenzijdige aangetakte wateren beter voldoen.
7. Het toelaten van ontwikkelingen (processen) heeft een positief ecologisch effect.



# 1 Deel 1: Ecologie en hydromorfologie van Nevengeulen

## 1.1 Wat zijn nevengeulen?

Nevengeulen zijn aan de rivier aangetakte wateren die meestromen. In natuurlijke wateren betreffen dit vaak de ondiepere delen langs eilanden in de rivier of recentelijk afgesneden meanders die nog niet helemaal zijn afgesloten. In de Nederlandse rivieren zijn nevengeulen na de normalisatie werken niet meer aanwezig, maar worden ze de laatste jaren aangelegd voor natuur én hoogwaterafvoer. De Europese Kaderrichtlijn Water is sinds 2000 een van de grote drijfveren voor het ecologisch herstel van de rivieren, maar ook synergie met 'Ruimte voor de Rivier' en Natura 2000 bieden mogelijkheden om ecologische aspecten herinrichting bij mee te nemen.



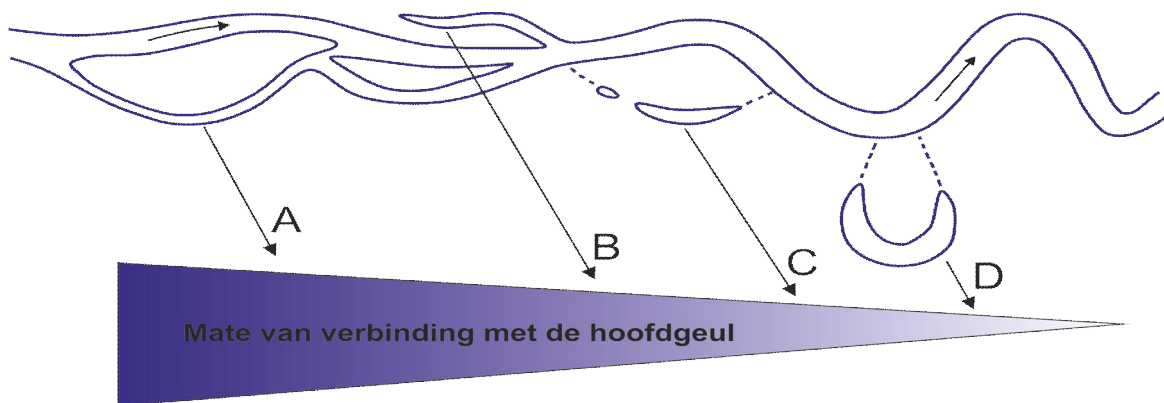
*Figuur 1.1 Nevengeulen landschap langs een bekribde rivier. In tegenstelling tot de genormaliseerde hoofdgeul, kunnen in nevengeulen allerlei erosie en sedimentatie patronen optreden die de lokale habitat diversiteit versterken. Zoals een in de nevengeul gevormde zandplaat, oevererosie en invallend hout door weggeërodeerde wilgen. (Bron: Handboek Cyclisch beheer, 2006.)*

Nevengeulen worden aangelegd omdat ondiep stromend habitat, sedimentatie en erosie processen door regulatie uit de hoofdgeul zijn verdwenen. Ook is de relatie met de oever sterker, bijvoorbeeld door een landwater overgang met waterplanten en oevervegetatie of direct aan de geul groeiende bomen zoals in Figuur 1.1.

Geulen kunnen bijdragen aan een verbeterde afvoer van hoogwater doordat de uiterwaard waarin ze liggen een beter en groter doorstroomprofiel krijgt. Een betere afvoer ontstaat als de geul parallel aan de hoogwater-stroomlijnen ligt; en de afvoer is groter omdat de uiterwaard door het graven van een nevengeul wordt verlaagd.

Door natuurlijke ontwikkelingen (sedimentatie, vegetatieontwikkeling op de oevers) kan het doorstroomprofiel weer afnemen; hiervoor zal een balans in het ontwerp moeten worden gevonden.

Niet alle geulen zijn nevengeulen, dat hangt af van de mate van verbinding met de hoofdgeul en het stromend karakter van de geul. Rijkswaterstaat definieert een nevengeul als “een meestromende nevengeul ligt parallel aan de hoofdstroom en is tweezijdig aangetakt (boven en benedenstreams), waarbij het water meer dan de helft van het jaar meestroomt.” (Rijkswaterstaat, 2010). Een stromende nevengeul is meestal het begin van een successiereeks naar een meer geïsoleerd water, waarbij de geul in een proces van honderden jaren langzaam verlandt en dichtgroeit met vegetatie (Figuur 1.2). Bestaande oude strangen zijn relictten uit het verleden, maar juist door hun lange ontwikkeltijd erg zeldzaam en ecologisch waardevol.



Figuur 1.2 Mate van verbinding (of connectiviteit) is een belangrijk ontwerpaspect want hiermee verandert het karakter van de geul en de geschiktheid voor soorten. De reeks schetst de ontwikkeling door de tijd heen. In de figuur: A: meestromende geul; B: aangetakte strang; C: afgesloten strang; D: geïsoleerde verlandende strang of plas. (Bron: aangepast naar Petts&Amoros, 1996).

Een divers rivierenlandschap heeft een schakeling aan meer en minder geïsoleerde wateren, en zeker op landschapsschaal is dit een belangrijk aspect van rivierherstel. Meestromende geulen, strangen, afgesloten strangen en geïsoleerde plassen hebben allen een eigen karakteristieke ontwikkeling en soortensamenstelling die grotendeels afhangt van het wel of niet voorkomen van waterdynamiek.

## 1.2 Riviertakken

Een nevengeul kan niet los worden gezien van het systeem waar het in ligt. Het aanleggen van nevengeulen met een ecologisch doel zonder daarbij de systeemkenmerken te betrekken, kan leiden tot geulen die het doel helemaal niet zullen halen. De kenmerken van riviertrajecten zijn afhankelijk van de ligging (bovenstreams of benedenstreams), het verval, het sediment/bodemtype, de stroomsnelheid en debiet, lokale variatie in waterstanden, etc. Verder zijn sommige delen gestuwd waardoor lokale omstandigheden minder karakteristiek zijn voor rivieren.

Figuur 1.3 geeft een overzicht van de kansrijkdom van aquatische ecotopen in de riviertrajecten. De mate van overeenstemming van de huidige lokale systeemkenmerken met de kenmerken van het aquatisch ecotoop, wordt kansrijkdom genoemd. Langs de rijntakken ontstaan nevengeulen niet meer spontaan en moeten dus aangelegd of verjongd worden (meestal aantakken van bestaande wateren).

| Traject                  | Zand- of grindbanken | dynamische eilanden | Ondiepe brede nevengeulen | Diepe smalle nevengeulen | Aangekoppelde strangen | Afgesloten strangen | geïsoleerde strangen | Restgeulen | Kronkelwaardgeulen |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------|--------------------|
| 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     |                      |                     |                           |                          |                        |                     |                      |            |                    |
| Merwedes                 |                      |                     |                           |                          |                        |                     |                      |            |                    |
| Biesbosch / Amer         |                      |                     |                           |                          |                        |                     |                      |            |                    |
| Hollandsch Diep          |                      |                     |                           |                          |                        |                     |                      |            |                    |
| Haringvliet              |                      |                     |                           |                          |                        |                     |                      |            |                    |

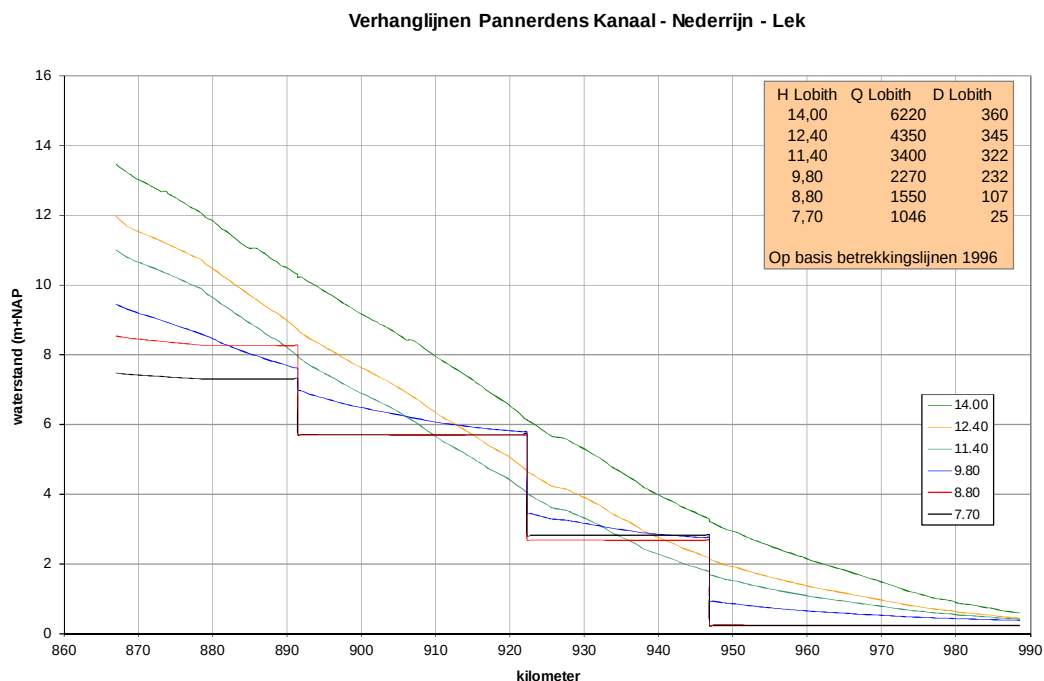
\* Uitgezonderd moeras in geïsoleerde strangen en restgeulen.

- = **Natuurlijke ontwikkeling**: Maatregelen zijn mogelijk waardoor natuurlijke processen de ecotopen laten ontstaan.
- = **Verjongen**: Terugbrengen van in het verleden gevormde fysiotoepen; 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.

*Figuur 1.3 Kwalitatieve indicatie voor kansrijkdom van fysiotoepen en aquatische ecotopen binnen de riviertrajecten. Per ecotoop is aangegeven of deze hersteld kan worden door natuurlijke ontwikkeling, door verjonging of door duurzame creatie (Aangepast op basis van Middelkoop et al., 2003).*

## Stuwen

Stuwen beïnvloeden de waterstanden in de rivieren en zijn aangelegd ten behoeve van de scheepvaart, maar hierdoor wordt ook de stroomsnelheid in gestuwde delen sterk beperkt (Figuur 1.4). Het gestuwde karakter van de delen van de Maas, Nederrijn en Lek heeft grote invloed op de vis-, macrofauna- en waterplantensamenstelling. Juist in het laagwaterseizoen, dat samenvalt met het groeiseizoen, voldoen de gestuwde delen niet aan de referentie voor stromend water op grind of zand. Het aanleggen van stromende geulen heeft in deze wateren geen zin want stromingsminnende macrofauna en vissoorten komen er nauwelijks voor. Hoewel de gestuwde delen in de Rijn ogenschijnlijk geschikt zijn voor waterplanten, komen deze hier maar spaarzaam voor. Dit komt vermoedelijk door de variatie in waterstanden tussen de verschillende jaren. In jaren met een hoge rivierafvoer staan de stuwen namelijk wel open in (een deel van het) groeiseizoen, terwijl dit bij lagere rivierafvoeren niet het geval is.

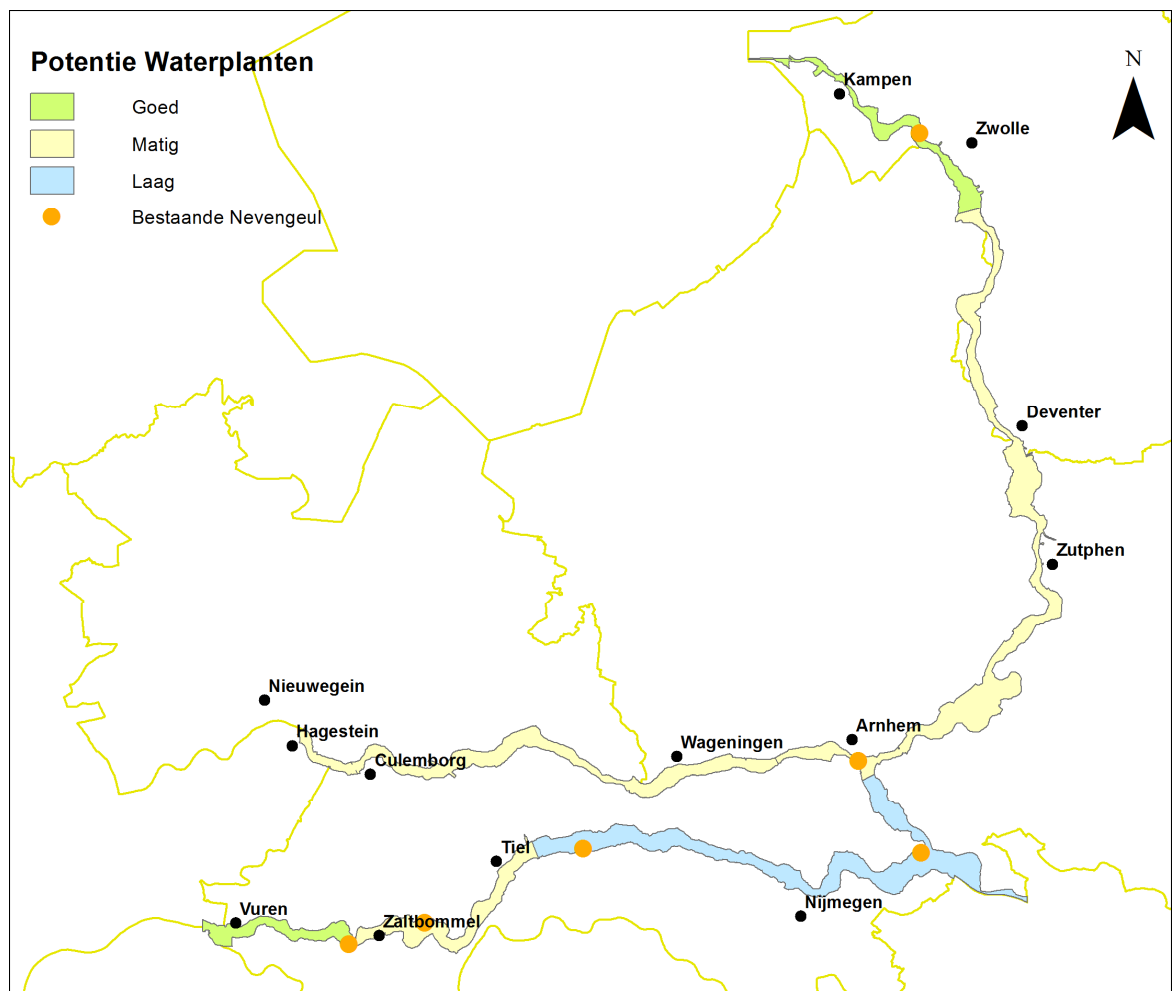


**Figuur 1.4** Werking van stuwen in de Nederrijn-Lek op de waterstanden van rivierkilometers (860-990) bij een reeks afvoeren. De waterstanden (y-as) zijn gekoppeld aan afvoeren (Q) en aantal dagen voorkomen van deze of hogere afvoeren (D), zie de tabel rechtsboven. Het stuwen heeft effect op de waterstanden maar ook op de lokale stroomsnelheid in de rivier, en is 107 dagen per jaar gestuwd en 133 dagen per jaar ongestuwd.

In gestuwde riviertrajecten zijn mogelijkheden voor stromend habitat beperkt tot verval om de stuwen heen, zoals vistrappen en kleine stromende geulen zoals de aan te leggen nevengeul bij de stadswaai van Roermond. Kwelgeulen of beekmondingen kunnen ook mogelijkheden bieden, maar alleen wanneer het een kleinschalig ontwerp betreft dat is afgestemd op de beschikbare hoeveelheid stromend water. Voor onder andere kansrijke locaties voor kwelgeulen, zie ook de handreiking “kwaliteitsprincipes uiterwaardinrichting” (Bureau Drift, 2009).

### Waterstandvariatie

De waterstanden variëren met de afvoer van de rivier en de geografische ligging van de oever langs de rivier. Zo neemt de waterstandvariatie af naarmate de oever meer benedenstrooms ligt door afnemend verhang. Dat heeft effect op de ontwikkelingsmogelijkheden van permanent aangetakte geulen: bij een geringe diepte stromen meer stroomafwaardsgelegen geulen langer mee. Maar ook voor de vestiging van waterplanten blijkt dit een belangrijke parameter te zijn. In uiterwaarden met grote waterstandvariatie zullen in meestromende geulen of eenzijdig aangetakte strangen geen waterplanten ontwikkelen omdat de habitat in het groeiseizoen droogvalt of omdat het water in het voorjaar te diep is voor vestiging. De kansen voor waterplanten nemen benedenstrooms toe. In onderstaand kaartje staat indicatief aangegeven welke riviersecties meer en minder potentie hebben voor waterplanten, zie Figuur 1.5.



Figuur 1.5 Potentie voor waterplanten per riviertak (laag, matig, groot) op basis van onderzoeksresultaten uit waterplantenonderzoek (bron: Gerben van Geest in opdracht van RWS-ON). De kansrijkdom voor Neder-Rijn/Lek is nog onduidelijk doordat de peilfluctuaties binnen een stuwpand sterk kunnen variëren (peilvariëaties treden vooral op als stuwen open of dicht gaan). Na de stuw bij Hagestein verandert het karakter van de rivier in een getijdenrivier, hiervoor is geen potentie gegeven.

## 1.3 Ecologie

Waar bestaat de ecologie van een nevengeul uit? Aangezien een nevengeul uit een watervoerend deel en oevers bestaat, is de watergebonden ecologie het belangrijkste. Vanuit bestaande kennis wordt de waarde van Nederlandse nevengeulen beschreven voor waterplanten, aquatische kleine ongewervelden (macrofauna) en vis. De droge oevers komen alleen aan bod voor zover de inrichting effect heeft op waterplanten, macrofauna en vis. Dit handboekje richt zich zodoende op het natte deel van de nevengeul, voor ontwerpaspecten wat betreft de meer droge ecologie wordt verwezen naar “Kwaliteitsprincipes uiterwaardinrichting: principes voor de landschapsecologische kwaliteit van inrichtingsprojecten in het rivierengebied” (Peters, 2009).

De volgende paragrafen zijn korte inleidingen op de ecologie van waterplanten, macrofauna en vis. Meer gedetailleerde informatie is te vinden in onder andere de volgende referenties:

### *Waterplanten*

- Stowa (2010). Handboek Hydrobiologie, 2010. Deel III hoofdstuk 11. Vegetatie. [http://www.stowa.nl/Thema\\_s/Handboek\\_Hydrobiologie](http://www.stowa.nl/Thema_s/Handboek_Hydrobiologie).
- Pot, R. (2007) Veldgids water- en oeverplanten; 2e druk. KNNV-Uitgeverij/Stowa, Utrecht.
- Van Geest, G., de Niet, A., Teurlinkx, S., 2011. Waterplanten langs de Rijntakken. Deltares, Delft.

### *Macrofauna*

- De Pauw, N. en Vannevel, R., 1991. Macro-invertebraten en waterkwaliteit. Antwerpen: Stichting Leefmilieu.
- Stowa (2010). Handboek Hydrobiologie, 2010. Deel III hoofdstuk 12. Macrofauna. [http://www.stowa.nl/Thema\\_s/Handboek\\_Hydrobiologie](http://www.stowa.nl/Thema_s/Handboek_Hydrobiologie).

### *Vis*

- Stowa, 2010. Handboek Hydrobiologie. Deel III hoofdstuk 13. Vis. [http://www.stowa.nl/Thema\\_s/Handboek\\_Hydrobiologie](http://www.stowa.nl/Thema_s/Handboek_Hydrobiologie).
- van Emmerik W. en de Nie, H.W., 2006. De zoetwatervissen van Nederland. Ecologisch bekeken. Sportvisserij Nederland, Bilthoven. ISBN 90-810295-1-7.

### *Morfologie*

- Gerritsen, H., Schropp, M., 2010. Handreiking sedimentbeheer nevengeulen. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.
- Van Dam, O., Osté, A.J., de Groot, B., van Dorst, M.A.M., 2007. Handboek hydromorfologie: Monitoring en afleiding hydromorfologische parameters Kaderrichtlijn Water. ISBN nummer: ISBN 9789036914512 RWS Waterdienst rapportnummer: WD 2007.006. RWS Data-ICT-Dienst rapp.nr: DID-2007-GPM-027.
- Ten Brinke, W., 2005. De betugelde rivier | Bovenrijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn-Lek en IJssel in vorm. Natuurwetenschap en Techniek, Veen Magazines, Amsterdam. ISBN: 9789076988658.
- Liefveld, W.M & Postma, R., 2007: Twee rivieren: Rijn en Maas. Min Verkeer en Waterstaat, ISBN 9789036913843.
- Gordon, N.D. McMahon Th., A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J., Nathan R.J., 2004. Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists, 2nd Edition. Wiley and Sons, Ltd., The Atrium, Southern gate, Chichester. ISBN: 978-0-470-84358-1, 444 pages.

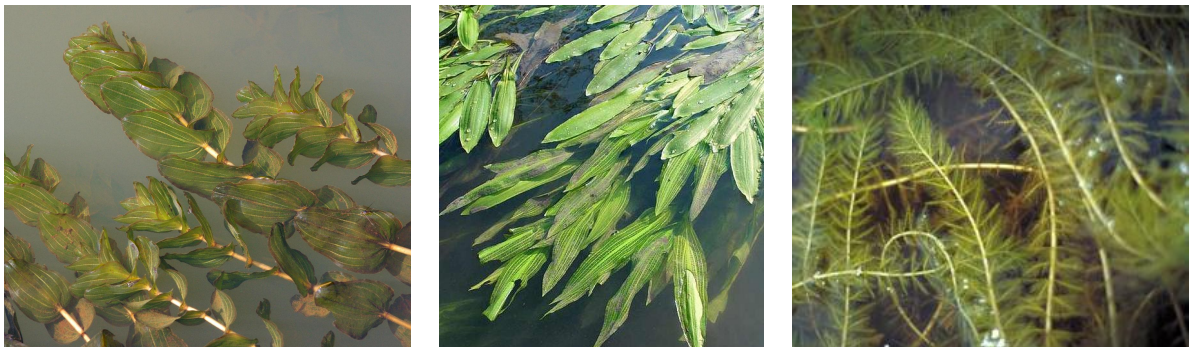


### 1.3.1 Waterplanten

Waterplanten (in het waterbeheer vaak macrofyten genoemd) zijn alle op het oog herkenbare planten die beneden de laagste waterlijn voorkomen. Hiertoe worden niet alleen hogere planten, maar ook mossen, kranswieren en grotere draadwieren gerekend (zie Bijkerk, 2010).

Waterplanten worden vaak ingedeeld in zogenaamde groeivormen. Deze zijn als volgt:

- Submers (ondergedoken waterplanten; zie Figuur 1.6 voor voorbeelden);
- Drijfblad (Waterplanten waarvan de bladeren op het wateroppervlak drijven);
- Emers (waterplanten die gedeeltelijk boven het wateroppervlak uitsteken).



Figuur 1.6 Voorbeelden van veelvoorkomende waterplanten in nevengeulen. Links: Doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*; gevonden in de Vreugderijkerwaard). Midden: Rivierfonteinkruid (*Potamogeton nodosus*; Gamerense waard en Vreugderijkerwaard). Rechts: Aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*; Vreugderijkerwaard).

### Belang van nevengeulen voor waterplanten

De referenties voor de grote rivieren uit Van der Molen & Pot (2007), geven een goed beeld van het belang van nevengeulen voor waterplanten. In het diepe zomerbed (de diepere hoofdgeul) worden geen waterplanten verwacht en ook in het ondiepe zomerbed (het ondiepe deel van de hoofdgeul) wordt verwacht dat de bedekking kleiner is dan bij nevengeulen en strangen. Bij nevengeulen en eenzijdig aangetakte strangen is de bedekking in het bovenrivierengebied respectievelijk 1-50% en 10-90%. In de benedenrivieren en kan dit zelfs 5-100% en 50-100% zijn. Dit omdat in het bovenrivierengebied meer peilfluctuatie aanwezig is, wat de mogelijkheden voor waterplanten beperkt (zie paragraaf 1.2; van Geest et al., 2011).

Daarnaast speelt het aan of afwezig zijn van ruigte of bosvegetatie hoger op de oever een belangrijke rol. Peters & Kurstjens (2009) zagen in de Vreugderijkerwaard dat begrazing optrad bij kale oevers en schade aan waterplanten opleverde, ook in een onderzoek langs de lek is vraat geconstateerd (Schie, 2009). De verklaring hiervoor zijn vee en ganzen, die vanaf deze kale oevers in het aangrenzende water voedsel zoeken. Bij een dichte oevervegetatie treedt dit niet op. Figuur 1.7 toont een foto van waterplanten (Rivierfonteinkruid) bij een oevervegetatie met wilgen in de Vreugderijkerwaard.



Figuur 1.7 Foto van de Vreugderijkwerwaard met Rivierfonteinkruid (submers) en oevervegetatie rechts (Wilgen).  
Bron: Peters & Kurstjens (2009).

Nevengeulen, strangen en geïsoleerde plassen zijn dus van belang voor waterplanten, omdat hier hoge bedekkingen kunnen worden verwacht in tegenstelling tot het zomerbed. Daarnaast gelden waterplanten als belangrijk habitat voor jonge vis (vanwege de schuilmogelijkheden), en voor plantminnende vis als paaiplaats. Ook voor macrofauna zijn waterplanten belangrijk, aangezien waterplanten de diversiteit aan habitats en voedselbronnen vergroten en als schuilplaats tegen predatoren kunnen dienen.

### 1.3.2 Macrofauna

Macrofauna zijn met het blote ook zichtbare ongewervelde dieren. Voor een groot deel zijn dit insectenlarven, maar ook kreeftachtigen (bijvoorbeeld rivierkreeften, vlokreeftjes en zoetwaterpissebedden), platwormen, borstelarme wormen en weekdieren vallen onder deze noemer. Enkele voorbeelden van macrofauna zijn te zien in Figuur 1.8.





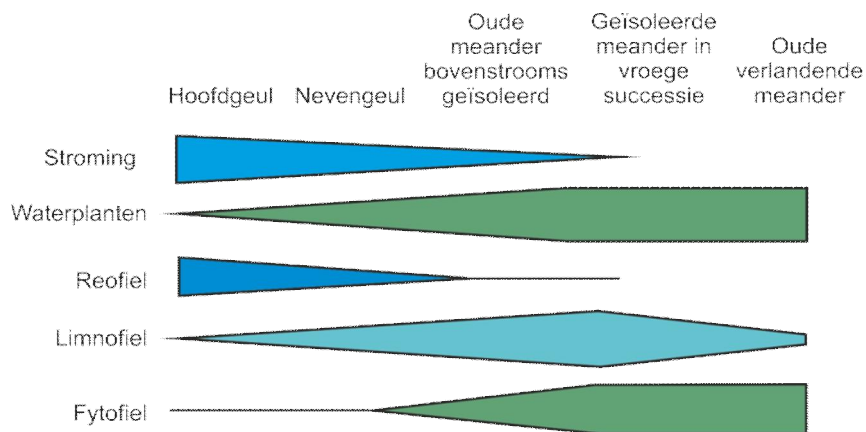
Figuur 1.8 Voorbeelden van macrofauna. Van links naar rechts de de Pontokaspische vlokreeft (*Dikerogammarus villosus*) en Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) tussen sponzen, rechts, de net uitgekomen libelle Blauwe Glazenmaker (*Aeshna cyanea*) en larven van kriebelmuggen (*Simuliidae*) (foto's John van Schie).



Figuur 1.9 Verschillende bewoners van nevengeulen. Van links naar rechts en boven naar onder: een larve van een dansmug (*Chironomidae*), een larve van de haft *Caenis* sp. (*Ephemeroptera*), een larve van de kokerjuffer *Hydropsyche* sp. (*Ephemeroptera*) en een Aziatische korfmossel (*Corbicula fluminea*).

Macrofauna komt overal in het riviersysteem voor. Belangrijke stuurfactoren voor geschikt habitat in rivieren zijn stroomsnelheid, substraat en waterdiepte. Soorten zijn vaak gebonden aan specifieke combinaties bijvoorbeeld snelstromend en grind ten opzichte van langzaamstromend en slibrijk. Andere belangrijke factoren zijn zuurstof, voedselrijkdom en de kwaliteit van bodem en water.

In de verschillende typen rivierbegeleidende wateren heersen andere combinaties van bovengenoemde factoren, zoals stroming en het voorkomen van waterplanten (Figuur 1.10). Hierdoor heeft elk type rivierbegeleidend water een karakteristieke samenstelling van macrofauna gilden van reofiel (voorkeur voor stroming), naar limnofiel (voorkeur stilstaand water) en fytofiel (voorkeur voor waterplanten).



Figuur 1.10 Respons van macrofauna op veranderingen in de ecologische omstandigheden (stroming, vegetatie) in verschillende aquatische habitats in uiterwaarden; gerangschikt naar mate van verbinding met de hoofdgeul (aangepast naar Petts & Amoros, 1996).

## Belang van nevengeulen voor macrofauna

Nevengelen zijn interessant voor macrofauna: substraat en stroomsnelheid zijn hier namelijk anders dan in de hoofdgeul en verschillen van plek tot plek en in tegenstelling tot de andere rivierbegeleidende wateren stroomt het water. Verder kan er substraat zijn in de vorm van dood hout, planten, slib, zand of stenen en is de stroomsnelheid in de nevengeul over het algemeen lager dan in de hoofdgeul. Zeker het voorkomen van dood hout geeft veel extra habitat heterogeniteit.

De diversiteit van macrofauna in een nevengeul, maakt een aanzienlijk deel uit van de diversiteit in de rivier als geheel (Nienhuis et al., 2002; Jans, 2004). Bij monitoring van nevengeulen in de Gamerense Waard is naar voren gekomen dat er bij de aantakking van strangen met de hoofdgeul een verschuiving optreedt van limnofiele (waterplantminnende) naar reofiele soorten. In eenzijdig aangetakte nevengeulen doen juist limnofiele soorten het goed (Liefveld et al. 2008). Ook blijkt dat er minder exoten voorkomen in nevengeulen (Van Kouwen et al., 2010). Dat komt waarschijnlijk doordat deze een voorkeur hebben voor hard substraat en dynamische omstandigheden (Klink 2007; Jans 2004), die in de nevengeulen minder voorkomen.

### 1.3.3 Vis

Vissoorten worden ingedeeld in een aantal gilden, vergelijkbaar als bij macrofauna. Belangrijke gilden voor nevengeulen zijn stromingsminnend (reofiel), migrerend (diadroom), waterplantenminnend (limnofiel) en eurytoop (doorgaans tolerant zonder specifieke voorkeur). In Tabel 1.1 is een overzicht van soorten en gilden; voorbeelden van deze vissoorten zijn gegeven in Figuur 1.11.

Tabel 1.1 Gilden, hun omschrijving (Van Emmerik & de Nie 2006) en voorbeelden van soorten. Zie paragraaf 1.4.2 voor indicaties voor stroomsnelheden van reofiele vissen.

| Gilde     | Omschrijving                                                                                                                                        | Voorbeelden                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reofiel   | Vis die gebonden is aan of een voorkeur heeft voor stromend water, stroomminnend.                                                                   | Barbeel ( <i>Barbus barbus</i> );<br>Kopvoorn ( <i>Squalius cephalus</i> );<br>Serpeling ( <i>Leuciscus leuciscus</i> );<br>Sneep ( <i>Chondrostoma nasus</i> );<br>Winde ( <i>Leuciscus idus</i> );<br>Riviergrondel ( <i>Gobio gobio</i> );<br>Roofblei ( <i>Aspius aspius</i> ). |
| Diadroom  | Migrerende (zowel stroomop- als stroomafwaarts) vis                                                                                                 | Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> );<br>Zalm ( <i>Salmo salar</i> );<br>Bot ( <i>Platichthys flesus</i> ).                                                                                                                                                                             |
| Limnofiel | Vis die een voorkeur heeft voor habitats met langzaam stromende tot stilstaande wateren. Soms wordt dit geïnterpreteerd als gebonden aan vegetatie. | Bittervoorn ( <i>Rhodeus sericeus</i> );<br>Ruisvoorn ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> );<br>Vetje ( <i>Leucaspius delineatus</i> ).                                                                                                                                            |
| Eurytoop  | Vissoorten die in een brede range van condities kunnen voorkomen.                                                                                   | Blankvoorn ( <i>Rutilus rutilus</i> );<br>Brasem ( <i>Abramis brama</i> );<br>Baars ( <i>Perca fluviatilis</i> );<br>Pos ( <i>Gymnocephalus cernuus</i> );<br>Snoekbaars ( <i>Sander lucioperca</i> );<br>Alver ( <i>Alburnus alburnus</i> ).                                       |



Figuur 1.11 Vissoorten uit diverse gilden. Van links boven naar rechts onder: Winde (reofiel), Aal (diadroom), Bittervoorn (limnofiel) en Brasem (eurytoop). Bron: RAVON/Jelger Herder.



Vissen verplaatsen zich over grote afstanden en hebben voor verschillende levensfasen een andere omgeving nodig. Diadrome vissen, zoals bijvoorbeeld Aal zijn sterk afhankelijk van de connectiviteit binnen een gebied en migreert over grote afstanden. Andere soorten leven hun gehele leven in langzaam stromend of stilstaand en waterplantenrijk water (bijvoorbeeld Bittervoorn) of hebben een waterplantenrijke en luwe omgeving nodig voor de paai of als opgroeigebied, terwijl ze hun volwassen leven doorbrengen in de dynamische hoofdstroom (bijvoorbeeld Winde). Vergelijkbaar met de macrofauna gemeenschap, biedt een variatie van meer of minder met de rivier verbonden wateren een niche voor elk gilde (Figuur 1.10).

## Belang van Nevengeulen voor vis

Nevengeulen zijn belangrijk als habitat in verschillende levensfasen van een aantal soorten vis. Ze bieden namelijk een langzaam stromend tot stilstaand habitat dat in verbinding staat met de sneller stromende hoofdgeul. Daarnaast kan de luwte met begroeiing van water- en oeverplanten als beschutting, paaiplaats en voedselbron dienen, zie bijvoorbeeld Figuur 1.12. De mate van aantakking (eenzijdig of tweezijdig) kan invloed hebben op de aanwezigheid van bepaalde groepen. De structuur en leeftijdsopbouw van vis als groep is dan ook een goede indicator van de ecologische toestand van een riviersysteem (Grift, 2001). Afwezigheid van nevengeulen kan leiden tot het ontbreken of ondervertegenwoordigd zijn van jonge vis en zijn uitstraling hebben op waterlichaamniveau. Nevengeulen (en in mindere mate strangen) leveren namelijk een belangrijke bijdrage aan de rekrutering van jonge reofiele vis. In verhouding veel meer dan bijvoorbeeld de kribvakken (lagere dichtheden) en klei/zandputten (hogere dichtheden, maar voornamelijk eurytopen).



*Figuur 1.12 Gameren, water- en oeverplanten fungeren als paaiplaats, voedselbron en geven beschutting tegen predatie (foto: T. Buijse).*

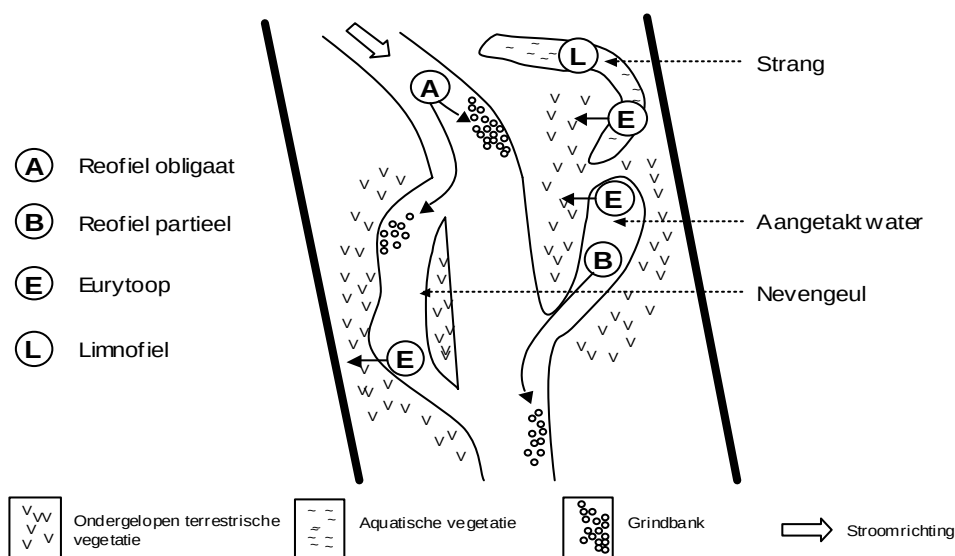
## 1.4 Ecohydromorfologie

Een nevengeul onderscheidt zich op een aantal aspecten van de hoofdgeul en andere rivierbegeleidende wateren. Van belang voor de ecologie zijn verschillen in connectiviteit, stroming, waterdiepte, substraat en oevertype.

Daarnaast de mogelijkheden voor dynamische processen zoals erosie en sedimentatie waarmee de bovengenoemde eigenschappen door natuurlijke ontwikkelingen veranderen. De eigenschappen staan hieronder beschreven. Vaak worden regelwerken gebruikt om nadelige effecten van nevengeulen voor de scheepvaart te mitigeren. Deze regelwerken beïnvloeden de connectiviteit, stroming, waterdiepte en toevoer van sediment. Het waarom en de werking van regelwerken wordt ook beschreven.

#### 1.4.1 Connectiviteit

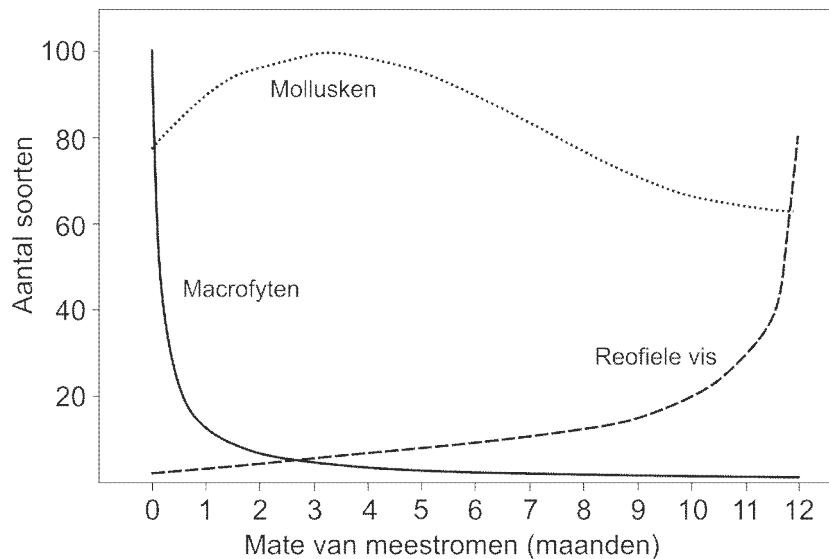
De mate van verbinding, ofwel de connectiviteit, van een nevengeul met de hoofdgeul is sterk bepalend voor de ecologische werking van de nevengeul. De bodemhoogte van de instroomopening (veelal het regelwerk) bepaalt het al of niet stromende karakter van de geul. Dit beïnvloedt in het bijzonder de stroomminnende (reofiele) soorten. Afhankelijk van de aantakking van de geul werkt deze meer of minder optimaal voor dit gilde. Als voorbeeld de paaihabitat van verschillende visgilden uit een onderzoek naar het voorkomen van Nederlandse riviervis, Figuur 1.13.



Figuur 1.13 De mate van verbinding is sterk bepalend voor het voorkomen van paaihabitat van verschillende visgilden (Grift, 2001). Hier de verdeling van soorten in verschillende wateren langs de rivier (strang, aangetakt water en nevengeul), waarbij de paaihabitat is aangegeven met zwarte pijlen. Reofiele (obligaat en partieel) soorten zijn stroomminnend, limnofiele soorten komen meest voor in niet stromende wateren, eurytope soorten hebben geen directe voorkeur qua stroming.

Langs rivieren is vaak een grote variatie aan meer en minder vaak meestromende zijwateren aanwezig, een gradiënt van connectiviteit zoals in Figuur 1.2. De hoogte van de instroomopening bij geulen, of de hoogteligging van de uiterwaard in het geval van strangen en geïsoleerde plassen, bepalen hoe vaak er water stroomt. Daarbij verandert in de loop der tijd door sedimentatie of erosie soms de instroomopening omdat sedimentatie plaatsvindt waardoor de connectiviteit verandert. Vaak wordt bij aanleg van een geul berekend wat het gemiddeld aantal maanden is dat deze geul meestroomt, alhoewel dat in droge en natte jaren wezenlijk kan verschillen. Aan het gemiddeld aantal maanden dat nevengeulen meestromen wordt vaak het ecologische effect voor soorten afgemeten (Schiemer et al., 2007).

In Figuur 1.14 is te zien wat het effect van connectiviteit is voor onder andere waterplanten (macrofyten) en stroomminnende vis (reofiele vis). Het betreft de situatie in de Oostenrijkse Donau. Het aantal macrofyten-soorten neemt snel af wanneer een geul meer maanden meestroomt met de hoofdgeul. Het aantal soorten stroomminnende vis neemt juist toe, vooral boven de 10 maanden meestromen per jaar. Ecologisch gezien is een nevengeul die minder dan 10 maanden per jaar stroomt, suboptimaal voor stroomminnende vis. Het karakter is dan meer dat van een eenzijdig aangetakt water.



Figuur 1.14 De werking van nevengeulen aan de hand van aantal maanden meestromen en het aantal soorten van waterplanten (macrofyten), stroomminnende vis (reofiele vis) en weekdieren (mollusken). Aantal soorten is gebaseerd op voorkomen van soorten in de Donau (Schiemer et al., 2007).

Duidelijk is dat voor stroomminnende soorten een permanent aangetakte nevengeul het meest optimaal is; wat niet wil zeggen dat gemiddeld minder lang meestromende geulen geen bijdrage kunnen hebben voor stroomminnende soorten. Vooral in natte jaren met grotere afvoeren in de late zomer kunnen deze geulen toch langer meestromen en habitat bieden aan stroomminnende soorten.

### Inrichting

- Connectiviteit wordt bepaald door de drempelhoogte van het inlaatwerk of de bodemhoogte bij de instroomopening. Dit is een afweging tussen meerdere functies, bij lagere afvoeren moet er voor de scheepvaart voldoende water door de hoofdgeul stromen, en teveel afvoer door een nevengeul vergroot de kans op aanzanding van de hoofdgeul.
- Wanneer een compromis met andere functies in de planvorming leidt tot ingewikkelde technische oplossingen of een geringere connectiviteit, dan zijn een eenzijdig aangetakte strang of dynamische plas alternatieve oplossingen. Een compromis-geul die weinig meestroomt verschilt hiermee qua rendement voor stroomminnende soorten nauwelijks; dus is dan de extra inspanning niet waard. Niet stromende eenzijdig aangetakte of geïsoleerde plassen hebben immers ook een ecologische functie. Bijvoorbeeld: Eendagsvliegen (Haften) verplaatsen zich in hun levensfasen tussen meer en minder aangetakte wateren, en zijn dus gediend met een variatie in connectiviteit (Figuur 1.15).



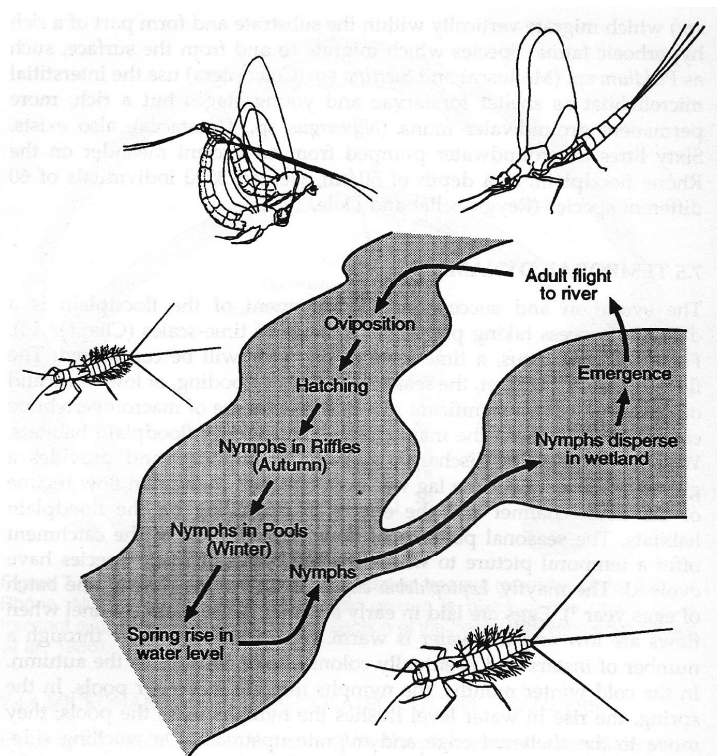


Figure 7.12 Riverine-wetland migration of *Leptophlebia cupida* (Ephemeroptera) over an annual cycle (after Ward, 1989b).

Figuur 1.15 Levenscyclus van eendagsvliegen (Haften), waarbij de eendagsvlieg verschillende aangetakte wateren gebruikt gedurende de seizoenen (Petts & Amoros 1996; Clifford et al. 2005).

#### 1.4.2 Stroming

Elke soort heeft zijn ecologische niche, en dat geldt ook voor de mate van stroming die soorten prefereren. Daarbij verschilt de voorkeur van soorten vaak gedurende de levenfase waarin deze zich bevindt. Dit geldt voor stroomminnende soorten vis en macrofauna. In Tabel 1.2 staan stroomsnelheden en diepte voorkeuren voor enkele vissoorten. Vissoorten zijn directer aan stroomsnelheden te koppelen; macrofauna is vaak sterk gebonden aan het type substraat wat mede afhangt van de lokale stroomsnelheden waarmee sediment al of niet worden verplaatst.

Tabel 1.2 Stroomsnelheden en diepte voorkeuren van enkele vissoorten. (Bron: KRW-verkenner, Deltares; van Emmerik en de Nie, 2006).

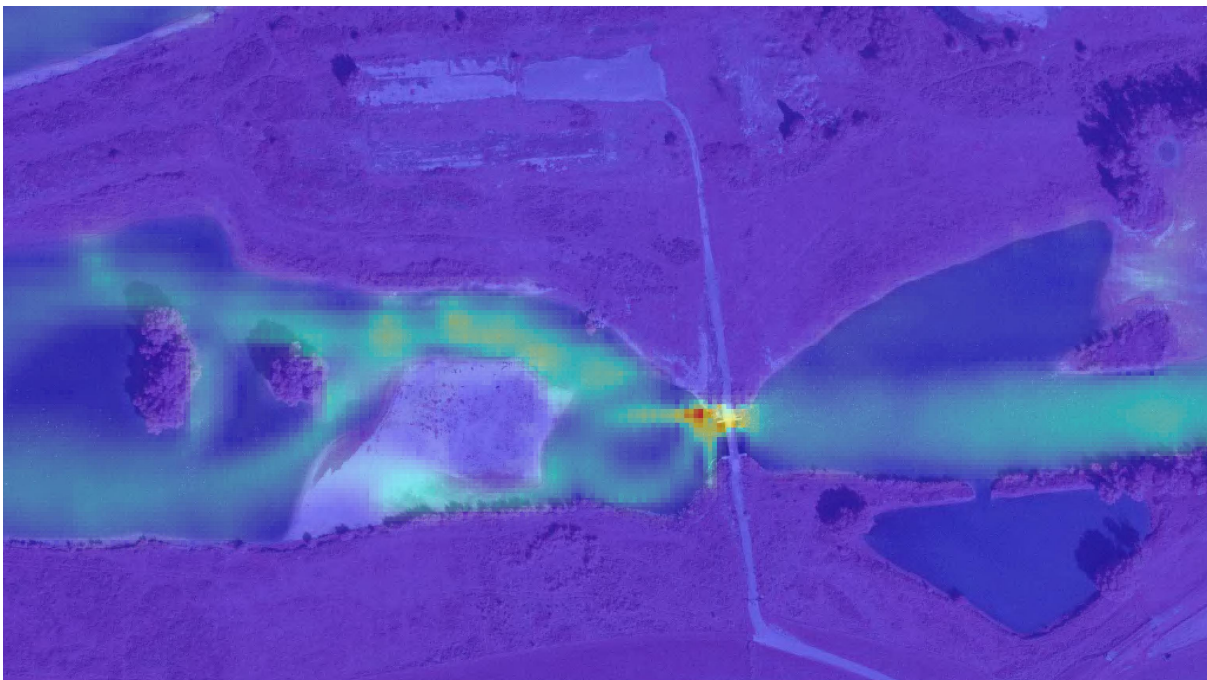
| Vissoort      | Stroomsnelheid | Diepte    |
|---------------|----------------|-----------|
| Bermpje       | 0-20 cm/s      | 5-50 cm   |
| Riviergrondel | 0-10 cm/s      | 5-100 cm  |
| Beekprik      | 0-20 cm/s      | 1-25 cm   |
| Serpeling     | 20-50 cm/s     | 50-200 cm |
| Winde         | 5-50 cm/s      | 50-400 cm |
| Snoek         | 0-5 cm/s       | 50-400 cm |
| Blankvoorn    | 0-20 cm/s      | >100 cm   |

Nevengeulen stromen langzamer dan de snelstromende hoofdgeul en kennen meer stroomvariatie. Idealiter zou een variatie tussen 0 en 100 cm per seconde in de geulen aanwezig moeten zijn. Op basis van de bovenstaande tabel zijn significante oppervlakten met stroomsnelheden tussen de 5 en 50 cm/s wenselijk.

## Inrichting

In de Nederlandse geulen wordt de stroomsnelheid bepaald door:

- Het riviertraject waar de geul in ligt (bijv. vrijafstromend of gestuwd).
- De breedte en diepte verhouding van de nevengeul. Grote brede nevengeulen leiden met een klein debiet tot langzaam stromende geulen. In deze geulen kan lokaal variatie worden bereikt rondom regelwerken en eilanden waar de geul smaller is en de stroomsnelheid hoger (Figuur 1.16).
- Het debiet dat wordt afgeregeld via de grootte van de instroomopening of het regelwerk.
- De hoek waarmee de geul is aangetakt in relatie tot de stroomrichting van de hoofdgeul.
- Het verhang van de geul. Dit hangt in eerste instantie af van het verhang van de rivier ter plekke en daarnaast van de relatieve lengte van de geul ten opzichte van de hoofdstroom. Een langere geul resulteert in een kleiner verhang en geringe stroomsnelheden. Doorgaans zijn nevengeulen evenlang of langer dan de hoofdstroom.



*Figuur 1.16 Figuur: Luchtfoto van inlaatwerk Gameren met daaroverheen de stroomsnelheid (data 2002). De geel en roodtinten laten zien dat de stroomsnelheid bij het kunstwerk en naast de eilanden hoger is (tussen de 1,2 en 0,4 m/s bij een Waalafvoer van 1500m<sup>3</sup>/s). Let op, de foto is genomen bij een lagere afvoer (2005 ecotopenkartering).*

### 1.4.3 Waterdiepte variatie

Diepte variatie is belangrijk voor de ecologie. Het zorgt voor habitatverschillen in de waterkolom en op de bodem. Denk bijvoorbeeld aan verschillen in lichtinval, temperatuur en aan diepte gerelateerde stroomsnelheden waar soorten op kunnen reageren. Wanneer een geul genoeg dieptevariatie heeft, dan zal bij variërende waterstanden altijd een variatie tussen ondiepe en diepe delen aanwezig zijn, en daarmee een habitatvariatie. Droogvallende oevers bieden kansen voor pioniervegetatie, die anders dan op de dynamische oevers langs de hoofdgeul, minder worden verstoord door scheepvaartdynamiek.

Wanneer lokaal gedurende het jaar grote waterstandsverschillen optreden, zijn er mogelijkheden voor het creëren van grote land-waterovergangen zoals bij de Klompenwaard is gebeurd. In de uiterwaardverlaging in de zijlob (Figuur 1.17) zijn droogvallende en niet aangetakte delen te zien. Deze bieden geen habitat aan stroomminnende soorten, maar zijn als habitat waardevol voor soorten die profiteren zulke droogvallende pionierhabitats.



Figuur 1.17 Inrichting Klompenwaard. Er is goed gebruik gemaakt van de lokale waterstandsvariatie door veel hogere en diepere delen te creëren waardoor veel gradiënten zijn ontstaan (foto Fokko Erhart).

### Waterplanten en waterdiepte

Voor waterplanten is de variatie in waterstanden een belangrijke factor. Te grote verschillen tussen de lente en zomer maken dat waterplanten niet makkelijk vestigen. Uit onderzoek blijkt dat waterplanten in het voorjaar niet kiemen of zich niet vestigen bij een waterdiepte van 2 meter of meer in het voorjaar (van Geest, 2011). Wanneer de waterstandverschillen tussen voorjaar en zomer groter zijn dan 2 meter valt deze in het voorjaar gekoloniseerd habitat in de zomer droog. Daarom is een geringere waterstandsdynamiek (zoals vaak in benedenstroomse delen, of gestuwde delen) gunstig voor waterplanten. Ook peilverschillen door stuwbeheer zijn ongunstig voor waterplanten, plots droogvallen of hoge waterstanden zorgt ervoor dat kiemplanten zich niet ontwikkelen.



## Inrichting

- Zorg voor voldoende diepte variatie bij de lokaal heersende waterstandvariatie.
- Creëer mogelijkheden voor vrije oeverontwikkeling.
- Eroderende oevers of andere sedimentbronnen zorgen voor een herverdeling van sediment en zo ook diepte variatie.
- Onderzoek mogelijkheden om inrichting en stuwbeheer op elkaar aan te passen voor optimale vestiging van waterplanten.



*Figuur 1.18 Droogvallende en eroderende geuloevers langs de grote geul in de Uiterwaard van Gameren (Foto M. Schoor).*

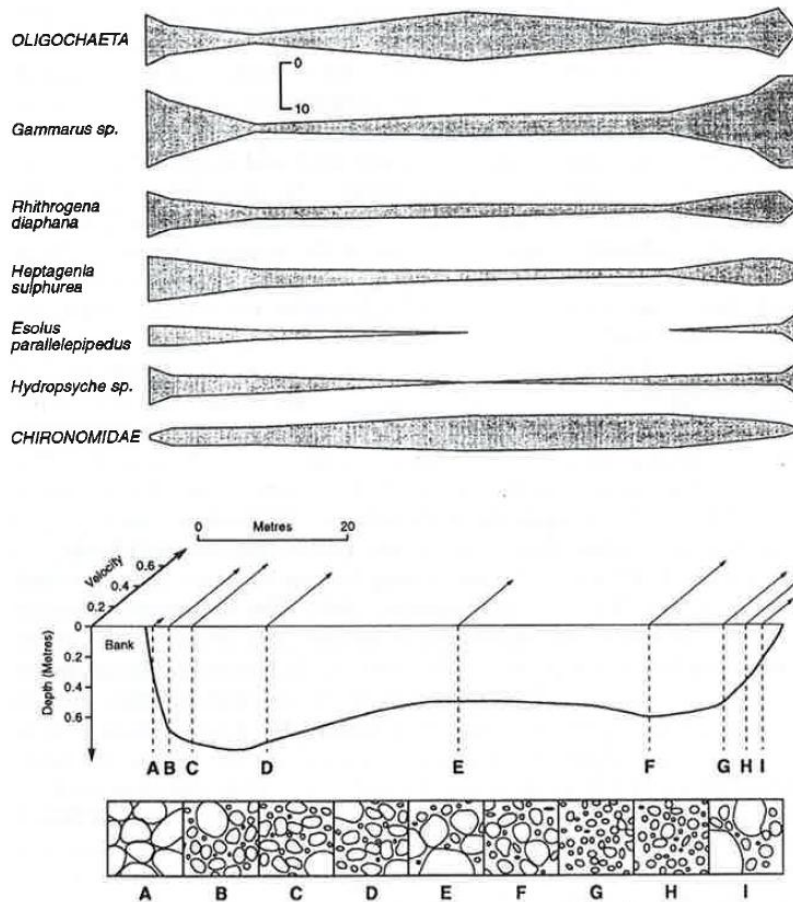
### 1.4.4 Substraatvariatie

Substraat is vast materiaal waarin en waarop organismen leven, bijvoorbeeld voor schuilplaatsen, middel om voedsel te vergaren of aspect in de voortplanting. De meeste soorten hebben hun hele leven of in bepaalde fasen een specifieke voorkeur voor een bepaald type substraat. Voor macrofauna is substraat vaak de schuil- of vestigingsplaats, denk aan stortsteen, grind, zand, klei maar ook waterplanten en dood hout (Figuur 1.19). Variatie aan substraat draagt ook bij aan het verbeteren van de vis en macrofauna habitat zoals water en oeverplanten (of oeverbomen) en dood hout (Piegay et al., 2000; Downs, 2001; He et al., 2009). Voor waterplanten in stromende geulen lijkt een zandbodem het gunstigst.



*Figuur 1.19 Voorbeelden van substraat. Macrofauna op dood hout (links) en op stortsteen uit de hoofdgeul (rechts). Substraatvariatie en juist datgene dat niet in de hoofdgeul voorkomt, heeft grote invloed op de soortenrijkdom. (Foto's: Tom Buijse (links) en John van Schie (rechts))*

De variatie in substraat wordt beïnvloed door het aanwezige substraat na aanleg, erosie en sedimentatie, de oeverbegroeiing en het beheer. Het substraat na aanleg moet bij voorkeur dat type zijn wat karakteristiek is voor het systeem waar het in ligt. Voor grote delen van de Rijntakken is dat zand, maar langs de Grensmaas bijvoorbeeld grind, en benedenstrooms in de Rijntakken fijner sediment of slib. Vanwege de rivierregulatie is er ook veel stortsteen aanwezig, wat heeft geleid tot een onnatuurlijk habitattype dat veelal door exoten wordt gekoloniseerd (bijvoorbeeld door de reuze vlokreeft, zie Figuur 1.8, of driehoeksmossel, zie Figuur 1.19).



Figuur 1.20 Macrofauna soorten reageren op verschillen in stroomsnelheid en sediment. Hier een doorsnede van een rivier met het voorkomen van soortgroepen binnen de macrofauna gemeenschap uitgezet tegen een dwarsdoorsnede van de rivier (Petts & Amoros, 1996).

Erosie en sedimentatie zorgen vaak voor een karakteristieke verdeling van substraat op basis van lokale variatie in stroomsnelheden binnen de geul. Soorten reageren hierop. Figuur 1.20 laat zien dat het samenspel van stroomsnelheid, diepte en sediment (het substraat) de verdeling van macrofaunasoorten bepaalt. Een belangrijk aspect is dat rondom bijvoorbeeld omgevallen bomen, de sediment-substraat variatie ook enorm toeneemt door de toegenomen stroomvariatie rondom het obstakel.

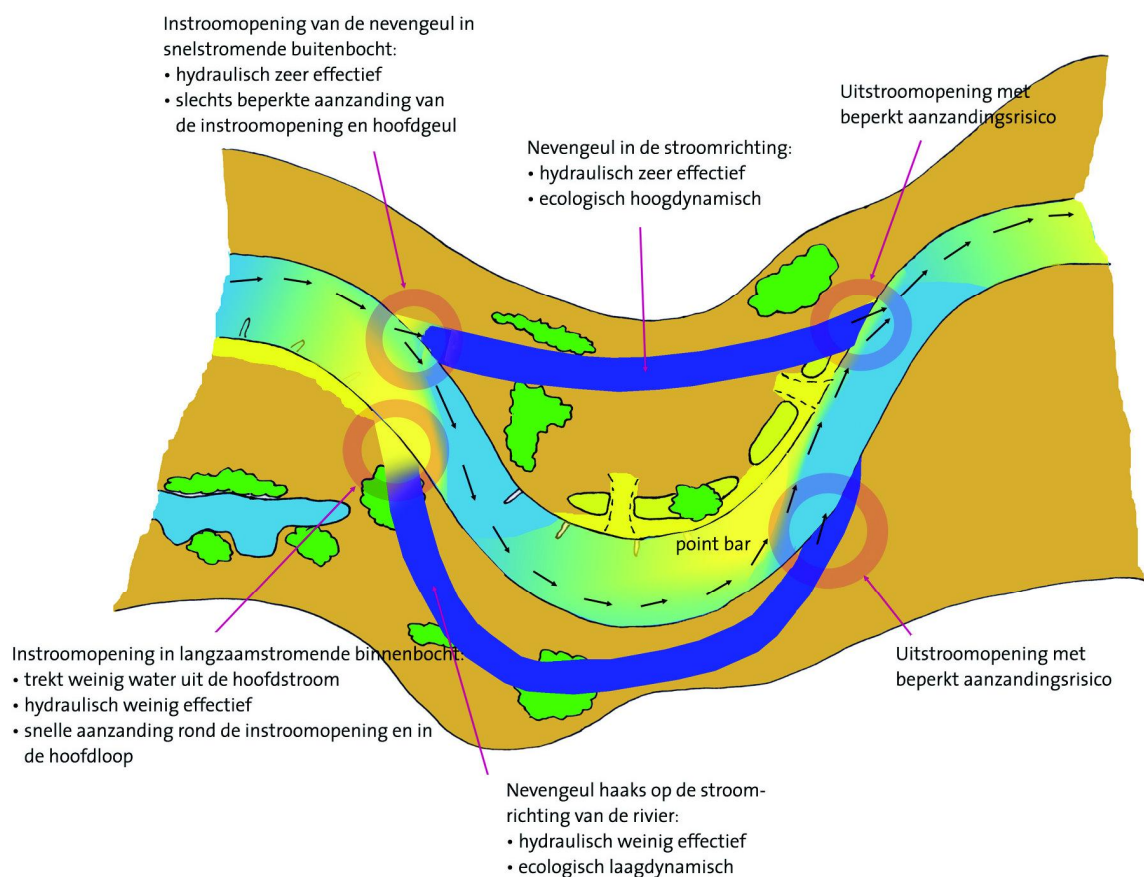
Oeverbegroeiing en beheer bepalen voor een groot deel of planten en bomen een rol kunnen spelen als substraat. Wanneer bijvoorbeeld dood hout niet uit de geul wordt weggehaald, dan kan het als substraat en beschutting dienen voor soorten, zie Figuur 1.19.

## Inrichting

- Sta zoveel mogelijk oeverprocessen toe (zoals eroderende oevers), deze zorgen voor natuurlijk begroeide oevers en voor substraatvariatie in de nevengeul.
- Naast oevers, kunnen andere mogelijkheden voor erosie in de geul zorgen voor grover sediment dat zich herverdeelt en zo gradiënten creëert van ondiep zandig habitat, bijvoorbeeld voor waterplanten.
- Oevers niet afwerken (laat de rivier het werk doen), waterbodemp opleveren tot op het karakteristieke substraat (meestal zand).



- De stroomsnelheid bepaalt de verdeling van het type sediment, waarbij grover sediment al bij hogere stroomsnelheden uitzakt en fijner sediment pas bij hele lage snelheden. Stroomsnelheidsvariatie wordt mede bepaald door de breedte/diepte verhouding van de geul.
- Sta dood hout toe in de geul. Dit levert direct substraat dat in de hoofdgeul niet aanwezig is, en indirect lokaal een grote stroomsnelheidsvariatie en daardoor ook variatie in sediment.
- Sediment aanvoer: de ligging van de nevengeul in binnen of buitenbochten van de hoofdgeul bepaalt voor een deel of er veel of weinig grof sediment in de geul terecht komt (Figuur 1.21). Bij veel sediment kan de geul sneller dichtslibben (ook ecologisch interessant en effectief, maar dan voor soorten die een voorkeur hebben voor eenzijdig aangetakt water).
- Sediment aanvoer: de drempelhoogte van de inlaat bepaalt welk type sediment de geul in stroomt. Grover sediment wordt op grotere waterdiepte getransporteerd, en komt bij drempels niet in de geul terecht (Figuur 1.22).



*Figuur 1.21 De locatie van de instroomopeningen ten opzichte van binnen- en buitenbochten van de hoofdgeul bepalen de mate van aanzanding en dus het type sediment dat de geul in stroomt (Peters et al., 2006). De te verwachten processen (los van wenselijkheid voor andere functies) verschillen tussen geulen in de binnen en buitenbocht. Een nevengeul in de binnenbocht heeft potenties voor een ecologisch hoogdynamisch milieu met hogere stroomsnelheden en morfodynamiek. Een geul in de buitenbocht zal sneller verzanden en biedt potenties voor een verlandingstraject met lagere hydro- en morfodynamiek (ecologisch laagdynamisch).*



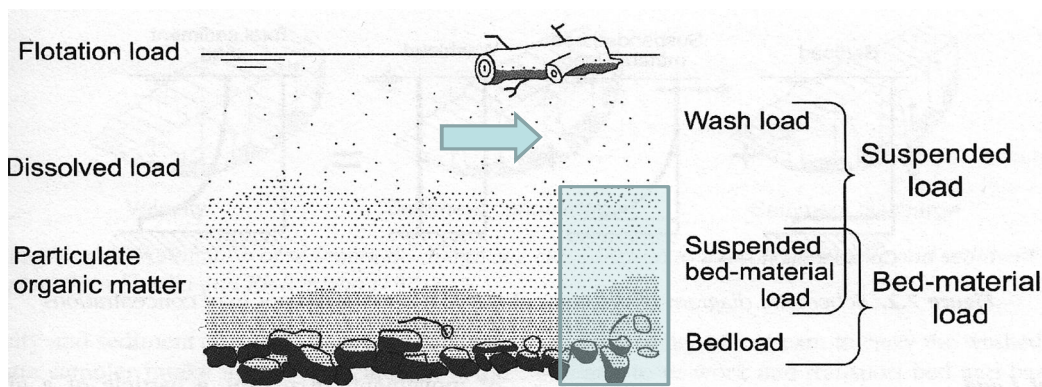
## 1.4.5 Regelwerk

Regelwerken worden ingezet om te zorgen dat nevengeulen andere functies van de rivier niet bedreigen. Vooral de afweging met de functie scheepvaart bepaalt de speelruimte van de bovenstaande ecologische relevante aspecten. Voorbeelden van regelwerken zijn te vinden in de Klompenwaard in de vorm van een eenvoudige drempel, en het regelwerk met een permanente doorvoer in de Vreugderijkerwaard.



Regelwerken Klompenwaard (links, vanaf rivierzijde) en Bakenhof (rechts, vanaf rivierzijde bij laagwater). (Foto's: Arjan Sieben).

De drempelhoogte van een regelwerk bepaalt vanaf welke waterstand een nevengeul mee stroomt. Dit hangt af van de lokale waterstanden en waterstandvariatie. Een hogere drempel beperkt het aantal dagen dat een geul mee kan stromen en bepaalt het type sediment dat de geul in stroomt (Figuur 1.22). Beide zijn van belang voor de ecologie, zie paragraaf 1.4.



Figuur 1.22 Het sedimenttransport in een stromende waterlaag is naar grootte verdeeld over de diepte. Wanneer een drempel (blauwe rechthoek) is geplaatst, dan stroomt alleen het sediment over de drempel dat in de waterkolom boven de drempel zit, meestal de fijnere delen van de suspended load maar ook drijvend materiaal. (figuur bewerkt naar Gordon et al, 2004).

De grootte van de doorstroomopening van het regelwerk bepaalt het debiet dat bij een bepaalde waterstand door de geul kan stromen. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden denkbaar die afhankelijk van de lokale afweging met scheepvaart en hoogwaterveiligheid zinvol zijn.

Bij een opening met vaste breedte (zoals Gameren en Vreugderijkerwaard) varieert het debiet door de geul met de waterstand en stroomsnelheid. Bij een V-vormige opening neemt het debiet extra af bij lagere waterstanden. Een diepe duiker (door een dam; zoals bij Beneden-Leeuwen) onder het laagwater niveau geeft een vast debiet dat weinig varieert met de waterstanden.

Zowel een drempel als een diepe duiker hebben invloed op de sedimentaanvoer (Figuur 1.22). Bij een duiker zullen zeker de zogenaamde flotation load en washload niet meer in de geul terechtkomen. In deze lagen kunnen ook biota zitten zoals drijvend hout, macrofauna (los of op drijvend hout), zaden, delen van planten, en wellicht visbroed. Verder kan het optrekken van vis door de duiker bemoeilijkt worden bij hoge stroomsnelheden. Dit is geen probleem als de vis via de uitstroomopening kan migreren. Een alternatief zou zijn om de bodem van de duiker te bedekken met grote stenen van variabele grootte zodat de vis via de luwten toch door de duiker kan optrekken. In het algemeen is tot op heden onbekend wat het ecologisch effect van diepe duikers is op de werking van de nevengeul.

Regelwerken kunnen bij de instroomopening worden aangelegd, maar worden soms ook midden in de geul geplaatst zoals bij Gameren. Meestal is de reden praktisch, op een bepaalde plaats ligt al een toegangsweg waarin in de vorm van een brug (Gameren) of duiker (Beneden-Leeuwen) wordt geplaatst. Verder heeft de plek van het regelwerk (drempels) invloed op de bodemligging in de nevengeul, zoals bij de (met opzet) verzandende oostelijke nevengeul van Gameren. De inlaatdrempel blijkt hier de bodemhoogte van de geul te gaan bepalen (Figuur 1.23). Bij de regelwerken verderop in de geul zoals bij Gameren en de Vreugderijkerwaard, zijn achter het regelwerk erosiegaten ontstaan vanwege de hoge stroomsnelheden.



*Figuur 1.23 Instroomopening Oostgeul Gameren. De geul verzand tot de hoogte van de drempel in de instroomopening (Foto Arjan Sieben).*

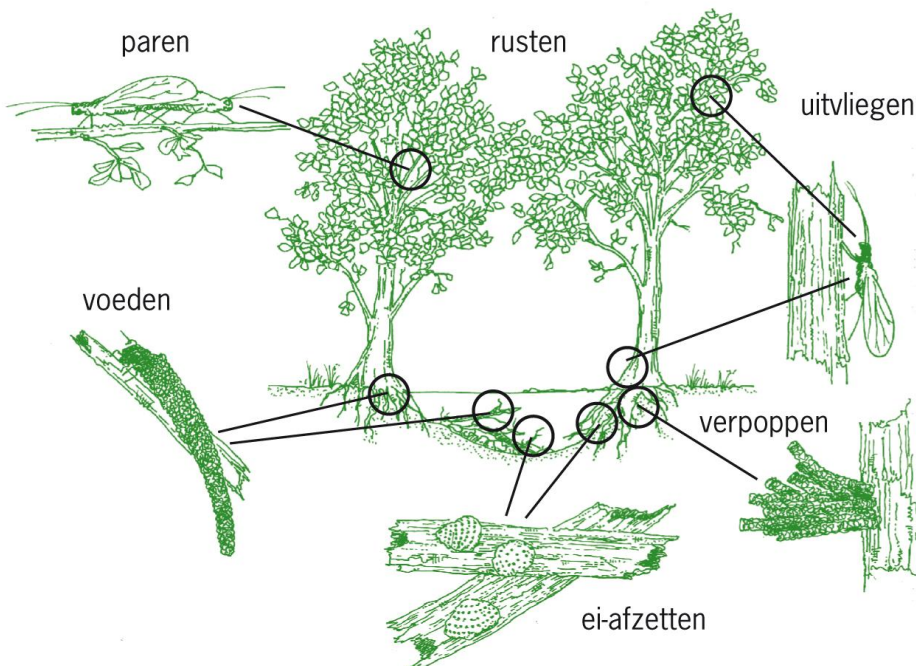
### *Inrichting*

Een duidelijk advies is niet te geven. De eisen aan een regelwerk moeten zowel vanuit de verwachte morfologische ontwikkeling, de ecologie, de scheepvaart en hoogwaterveiligheid bepaald worden. Een optimaal regelwerk zorgt dat de geul het overgrote deel van het jaar meestroomt met niet al te lage stroomsnelheden. Dit laatste wil zeggen dat dimensies van regelwerk en de andere delen van de nevengeul op elkaar zijn afgestemd. Een voor alle waterdiepten zo open mogelijk verbinding geniet de voorkeur (redenerend vanuit Figuur 1.22).

## 1.4.6 Oeverbegroeiing

Oevers zijn belangrijk voor de aquatische ecologie. Oeverbegroeiing is belangrijk als rust-, schuil- en foerageerplaats voor macrofauna soorten en vis. Langs nevengeulen en andere aangetakte wateren zijn een aantal meer mogelijkheden voor glooiende oevers dan langs de hoogdynamische hoofdgeul. Bovendien staan de oevers niet of nauwelijks bloot aan de effecten van passerende schepen. Zodoende is er ruimte voor bredere en laagdynamische land-water overgangszones. Denk hierbij aan een zonering van water- en oeverplanten, of overhangende takken en in het water wortelende bomen. Sommige macrofauna soorten leven maar een deel van hun levenscyclus in het water. Kokerjuffers en andere uitvliegende insecten hebben naast een levensfase in het water ook een landfase en zijn hierbij van hogere vegetatie afhankelijk (Figuur 1.24).

Daarnaast beïnvloedt oeverbegroeiing de bereikbaarheid van oevers voor grote grazers en grazende vogels. Langs kale of grasland oevers met veel grazende ganzen is gebleken dat de waterplantenontwikkeling achter blijft. Afwisseling van deze oevers met ruige of beboste oevers, heeft waarschijnlijk een positief effect voor waterplantenontwikkeling.



Figuur 1.24 Voor de diverse fasen in de levenscyclus van diersoorten is een variatie aan habitat belangrijk, hier een voorbeeld van de kokerjuffer (Verdonschot, 2010).



## 2 Deel 2: Nevengeulen langs de Rijntakken

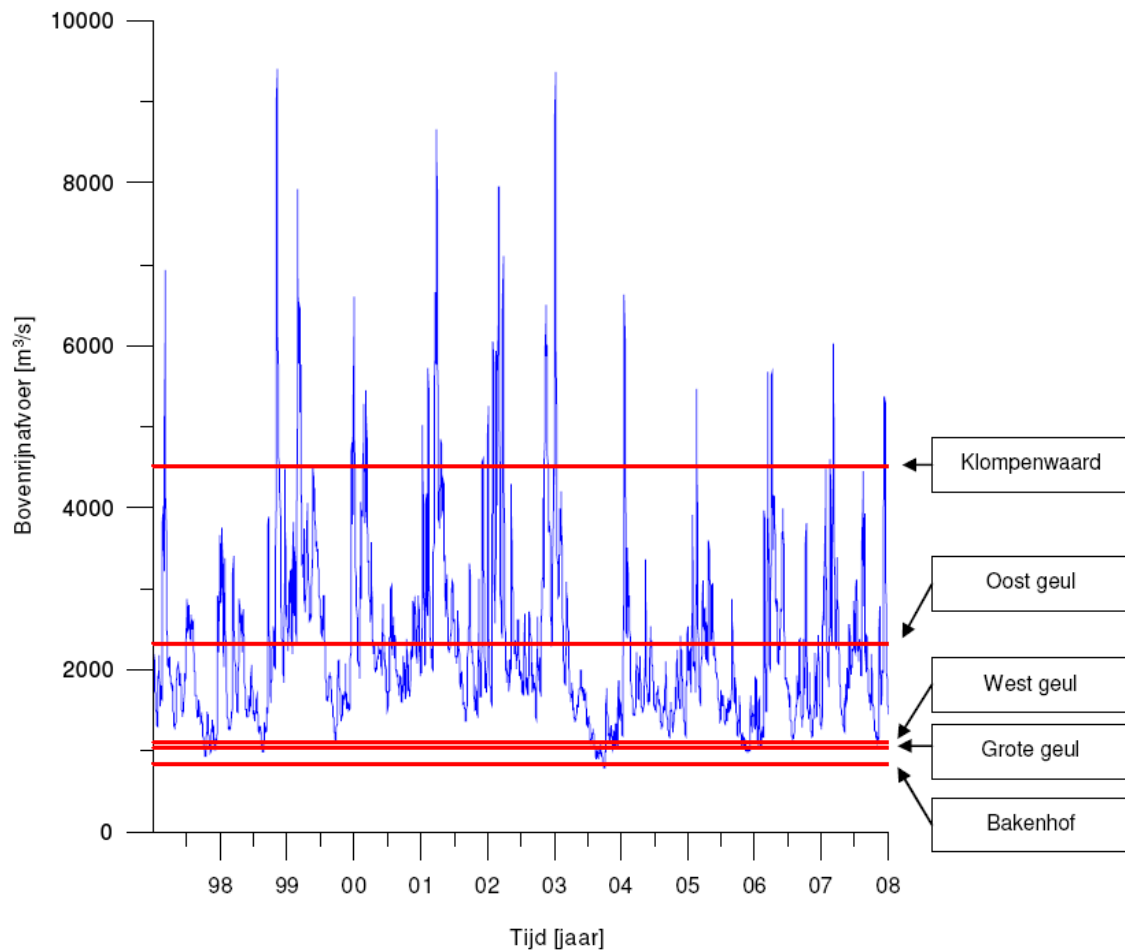
### 2.1 Bestaande geulen in Rijntakken

De kennis die sinds 1998 is verzameld, betreft vooral de geulen langs de Rijntakken, zie Figuur 2.1. De nevengeulen zijn niet allemaal even oud: Gameren, Beneden-Leeuwen en Opijnen zijn als eerste aangelegd (1994-1999), daarna de Klompenwaard (1999), Bakenhof (2001) en Vreugderijkerwaard (2002-2003). De verschillende morfologische en rivierkundige aspecten (mate van verbinding, stroomsnelheid, substraat, waterdiepte, regelwerken) en hun ecologische effecten komen in de volgende paragrafen aan bod. Hierbij richten we ons vooral op de geulen bij Gameren, Klompenwaard, de Bakenhof en de Vreugderijkerwaard die allen in 2009 zijn bemonsterd.



Figuur 2.1 Locaties van bestaande nevengeulen langs de rijntakken.

De nevengeulen hebben niet alle het ecologisch rendement van een meestromende geul. Voor het grootste deel is dat bepaald door de mate van meestromen. Figuur 2.2 geeft een overzicht van de mate van meestromen bij in het verleden voorgekomen afvoeren van de nevengeulen, de geul in de Vreugderijkerwaard stroomt altijd mee.



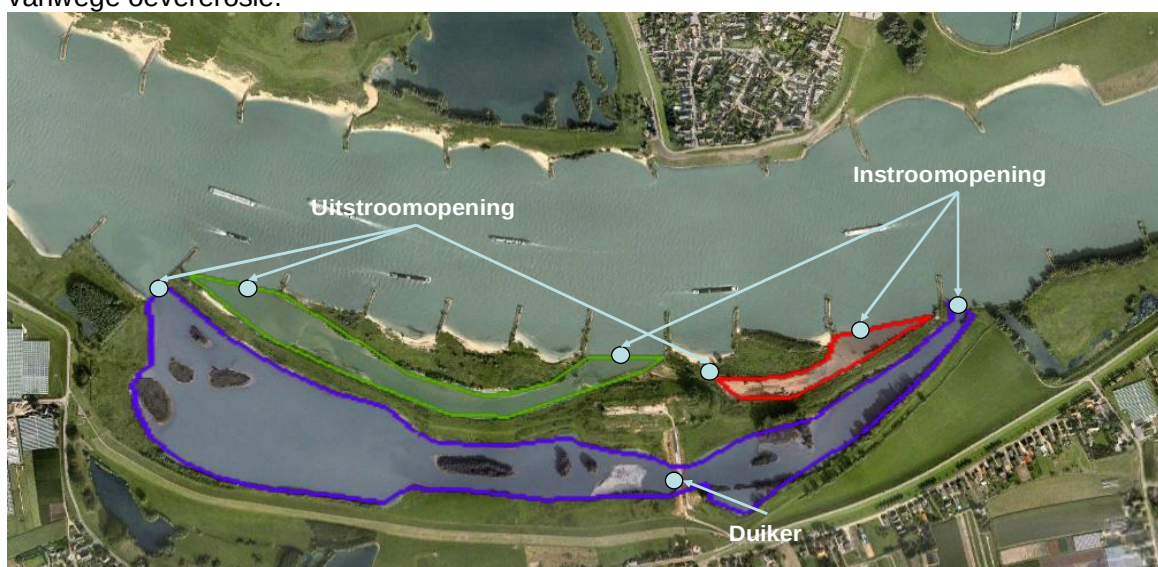
Figuur 2.2 Afvoeren van de Boven-Rijn (1997-2008) en kritieke afvoeren voor stroming in de geulen (DHV, 2009).



## 2.2 Hydromorfologie Gameren

### 2.2.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

Het gebied bestaat uit drie geulen, zie Figuur 2.3. De periodiek meestromende oostgeul en westgeul zijn in 1995 en uiteindelijk 1996 afgerond, de grote geul is van 1996-1999 gegraven. In de zomer van 1999 zijn de brug en het reguleringswerk aangelegd en in oktober 1999 is het gebied definitief in werking getreden. In juni 2000 zijn er herstelwerkzaamheden bij de brug verricht, in juni 2001 is de oever van de grote geul lokaal versterkt met stortsteen vanwege oevererosie.



Figuur 2.3 Luchtfoto van de nevengeulen en strangen bij Gameren. Blauw = grote geul; Rood = oostgeul; Groen = westgeul.

#### Systeem

De geul ligt aan de linkeroever van de Waal, een vrij afstromende rivier, ter hoogte van Zaltbommel (rkm 937) .

#### Doel geul

Bron van zand en klei, verhoging afvoercapaciteit en natuurontwikkeling. De kleine oostelijk gelegen geul is zo ontworpen dat deze ongeveer 100 dagen per jaar zou meestromen, de Westelijke geul gemiddeld 265 dagen en de grote geul nagenoeg het gehele jaar als habitat voor stromingsminnende soorten (Jans, 2004).

#### Regelwerken

De volgende regelwerken zijn aangelegd:

|                  |                                                                             |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Gameren West     |                                                                             |
| Instroomopening  | Drempel, hoogte 0.95 m +NAP (1135 m <sup>3</sup> /s bij Lobith), 40 m breed |
| Uitstroomopening | Vrij                                                                        |
| Gameren Oost     |                                                                             |
| Instroomopening  | Drempel, hoogte 2.04 m +NAP (2294 m <sup>3</sup> /s bij Lobith), 35 m breed |
| Uitstroomopening | Vrij                                                                        |

|                    |                                                                                                           |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gameren Grote geul | Gameren grote geul brug, bodemhoogte 0.88 m + NAP, 10 m breed; weg, hoogteligging 4.32 m+NAP, 100 m breed |
| Halverwege de geul |                                                                                                           |
| Uitstroomopening   |                                                                                                           |
|                    | Vrij                                                                                                      |

## 2.2.2 Hydraulische en morfologische aspecten

De Westgeul en Grote geul stromen sinds aanleg nagenoeg het hele jaar mee, waarbij de westgeul een iets grotere (oppervlakte)gemiddelde stroomsnelheid heeft (+/- 20 cm/s ten opzichte van 15 cm/s) dan de grote geul. De stroomsnelheden zijn bij de verschillende waterstanden in voorjaar en zomer stabiel. De variatie van de stroomsnelheid is groter in de grote geul: rondom het regelwerk en de eilanden zijn de stroomsnelheden hoger, in de aangetakte zandwinplas (westelijk deel van de grote geul) zijn deze laag (Figuur 2.4). De waterstandvariatie is relatief hoog, maar in de grote geul het laagst (2,5 meter in het paai- en groeiseizoen; Waterdienst/DHV, 2009).

Tabel 2.1 Overzicht hydraulische en morfologische aspecten van de Gamerensche nevengeulen, de kentallen zijn berekend bij een Bovenrijnafvoer van 2650 m<sup>3</sup>/s in het voorjaar en 2000 m<sup>3</sup>/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010).

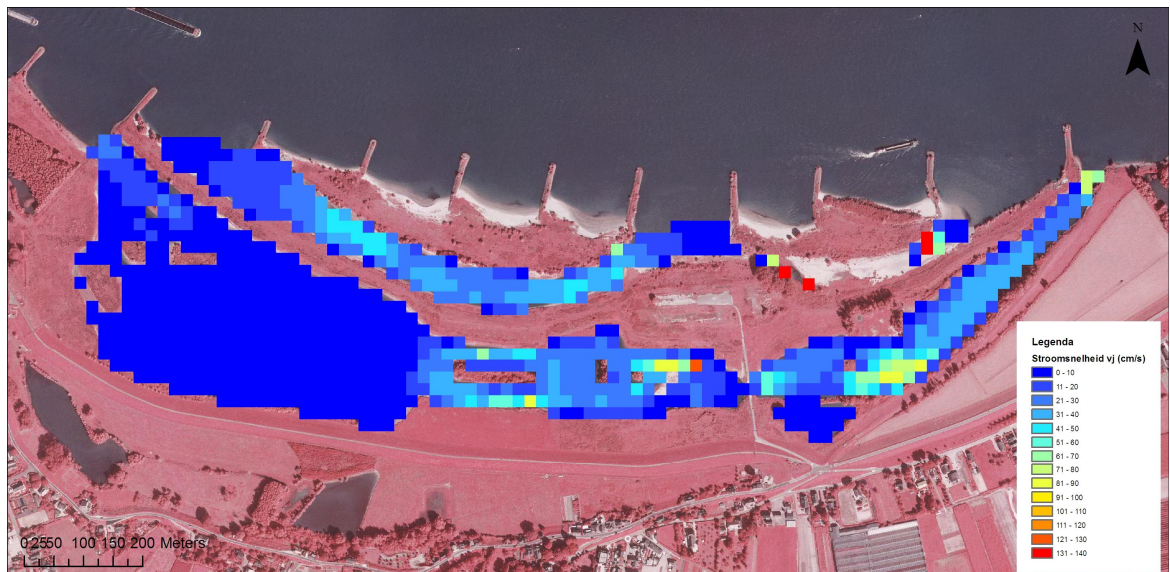
|                                                         |                           | Oost geul          | Grote geul | West geul |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|------------|-----------|
| <b>Secchi diepte</b> (m, maat voor doorzicht)           |                           | -                  | 0,57       | -         |
| <b>Kritieke afvoer (m<sup>3</sup>/s)</b>                |                           | 2300 <sup>4)</sup> | 1000       | 1100      |
| <b>Aantal dagen meestromen</b>                          |                           |                    |            |           |
|                                                         | Jaarlijks                 | 129                | 357        | 352       |
|                                                         | Zomer                     | 39                 | 179        | 177       |
|                                                         | Winter                    | 90                 | 178        | 174       |
|                                                         | Paaiseizoen <sup>3)</sup> | 81                 | 179        | 179       |
| <b>Gemid. Stroomsnelheid</b> (cm/s, standaard deviatie) |                           |                    |            |           |
|                                                         | Voorjaar                  | - <sup>2)</sup>    | 14 (16)    | 22 (12)   |
|                                                         | Zomer                     | - <sup>2)</sup>    | 15 (23)    | 20 (17)   |
| <b>Water oppervlak (Ha)</b>                             |                           |                    |            |           |
|                                                         | Voorjaar                  | 0,6                | 26,6       | 6,8       |
|                                                         | Zomer                     | 0                  | 24,0       | 5,8       |
| <b>Waterstandvariatie</b>                               |                           |                    |            |           |
|                                                         | Jaar                      | 4,5 <sup>4)</sup>  | 4,4        | 4,4       |
|                                                         | Zomer                     | 2,4 <sup>4)</sup>  | 1,5        | 2,3       |
|                                                         | Winter                    | 4,4                | 3,1        | 4,3       |
|                                                         | Paaiseizoen               | 3,4 <sup>4)</sup>  | 2,5        | 3,4       |

<sup>1)</sup>V: voorjaar (maart-april), Z: zomer (juni-juli-augustus)

<sup>2)</sup>Geen betrouwbare gegevens beschikbaar

<sup>3)</sup>Voor het paaiseizoen in deze studie is 1 februari tot 1 augustus aangehouden.

<sup>4)</sup>In het bronrapport is geen rekening gehouden met de hogere ligging van deze geul; de waterstandsvariatie is kleiner omdat deze droogvalt.(DHV, 2009).



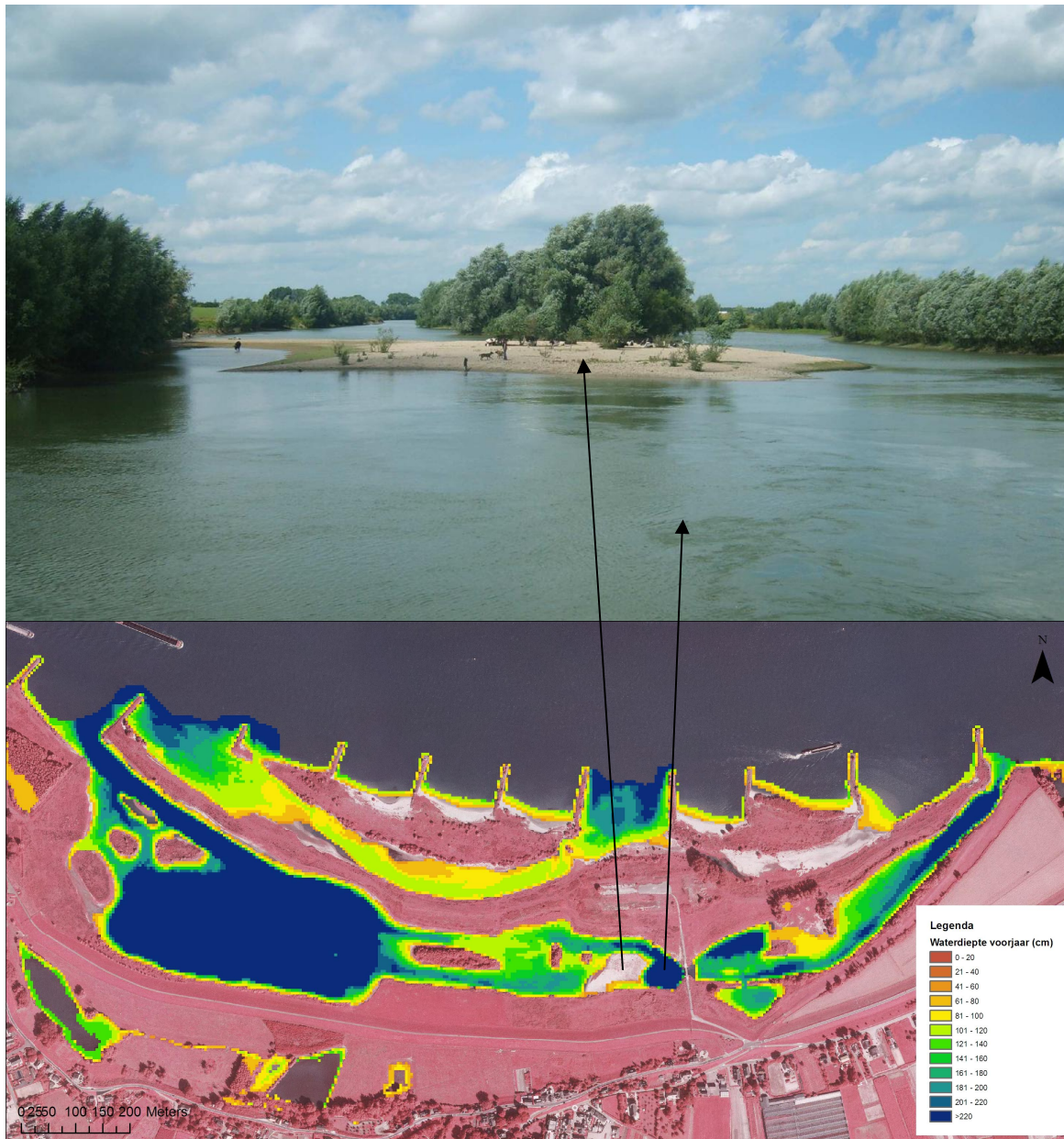
Figuur 2.4 Stroomsnelheden in de nevengeulen bij Gameren op basis van een representatieve afvoer in de lente ( $2650 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith).

De Gamerense nevengeulen zijn relatief ondiep, grote delen zijn ondieper dan 2 m. De aangetakte zandwinplas (westelijk deel van de grote geul) is dieper dan 2 m en achter de duiker in de grote geul is door erosie een kolk ontstaan waarvan het meeste sediment iets verderop een zandplaat heeft gevormd (Figuur 2.5).

De oostgeul valt eerder droog dan bij het initieel ontwerp, deze is sinds aanleg aangezand. De kritische grens zoals aangegeven in de tabel is een onderschatting, deze ligt hoger.

De zandwinplas in het westelijk deel van de grote geul had een bodemdiepte van maximaal 20-21 meter beneden maaiveld (de bodemdiepte ten opzichte van NAP is -17 m). De plas is in de periode 2009-2011 verondiept tot ongeveer - 2 m NAP, dat bij een waterpeil van gemiddeld + 1 m NAP leidt de verondieping tot een waterdiepte van circa 2-3 meter (Dekker van de Kamp, 2008; Didderen & Kranenbarg, 2009).





Figuur 2.5 Boven: Nevengeul Gameren, eilandvorming achter regelwerk, het sediment komt voor een groot deel uit een erosiegat net achter het regelwerk (foto Arjan Sieben, 15 juli 2009). Onder: Waterdiepte in de nevengeulen van Gameren op basis van een representatieve afvoer in de lente ( $2650 \text{ m}^3/\text{s}$ ). De pijlen geven de relatie tussen de locaties op de foto's weer.

## 2.3 Hydromorfologie: Klompenwaard

### 2.3.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

De Klompenwaard ligt langs de Waal, vlakbij Doornenburg waar het splitsingspunt van de Rijn in de verschillende Rijntakken ligt (rechteroever, rkm 869). In 1999 is deze strang uitgegraven en benedenstrooms aangetakt aan de Waal (Figuur 2.6). Het substraat bestaat over het algemeen uit slib en het water is 'buitengewoon' troebel (Peters & Kurstjens, 2009).



Figuur 2.6 Luchtfoto van de Klompenwaard.

#### Systeem

De slechts sporadisch meestromende geul is aangelegd in een zeer dynamisch deel van de Waal met relatief veel water- en sedimentdynamiek. Naast scheepvaart, was een belangrijke externe randvoorwaarde bij het ontwerp van de geul het zeer nabij stroomopwaarts gelegen splitsingspunt waar de Rijn in de Waal en het Pannerdens kanaal splitst. Een permanent stromende geul zou voor scheepvaart problemen op kunnen leveren vanwege aanzanding in de hoofdgeul en de waterverdeling over de takken ongewenst kunnen beïnvloeden.

#### Doel

De aanleg van de geul en het verlagen van de uiterwaard hadden tot doel zand en klei te winnen, de hoogwaterstand te verlagen en natuurontwikkeling. Het natuurdoel is niet helder gedefinieerd, maar richt zich met name de drogere natuur en overgangen naar natte natuur, iets wat meekoppeld met winning van de bovenop liggende kleilaag (zie Figuur 2.6: tussen de geul en de gegraven strang is de uiterwaard verlaagd). De geul is zo ontworpen dat deze in een gemiddeld jaar 56 dagen zou moeten meestromen, in droge jaren niet (5 jaar in 20<sup>e</sup> eeuw) en in natte jaren tot 120 dagen (van Rijsbergen, 2002). De nadruk op het meestromen doet vermoeden dat men verwachtte dat hiervan een gunstig (ecologisch) effect zou uitgaan, maar vanwege het geringe aantal dagen betreft het hier meer een eenzijdig aangetakt water.



## Regelwerk

Het regelwerk bestaat uit een stortstenen drempel met een hoogte van 12 m +NAP, die meestroomt bij 4400 m<sup>3</sup>/s bij Lobith en 35 m breed is (Figuur 2.7).



*Figuur 2.7 Instroomopening Klompenwaard (vanaf geulzijde gezien). De instroomopening van de Klompenwaard is een verlaging in de zandige uiterwaard. Na aanleg bleek deze zich tijdens hoogwaters te verplaatsen doordat de oeverwal aan de rivierzijde enigszins door erosie werd aangetast, daarom is de instroomopening later in stortsteen vastgelegd.*

### 2.3.2 Hydraulische en morfologische aspecten

De geul in de Klompenwaard stroomt zo weinig mee dat eigenlijk niet van een nevengeul kan worden gesproken, het functioneert hydraulisch gezien als eenzijdig aangetakt water (Figuur 2.7).

Tabel 2.2 Hydraulische aspecten van de Nevengeul in de Klompenwaard, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van 2650 m<sup>3</sup>/s in het voorjaar en 2000 m<sup>3</sup>/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010).

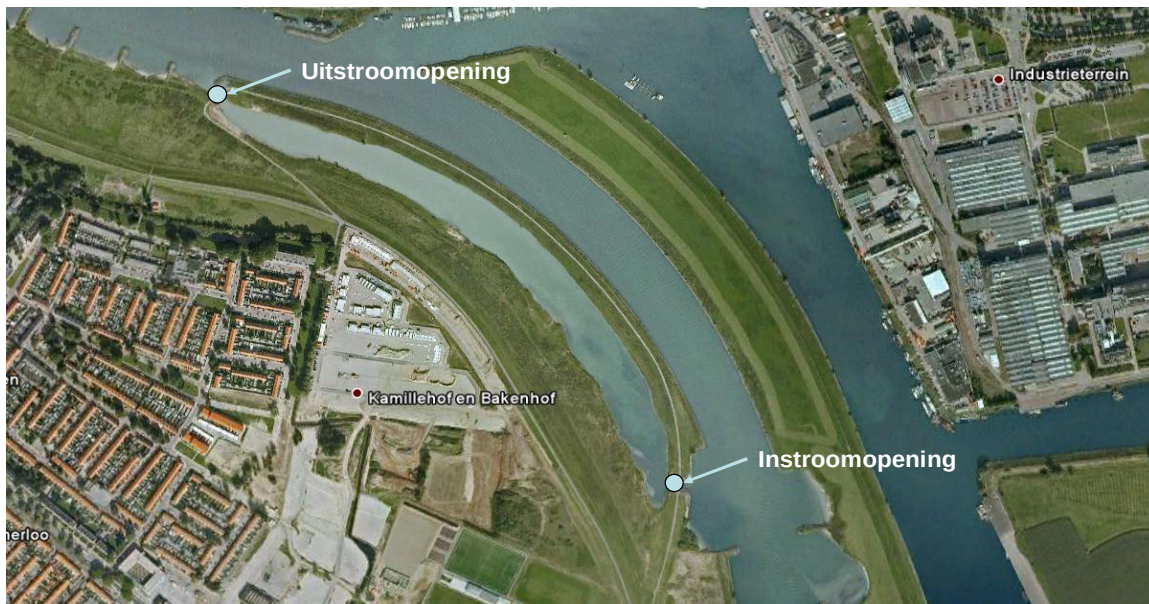
|                                                            | Eigenschappen<br>geul |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Secchi diepte</b> (m, maat voor doorzicht)              | 0,21                  |
| <b>Kritieke afvoer (m<sup>3</sup>/s)</b>                   | 4500                  |
| <b>Aantal dagen meestromen</b>                             |                       |
| Jaarlijks                                                  | 18                    |
| Zomer                                                      | 0                     |
| Winter                                                     | 18                    |
| Paaiseizoen                                                | 11                    |
| <b>Gemid. Stroomsnelheid</b><br>(cm/s, standaard deviatie) |                       |
| Voorjaar                                                   | -                     |
| Zomer                                                      | -                     |
| <b>Stromend oppervlak (Ha)</b>                             |                       |
| Voorjaar                                                   | 0                     |
| Zomer                                                      | 0                     |
| <b>Waterstandvariatie</b>                                  |                       |
| Jaar                                                       | 6,3                   |
| Zomer                                                      | 3,6                   |
| Winter                                                     | 6,0                   |
| Paaiseizoen                                                | 5,0                   |

De in de doelstelling geformuleerde aantallen dagen meestromen (56 in gemiddelde jaren) zijn in de praktijk niet voorgekomen (tabel 2.2). In ieder geval was het aantal dagen (56) al onvoldoende om een doelstelling als meestromende geul te realiseren. Verder valt op dat de waterstandverschillen gedurende het seizoen groot zijn, tot 5 m in het paai- annex groeiseizoen. Dat laatste is kenmerkend voor de bovenstroomse ligging in de Rijntakken.

## 2.4 Hydromorfologie Bakenhof

### 2.4.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

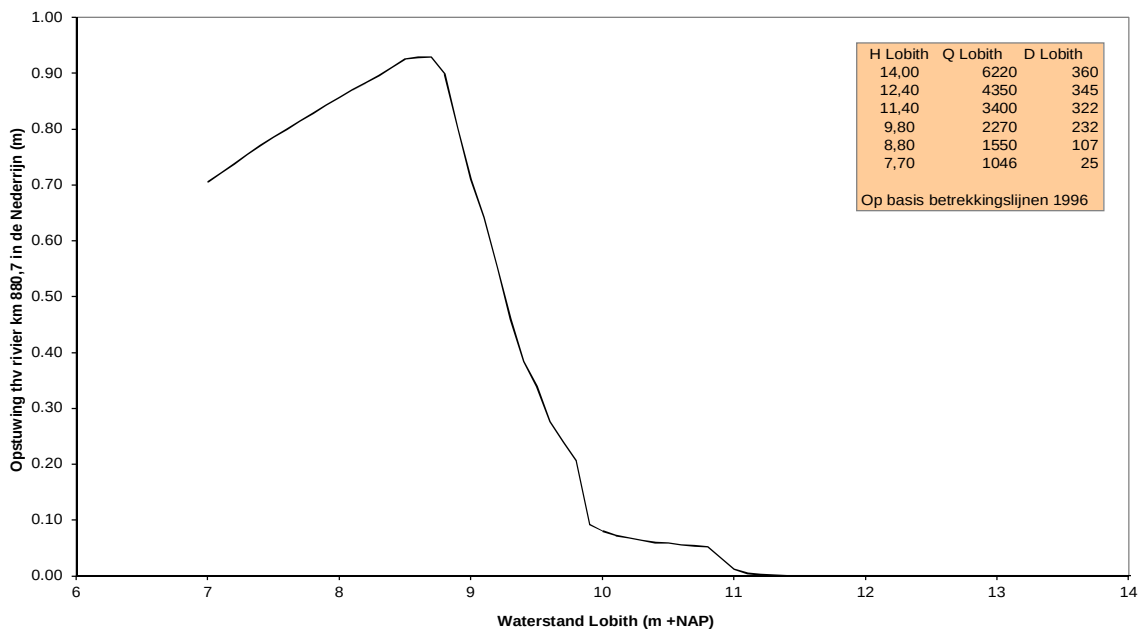
De Bakenhof is een in 2002 voltooide nevengeul in de Nederrijn (gestuwd) nabij Arnhem (linkeroever, rkm 881), zie Figuur 2.8. De geul is in 2009 (bij extreem laag water) deels droog gevallen. De geul wordt omschreven als zéér slibrijk en enigszins troebel (Peters & Kurstjens, 2009).



Figuur 2.8 Luchtfoto van de Bakenhof.

## Systeem

De nevengeul van de Bakenhof ligt in de Nederrijn net na het splitsingspunt van de IJssel, de instroomopening bevindt zich op rivierkilometer 880. Dit traject wordt sterk beïnvloed door de werking van de stuw bij Driel (Figuur 2.9). Hierdoor wordt het debiet door de hoofdgeul beïnvloed en als gevolg ook het debiet door de nevengeul.



Figuur 2.9 Het opstuwend effect van de waterstanden bij de instroomopening van de nevengeul bij de Bakenhof (rkm 880,7). De grafiek laat het waterstandsverschil zien tussen een situatie met stuwen en een situatie zonder stuwen. Tussen de 9 en 10 m NAP bij Lobith neemt het opstuwend effect snel af. Dat wil zeggen dat zeker 110 dagen per jaar (onderschrijding van 8,80 m bij Lobith) een sterk effect van de stuw is te merken en een verminderde stroming kan worden verwacht.



**Doel**

Het project is uitgevoerd in kader van Ruimte voor de Rivier, versterking van de natte natuur was een neven doel.

**Regelwerk**

De instroomopening betreft een brug met een duiker als inlaat waarvan de bodemhoogte 8.0 m+NAP is en de opening 10 m breed. De uitlaat heeft ook een brug met regelwerk waarvan de bodemhoogte op 6.7 m +NAP ligt en 8 m breed is (Figuur 2.10).



Figuur 2.10 Instroomopening van de Bakenhof vanaf geulzijde en een zandplaat in de geul. Genomen 11 juni 2009 (foto: A. Sieben).

#### 2.4.2 Hydraulische en morfologische aspecten

De Bakenhof is gedurende het hele jaar aangetakt, alleen bij extreem laagwater stroomt deze niet mee ( $<850 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith). De stroomsnelheden (en het debiet) variëren flink tussen het voorjaar en de zomer. In de zomersituatie hebben de stuwen effect op de stroomsnelheid, wat het lage debiet door de geul verklaart.

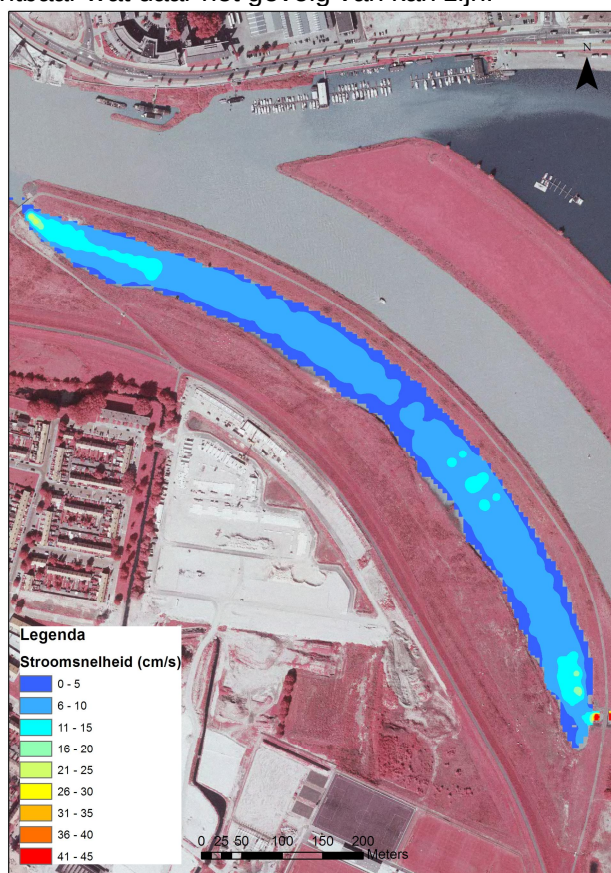
Tabel 2.3 Overzicht hydraulische aspecten van de nevengeul bij de Bakenhof, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van  $2650 \text{ m}^3/\text{s}$  in het voorjaar en  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010).

|                                                  | Eigenschappen<br>geul |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Secchi diepte</b> (m, maat voor doorzicht)    | 0,35                  |
| <b>Kritieke afvoer</b> ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 850                   |
| <b>Aantal dagen meestromen</b> <sup>1)</sup>     |                       |
| Jaarlijks                                        | 364                   |
| Zomer                                            | 183                   |
| Winter                                           | 181                   |
| Paaiseizoen                                      | 180                   |

|                                                                |             |         |
|----------------------------------------------------------------|-------------|---------|
| <b>Gemiddelde Stroomsnelheid</b><br>(cm/s, standaard deviatie) |             |         |
|                                                                | Voorjaar    | 10 (20) |
|                                                                | Zomer       | 3 (12)  |
| <b>Water stromend oppervlak (Ha)</b>                           |             |         |
|                                                                | Voorjaar    | 0,6     |
|                                                                | Zomer       | 0       |
| <b>Waterstandvariatie</b>                                      |             |         |
|                                                                | Jaar        | 4,5     |
|                                                                | Zomer       | 2,4     |
|                                                                | Winter      | 4,4     |
|                                                                | Paaiseizoen | 3,4     |

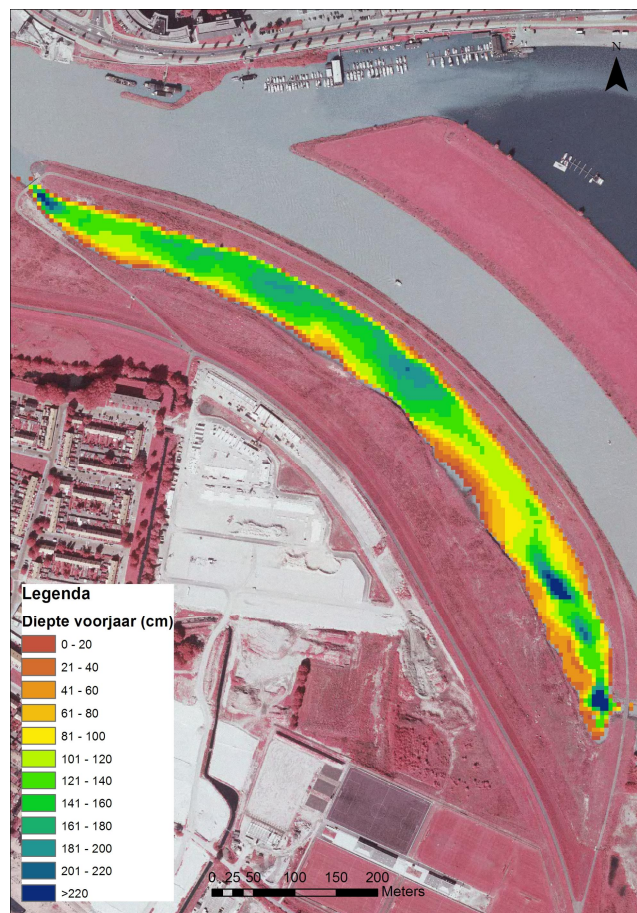
<sup>1)</sup> Het aantal dagen meestromen lijkt zeer groot, maar door de invloed van de stuw bij Driel zijn de stroomsnelheden bij lage rivierafvoeren zeer gering.

De stroomsnelheden in de geul zijn het hoogst bij de in- en uitstroomopeningen (Figuur 2.11). De waterdiepten zijn bijna overal kleiner dan 2 m, behalve net na de instroomopening en in het smallere deel bij de uitstroomopening (Figuur 2.12). Bij de instroomopening zal het uit het gat geërodeerde sediment zich in de geul herverdeeld hebben, op 1/3 geullengte is in de geul een ondieper deel zichtbaar wat daar het gevolg van kan zijn.



Figuur 2.11 Stroomsnelheden in de nevengeul in de Bakenhof bij een representatieve voorjaarsafvoer ( $2650 \text{ m}^3/\text{s}$ ).





Figuur 2.12 Waterdiepte in de nevengeul in de Bakenhof in het voorjaar. Het grootste deel van de Bakenhof is ondieper dan 2 m. Na de instroomopening is een erosie gat en daarna een ondiepte te zien, ook vlak voor de uitstroomopening is de geul dieper, waarschijnlijk doordat de geul daar smaller is.

## 2.5 Hydromorfologie: Vreugderijkerwaard

### 2.5.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

De stromende nevengeul van de Vreugderijkerwaard is gelegen aan de IJssel (rechteroever, rkm 983), bij Zwolle (Figuur 2.13). Ze is ontstaan tussen 2000 en 2004, door het aantakken van enkele kleiplassen en vergraven van tussenliggende gronden. Vanaf 2002 kon de geul meestromen. Er stroomt bij laagwater maximaal 1.5% van de afvoer van de IJssel.



Figuur 2.13 Luchtfoto van de Vreugderijkerwaard.

## Systeem

De nevengeul ligt benedenstrooms in de IJssel waar de rivier vrij afstroomt. De waterdynamiek (stroomsnelheden en waterstandvariatie) en morfologische dynamiek zijn hier van nature geringer dan meer bovenstrooms in de rijntakken.

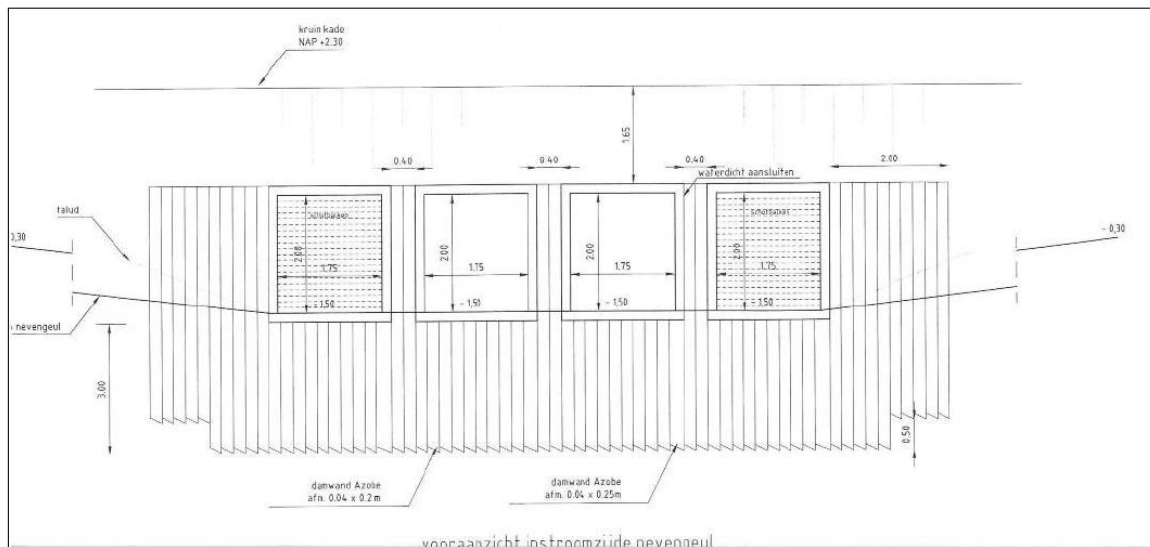
## Doel

Doelen bestaan uit rivierverruiming voor hoogwaterafvoer en ontwikkeling van droge en natte natuur. Dat laatste specifiek voor stroomminnende soorten voor de Kaderrichtlijn Water.

## Regelwerk

Zowel de inlaat- als de uitlaatopening bevatten regelwerken. De inlaat en de uitlaat hebben een regelwerk met een bodemhoogte van -1.5 m+NAP en een bovenkant van 0.5 m +NAP. De inlaat heeft twee elementen met elk een breedte van 1.75 m ( $7 \text{ m}^2$  doorstroomoppervlak), terwijl de uitlaat uit vijf vergelijkbare elementen bestaat tezamen  $5 \times 1.75 \text{ m}$  oftewel  $17,5 \text{ m}^2$  doorstroomoppervlak.





Figuur 2.14 Ontwerptekening van het inlaatwerk bij de Vreugderijkerwaard. Twee van de vier duikers zijn afgesloten, het doorstroombaar oppervlak is  $7 \text{ m}^2$  (bron DHV, 2009)



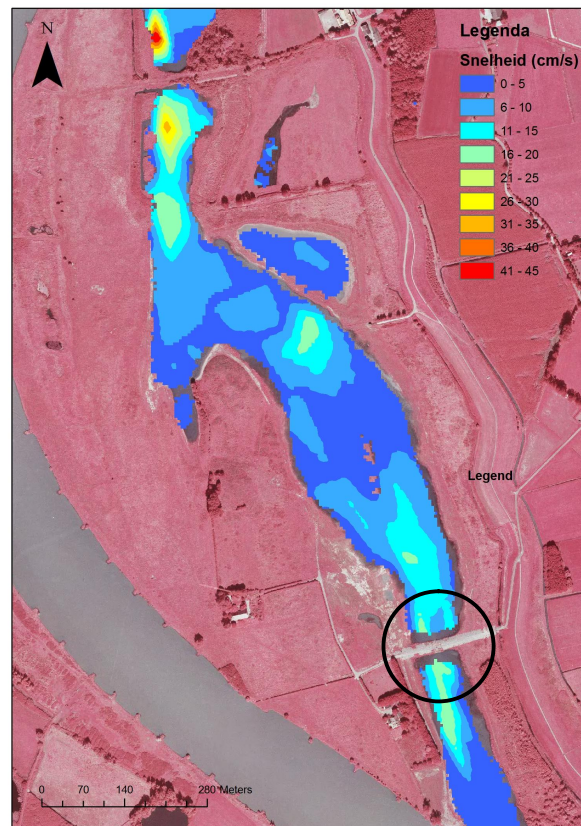
Figuur 2.15 Duikers van de instroomopening in de nevengeul in de Vreugderijkerwaard (foto M. Schoor).

### 2.5.2 Hydraulische en morfologische aspecten

De nevengeul in de Vreugderijkerwaard stroomt het hele jaar mee, waarbij de stroomsnelheden constant zijn bij representatieve waterstanden in de lente en zomer (Tabel 2.4). Dat is terug te zien in de geringe verschillen van het wateroppervlak en de kleine waterstandvariatie in het paai- annex groeiseizoen. De (oppervlakte) gemiddelde stroomsnelheid is relatief laag maar varieert flink binnen de geul.

Tabel 2.4 Hydraulische aspecten van de nevengeul in de Vreugderijkerwaard, de kentallen zijn berekend bij een Bovenrijnafvoer van 2650 m<sup>3</sup>/s in het voorjaar en 2000 m<sup>3</sup>/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010).

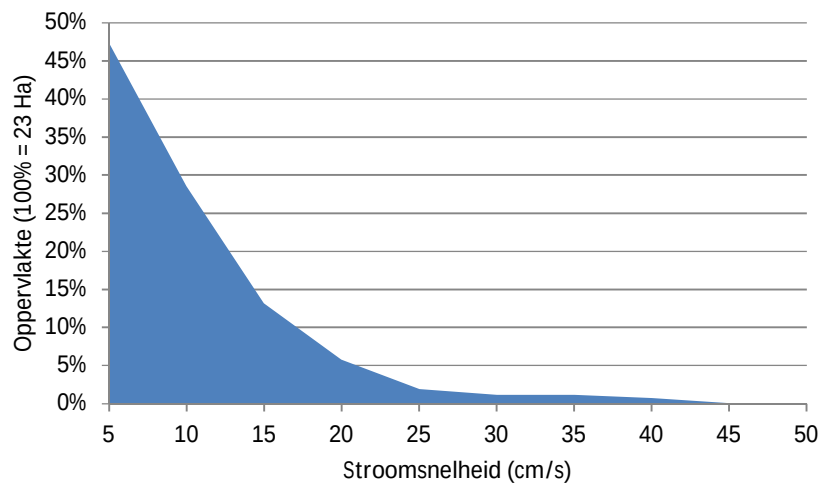
|                                                            | Eigenschappen<br>geul |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Secchi diepte</b> (m, maat voor doorzicht)              | 0,65                  |
| <b>Kritieke afvoer</b> (m <sup>3</sup> /s)                 | Altijd<br>meestromend |
| <b>Aantal dagen meestromen</b>                             |                       |
| Jaarlijks                                                  | 365                   |
| Zomer                                                      | 184                   |
| Winter                                                     | 181                   |
| Paaiseizoen                                                | 185                   |
| <b>Gemid. Stroomsnelheid</b><br>(cm/s, standaard deviatie) |                       |
| Voorjaar                                                   | 8 (7)                 |
| Zomer                                                      | 6 (6)                 |
| <b>Water oppervlak</b> (Ha)                                |                       |
| Voorjaar                                                   | 2,3                   |
| Zomer                                                      | 2,3                   |
| <b>Waterstandvariatie</b>                                  |                       |
| Jaar                                                       | 2,2                   |
| Zomer                                                      | 0,5                   |
| Winter                                                     | 1,2                   |
| Paaiseizoen                                                | 0,8                   |



Figuur 2.16 Stroomsnelheden in de Vreuderijkerwaard, situatie voorjaar met  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  geuldebiet, bij een bovenrijnafvoer van  $2650 \text{ m}^3/\text{s}$ . De stroomsnelheid varieert tussen 0 en  $45 \text{ cm/s}$  en de stroomrichting is naar het noorden. De cirkel geeft de locatie van het regelwerk bij de instroomopening aan.

De gemiddelde stroomsnelheid is een versimpelde weergave van de werkelijkheid. Figuur 2.17 geeft de stroomsnelheidsverdeling naar oppervlakte op basis van de situatie in figuur 2.16. Ongeveer 5% van het oppervlak stroomt bij  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  debiet sneller dan  $20 \text{ cm/s}$ . De helft van het oppervlak stroomt sneller dan  $5 \text{ cm/s}$ , de andere helft minder dan  $5 \text{ cm/s}$ . In de zomer is deze verdeling nagenoeg identiek.





Figuur 2.17 Stroomsnelheidsverdeling over oppervlakte in het voorjaar, Vreugderijkerwaard. De x-as geeft bovengrenzen van de klassen weer (bijvoorbeeld 5 = 0-5 cm/s; 10 = 5-10 cm/s)). De helft van de oppervlakte heeft een stroomsnelheid van 5 cm/s of groter.

## 2.6 Vis in nevengeulen

### 2.6.1 Methode

Om in te kunnen gaan op het functioneren van nevengeulen voor vis is gebruikt gemaakt van gegevens die zijn verzameld in 2009 in het kader van het onderzoek van Dorenbosch et al. (2011). Dit zijn gegevens uit nevengeulen, maar ook gegevens uit bij de nevengeulen gelegen kribvakken. Daarnaast zijn gegevens uit het project Kansen Voor Stroomminnende Vissen (KVSF; o.a. Grift, 2001) gebruikt.

Er is voor gekozen gegevens te gebruiken die in het voorjaar en de zomer (maart-juli) zijn verzameld. Dit in verband met de functie van nevengeulen en strangen als kraamkamer voor juveniele vis. Deze bevindt zich met name in het voorjaar en de zomer in de nevengeulen.

De bemonsteringsmethoden die zijn toegepast in 2009 en in het kader van KVSF verschillen. Dorenbosch et al. (2011) beschrijven dat is bemonsterd met een zegen met een maaswijdte van 5 mm in de kuil en een lengte van 25 m. Binnen KVSF is met diverse zegens bemonsterd (zie Grift et al. 1998). De 'roze zegen' met een maaswijdte van 7.5 mm en een lengte van 25 m benadert de methode uit 2009 het beste en gegevens die hiermee zijn verzameld (alleen uit 1999) zijn dan ook gebruikt voor de vergelijking met 2009. Voor deze zegen wordt door Grift (2001) een oppervlak van 150 m<sup>2</sup> per trek genoemd. Met dit kentel zijn de gegevens omgerekend naar aantallen per oppervlakte eenheid.

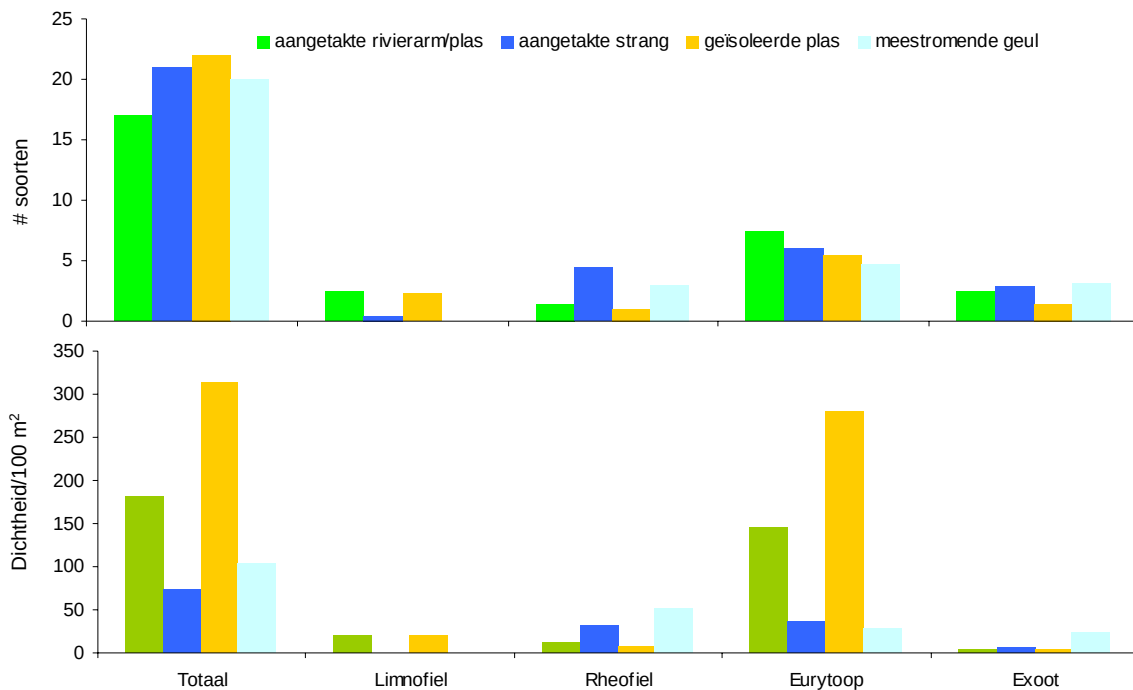
De toegepaste gildenindeling volgt die van de KRW-maatlat voor rivieren (R7) en zoete getijdenrivieren (R8). Dit houdt in dat exoten hier tot een apart 'gilde' zijn gerekend. De indeling is weergegeven in tabel 2.5.

Tabel 2.5 Soorten en gilden voor wateren van het type R8 (van der Molen &amp; Pot, 2007).

| Soort            | Gilde                    | Soort           | Gilde                   |
|------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| <b>Reofiel</b>   | Alver                    | <b>Eurytoop</b> | Blankvoorn              |
|                  | Barbeel                  |                 | Brasem                  |
|                  | Kleine modderkruiper     |                 | Brasem/kolblei          |
|                  | Kopvoorn                 |                 | Hybride cyprinide       |
|                  | Rivierdonderpad          |                 | Karper                  |
|                  | Riviergrondel            |                 | Kolblei                 |
|                  | Serpeling                |                 | Pos                     |
|                  | Sneep                    |                 | Roofblei                |
|                  | Winde                    |                 | Snoek                   |
| <b>Limnofiel</b> | Bittervoorn              | <b>Exoot</b>    | Snoekbaars              |
|                  | Kroeskarper              |                 | Tiendornige stekelbaars |
|                  | Rietvoorn                |                 | Blauwband               |
|                  | Vetje                    |                 | Blauwneus               |
| <b>Diadroom</b>  | Bot                      |                 | Kesslers grondel        |
|                  | Driedoornige stekelbaars |                 | Marmergrondel           |
|                  | Paling                   |                 | Pontische stroomgrondel |
| <b>Eurytoop</b>  | Baars                    |                 | Witvingrondel           |
|                  | Bermpje                  |                 | Zwartbekgrondel         |

### 2.6.2 Nevengeulen versus strangen en plassen

In 2009 zijn nevengeulen en andere wateren langs de rivier onderzocht op dichtheid en samenstelling van de juveniele vissoorten. In Figuur 2.18 staan visgilden die in deze wateren voorkomen gerangschikt naar mate en type van aantakking. Een beoordeling op het aantal dagen meestromen versus het voorkomen van reofiele vis is niet te geven, maar wel zijn de verschillen tussen meer en minder aangetakte wateren goed zichtbaar. De visdichtheid in geïsoleerde plassen en aangetakte plassen is het hoogst, maar daar wordt hoofdzakelijk eurytope vis aangetroffen. De stromingsminnende vissen (reofiel) komen vooral in de meestromende geulen en aangetakte strangen voor, hetzelfde beeld dat eerder is gevonden door Grift (2001).



Figuur 2.18 Resultaten van het nevengeulenonderzoek in de Rijn uit 2009. De gegevens betreffen alleen juveniele vis. Alle bemonsteringsmethoden zijn meegenomen (Dorenbosch et al., 2011).

### 2.6.3 Aantallen soorten

Tabel 2.6 toont het aantal aangetroffen soorten van de verschillende gilden in de nevengeulen en bijbehorende kribvakken. Zoals te zien is ontlopen de totale aantallen soorten elkaar niet veel, de Vreugderijkerwaard is met 16 soorten het meest soortenrijk. Hier zijn echter ook de meeste zegentrekken genomen (7). Kleine modderkruiper en Paling zijn alleen in deze nevengeul aangetroffen en hier zijn ook de meeste reofiele soorten gevonden. Andere soorten die slechts op 1 locatie zijn aangetroffen zijn de Pontische stroomgrondel (kribvak Bakenhof) en de Rivierdonderpad (geul Bakenhof). Limnofiele soorten zijn nergens aangetroffen.

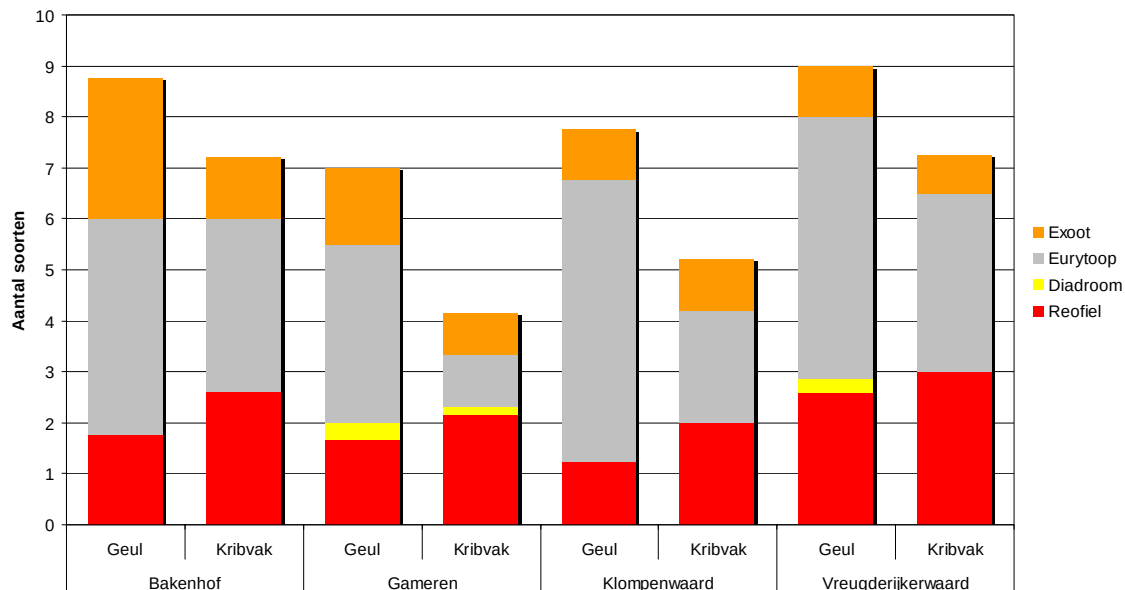
Ook soortenaantallen tussen de geul en bijbehorende kribvakken verschillen niet veel van elkaar. Wel worden in een aantal gevallen (Gameren, Klompenwaard, Bakenhof) meer reofiele soorten in de kribvakken aangetroffen en meer eurytope soorten in de nevengeul. Dit geldt echter niet voor de Vreugderijkerwaard. Daarnaast zijn alleen in Gameren (geul en kribvak) en de Vreugderijkerwaard (geul) diadrome soorten gevangen.

Tabel 2.6 Aantallen soorten in de maanden maart-juli van de gilden reofiel, diadroom, eurytoop en exoot in de vier verschillende nevengeulen met bijbehorende kribvakken. Ook het aantal trekken is gegeven.

| Locatie        | Bakenhof                |         | Gameren |         | Klommenwaard |         | Vr.rijkerwaard |         |
|----------------|-------------------------|---------|---------|---------|--------------|---------|----------------|---------|
|                | Geul                    | Kribvak | Geul    | Kribvak | Geul         | Kribvak | Geul           | Kribvak |
| Aantal trekken | 4                       | 5       | 6       | 6       | 4            | 5       | 4              | 4       |
| Reofiel        | Alver                   | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
|                | Barbeel                 |         |         |         | X            |         |                | X       |
|                | Kleine modderkruiper    |         |         |         |              |         | X              |         |
|                | Rivierdonderpad         | X       |         |         |              |         |                |         |
|                | Serpeling               |         | X       | X       |              | X       |                | X       |
|                | Sneep                   |         | X       | X       |              | X       | X              | X       |
|                | Winde                   | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
| Dia            | Bot                     |         | X       | X       |              |         | X              |         |
|                | Paling                  |         |         |         |              |         | X              |         |
| Eurytoop       | Baars                   | X       | X       | X       | X            |         | X              | X       |
|                | Blankvoorn              | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
|                | Brasem                  | X       | X       | X       | X            |         | X              | X       |
|                | Brasem/kolblei          |         |         |         |              | X       | X              | X       |
|                | Kolblei                 |         |         |         | X            |         | X              |         |
|                | Pos                     | X       |         | X       | X            | X       | X              |         |
|                | Roofblei                | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
| Exoot          | Snoekbaars              | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
|                | Blauwneus               |         |         |         | X            |         |                |         |
| Exoot          | Kesslers grondel        | X       | X       | X       | X            | X       |                |         |
|                | Marmmergrondel          | X       |         |         |              |         | X              |         |
|                | Pontische stroomgrondel |         | X       |         |              |         |                |         |
|                | Witvinggrondel          | X       | X       | X       | X            | X       | X              | X       |
| Totaal         |                         | 12      | 12      | 12      | 9            | 12      | 11             | 16      |

Om tot een goede vergelijking te komen is gekeken naar het gemiddelde aantal aangetroffen soorten per zegentrek (Figuur 2.19). Hier is duidelijk te zien dat het aantal soorten per trek steeds hoger is in de nevengeulen dan in de kribvakken. Met name in de nevengeul van Gameren en de Klommenwaard worden meer soorten per trek aangetroffen. In de Vreugderijkerwaard wordt gemiddeld het hoogste soortenaantal aangetroffen.



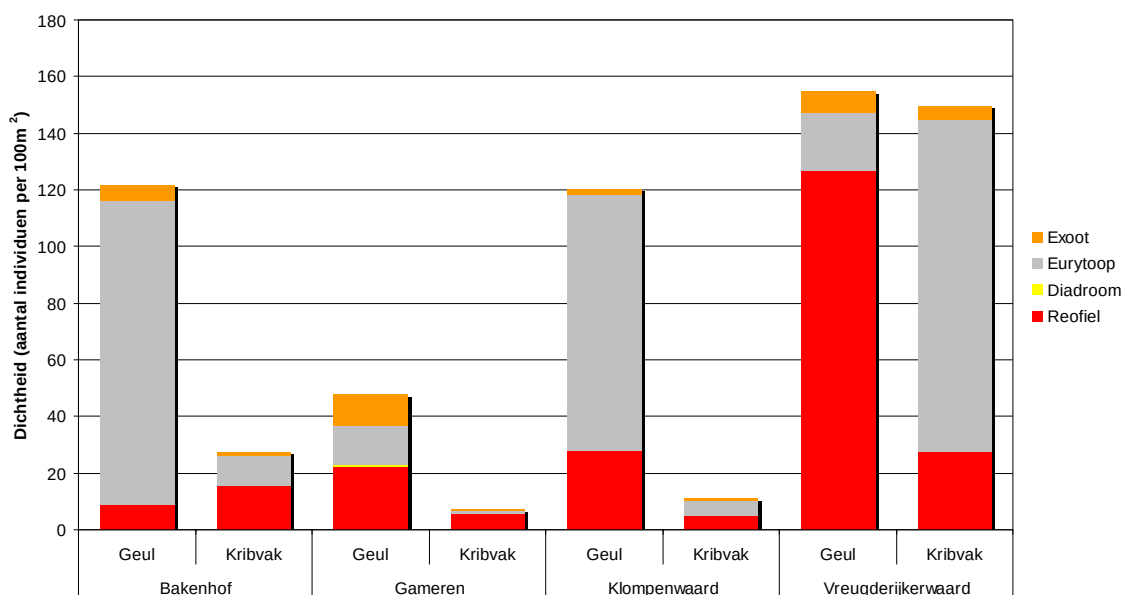


Figuur 2.19 Gemiddeld aantal soorten per trek van de gilden exoot, eurytoop, diadroom en reofiel in geulen en nabije kribvakken.

Het aantal soorten ligt in de Vreugderijkerwaard het hoogst op de voet gevolgd door de Bakenhof. Wordt gekeken naar de winst ten opzichte van het systeem waarin de geulen liggen dan levert de geul bij Gameren de meeste meerwaarde op, gevolgd door de Klompenwaard.

#### 2.6.4 Dichtheden

De gemiddelde dichtheden (per trek) in de vier nevengeulen en in de bijbehorende kribvakken zijn weergegeven in Figuur 2.20. Dichtheden zijn over het algemeen een stuk hoger in de geulen dan in de kribvakken, met uitzondering van het kribvak bij de Vreugderijkerwaard waar het verschil miniem is. Hier wordt de dichtheid in het kribvak echter voor een groot deel bepaald door eurytope vis terwijl in de geul veel meer reofiele vis voorkomt. In de geulen van de Bakenhof en de Klompenwaard betreft het voornamelijk eurytope vis, maar in Gameren en de Vreugderijkerwaard wordt de dichtheid voor het grootste deel bepaald door reofiele vis. Ook Grift (2001) vond hogere dichtheden juveniele vis in nevengeulen. Hier is dus duidelijk dat de nevengeulen in belangrijke mate bijdragen aan de visgemeenschap. De Vreugderijkerwaard en Gameren zijn van belang voor reofiele vis maar ook de geulen bij Bakenhof en Klompenwaard bevatten meer vis op dan de nabijgelegen kribvakken zij het dat de Bakenhof als enige locatie minder reofiele vis in de nevengeul had dan in de nabijgelegen kribvakken.



Figuur 2.20 Gemiddeld dichtheden per trek van de gilden exoot, eurytoop, diadroon en reofiel in geulen en nabije kribvakken.

### 2.6.5 Ontwikkeling in de tijd

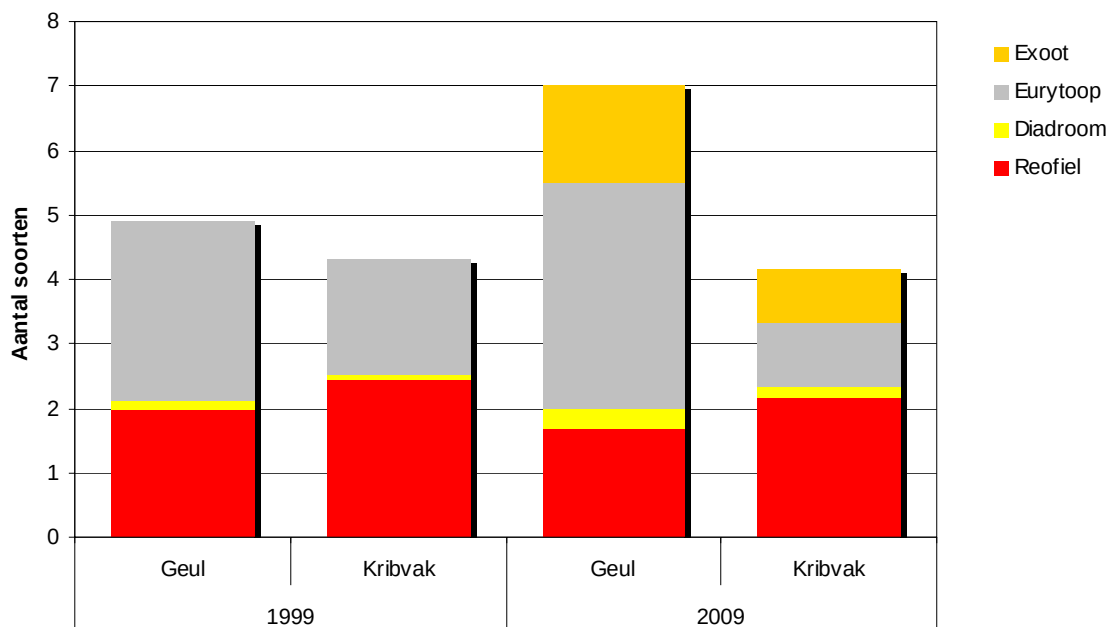
De geulen bij Gameren zijn langere tijd gevolgd (Jans et al, 2005?). Hieruit kan een ontwikkeling in de tijd geschetst worden. Omdat bemonstering in 2000, 2001 en 2002 op een andere wijze zijn uitgevoerd is hier alleen een vergelijking tussen de geul en het kribvak in 1999 en 2009 getoond. De bemonsteringsinspanning in 2009 is lager dus over het totale aantal soorten is het moeilijk uitspraken te doen (tabel 2.7). Wel valt op dat er sinds 1999 drie exoten zijn bijgekomen: de Kesslers grondel, de Pontische stroomgrondel en de Witvingrondel. De Riviergrondel is in 2009 niet meer aangetroffen.

Tabel 2.7 Aantallen soorten in de maanden maart-juli van de gilden reofiel, diadroon, eurytoop en exoot in nevengeul van Gameren en kribvakken in 1999 (zegen met maaswijdte 7.5 mm) en 2009 (zegen met maaswijdte 5 mm). Ook het aantal trekken is gegeven.

| Habitatype               | 1999 |         | 2009 |         |
|--------------------------|------|---------|------|---------|
| Jaar                     | Geul | Kribvak | Geul | Kribvak |
| Aantal trekken           | 10   | 20      | 6    | 9       |
| Alver                    |      | X       | X    | X       |
| Barbeel                  | X    | X       |      |         |
| Kopvoorn                 |      | X       |      |         |
| Riviergrondel            | X    | X       |      |         |
| Serpeling                | X    | X       |      | X       |
| Sneep                    | X    | X       | X    | X       |
| Winde                    | X    | X       | X    | X       |
| Bot                      |      |         | X    | X       |
| Driedoornige stekelbaars |      | X       |      |         |
| Paling                   | X    |         |      |         |
| Baars                    | X    | X       | X    | X       |
| Blankvoorn               | X    | X       | X    | X       |
| Brasem                   | X    | X       | X    |         |
| Karper                   | X    |         |      |         |
| Kolblei                  | X    | X       |      |         |
| Pos                      | X    | X       | X    |         |
| Roofblei                 | X    | X       | X    | X       |
| Snoekbaars               | X    | X       | X    | X       |
| Kesslers grondel         |      |         | X    | X       |
| Pontische stroomgrondel  |      |         |      | X       |
| Witvingrondel            |      |         | X    | X       |
| Totaal                   | 14   | 15      | 12   | 12      |

## 2.6.6 Aantal soorten

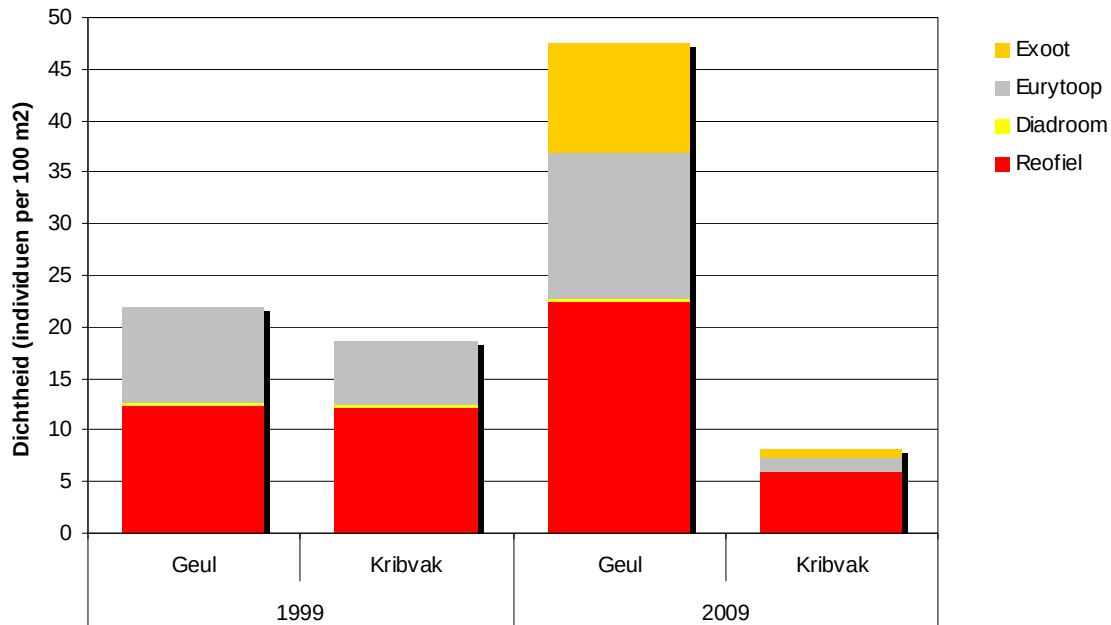
Het gemiddeld aantal soorten per trek is berekend, zodat dit los komt te staan van de bemonsteringsinspanning (Figuur 2.21). Het aantal soorten per trek in de nevengeul is in 2009 wat gestegen, voornamelijk door de aanwezigheid van de exoten. Met betrekking tot andere soorten blijft het aantal nagenoeg gelijk. Ook is duidelijk dat de nevengeul in Gameren in zowel 1999 als 2009 meer soorten herbergt dan de kribvakken.



Figuur 2.21 Gemiddeld aantal soorten per trek van de gilden exoot, eurytoop, diadroon en reofiel in de nevengeul van Gameren en nabije kribvakken in 1999 (zegen met maaswijdte 7.5 mm) en 2009 (zegen met maaswijdte 5 mm).

### 2.6.7 Dichtheden

Voor dichtheden geldt eveneens dat deze hoger zijn in de nevengeul dan in het kribvak (Figuur 2.22). In 2009 is de dichtheid in de nevengeul hoger dan in 1999, maar de verschillen wijzen er gezien het feit dat vangsten per jaar erg kunnen verschillen niet direct op dat de nevengeul beter is gaan functioneren. Dit wordt veroorzaakt doordat in succesvolle jaren zéér veel juveniele vis wordt geproduceerd, wat kan leiden tot een tijdelijke verhoging van dichtheden. Dit kan in het winterhalfjaar worden genivelleerd doordat veel jonge vis afsterft. Wel is te zien dat de dichtheid ten opzichte van het kribvak hoog is. Dit geeft aan dat de nevengeul van belang is voor het systeem aangezien dichtheden reofiele vis veel hoger zijn dan in het kribvak. De conclusie op basis van soortenrijkdom en dichtheden is dat nevengeulen na aanleg snel gekoloniseerd worden waarna er geen grote veranderingen opgetreden zijn. De belangrijkste veranderingen is de toename van exoten, die zich in het begin van de 21<sup>ste</sup> eeuw in het Rijnstroomgebied in rap tempo hebben verspreid.



Figuur 2.22 Gemiddeld dichtheid per trek van de gilden exoot, eurytoop, diadroon en reofiel in de nevengeul van Gameren en nabije kribvakken in 1999 (zegen met maaswijdte 7.5 mm) en 2009 (zegen met maaswijdte 5 mm).

## 2.7 Macrofauna in nevengeulen

### 2.7.1 Algemeen

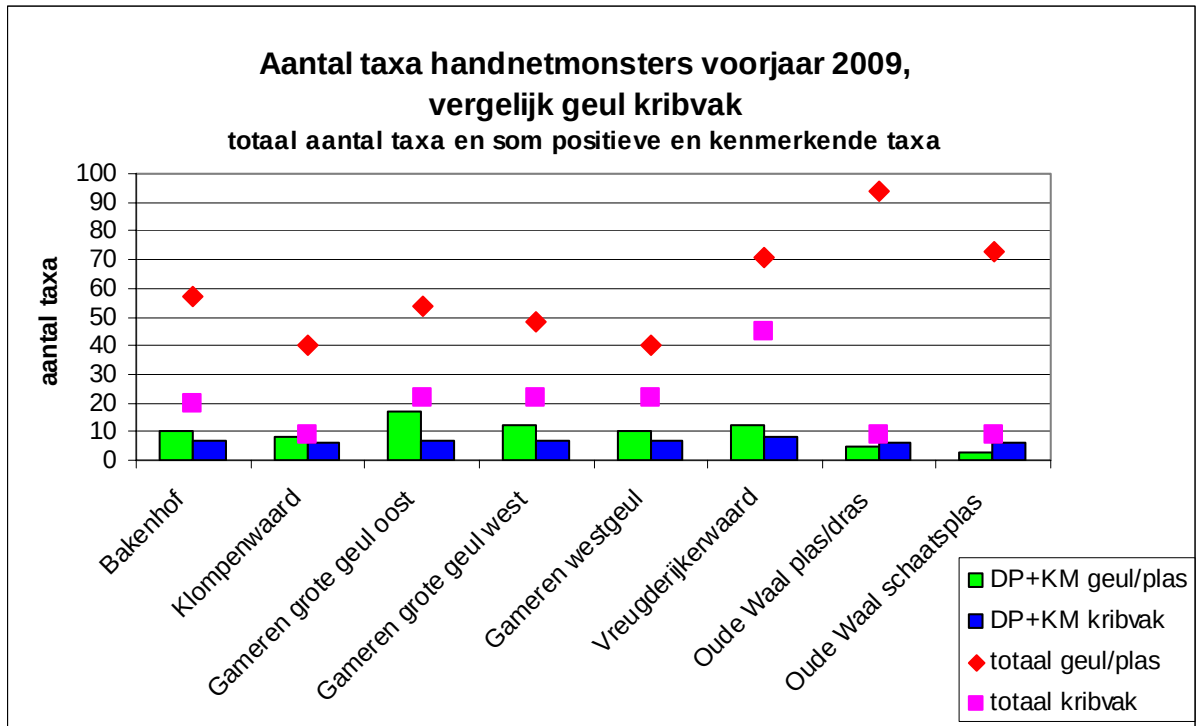
Om een oordeel te geven over de waterkwaliteit aan de hand van de macrofauna is per nevengeul het aantal taxa per hoofdgroep gepresenteerd van de voorjaarsmonsters van 2009. Het najaar van 2009 was zo droog dat de meeste geulen niet meestroomden met de rivier. Voor Gameren is er een langere tijdreeks aan macrofaunamonsters beschikbaar vanaf voor de aantakking (1998) tot 3 jaar erna (2001). Ook is de maatlat voor de Kaderrichtlijn water toegepast. Omdat deze maatlat weinig onderscheidend bleek is het aantal kenmerkende soorten en het aantal positieve soorten als indicator gebruikt.

### 2.7.2 Aantal taxa

Uit Figuur 2.23 blijkt dat alle kribvakmonsters beduidend lager scoren dan de monsters uit de nabijgelegen nevengeul (een nevengeul bevat gemiddeld 46 taxa, een kribvak 28). De handnetmonsters uit de nevengeulen Gameren (Oostzijde Grote Geul) en Vreugderijkerwaard scoren totaal gezien het best, gevolgd door het handnetmonster uit de nevengeul Bakenhof.



Wanneer wordt gekeken naar de nevengeul in relatie tot het waterlichaam waaraan de nevengeul ligt (nevengeulmonsters vergeleken met het nabijgelegen kribvakmonster) dan scoren Gameren Grote Geul (oostzijde) en de Bakenhof het best.



Figuur 2.23 Vergelijking van het aantal taxa tussen de nevengeul en aanpalende kribvak in de handnetmonsters in het voorjaar 2009.. DP = dominant positief; KM = kenmerkend.

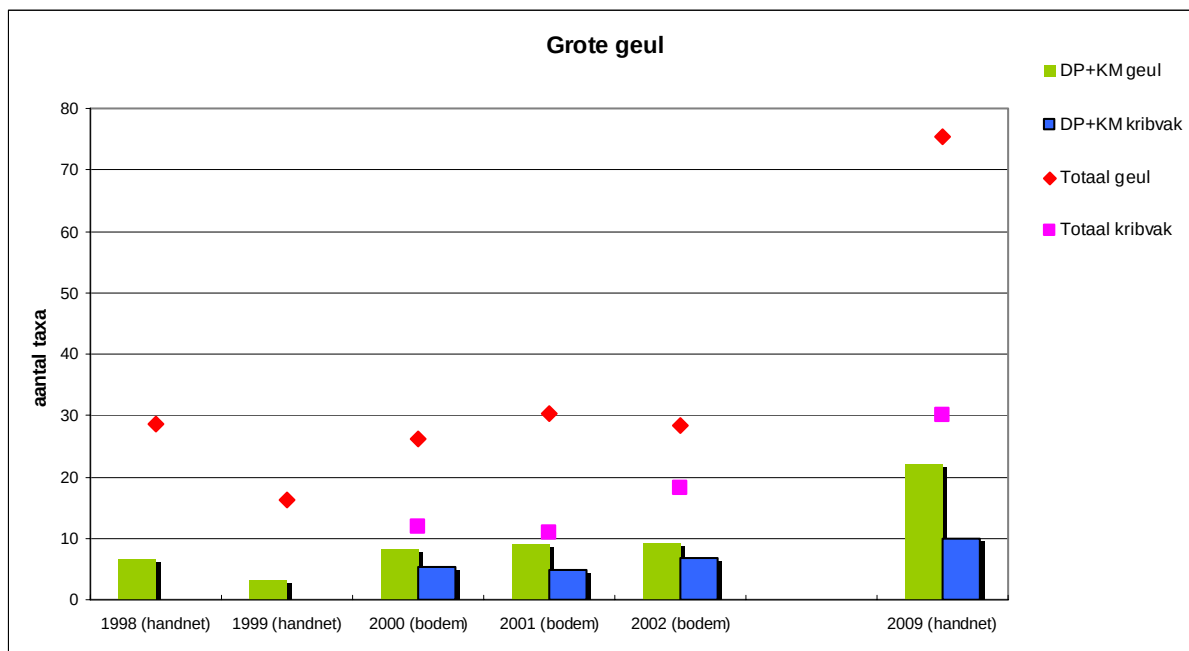
### 2.7.3 Bijzondere soorten

Opvallend is dat in de nevengeulen en plassen naar verhouding meer inheemse soorten voorkomen daar waar in de hoofdgeul voornamelijk exoten voorkomen. Wanneer wordt gekeken naar soorten die alleen in de nevengeulen worden aangetroffen en niet in de rivier zelf dan valt op dat een aantal families geheel ontbreken in de rivier zelf:

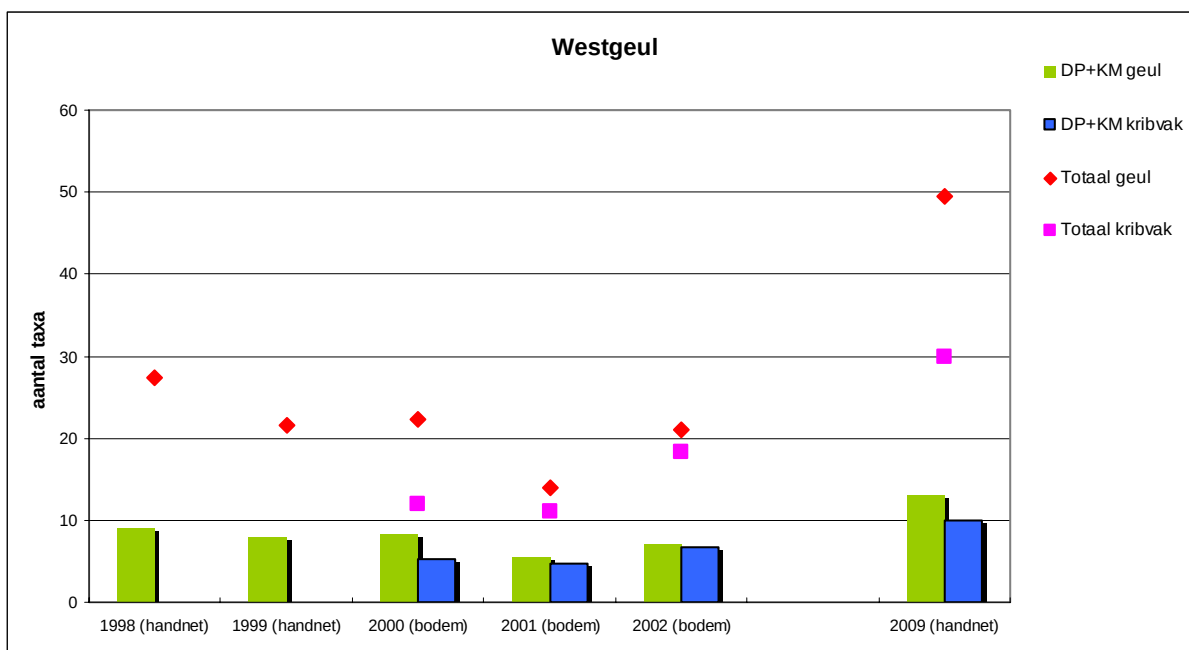
- Kevers: worden niet in de hoofdstroom aangetroffen, wel in de geulen bij Gameren en Vreugderijkerwaard.
- Haften zijn in dit onderzoek ook niet in de hoofdstroom aangetroffen en wel in de nevengeulen Bakenhof en Vreugderijkerwaard.
- Wantsen in de IJssel ter hoogte van de Vreugderijkerwaard is 1 exemplaar in de hoofdstroom tussen de planten aangetroffen, maar ze komen massaal voor in de geulen Bakenhof, Gameren, Klompenwaard en Vreugderijkerwaard.
- Kokerjuffers zijn ook aanwezig in de kribvakken maar de nevengeulen herbergen een aantal soorten die niet in de hoofdgeul zijn aangetroffen. De kokerjuffersoort *Psychomyia pusilla* is een soort die in de Rode Lijst vermeld staat als gevoelig.
- Overige tweevleugeligen (niet vedermuggen) worden voornamelijk in de nevengeulen aangetroffen en niet in de hoofdgeul.

## 2.7.4 Ontwikkeling in de tijd

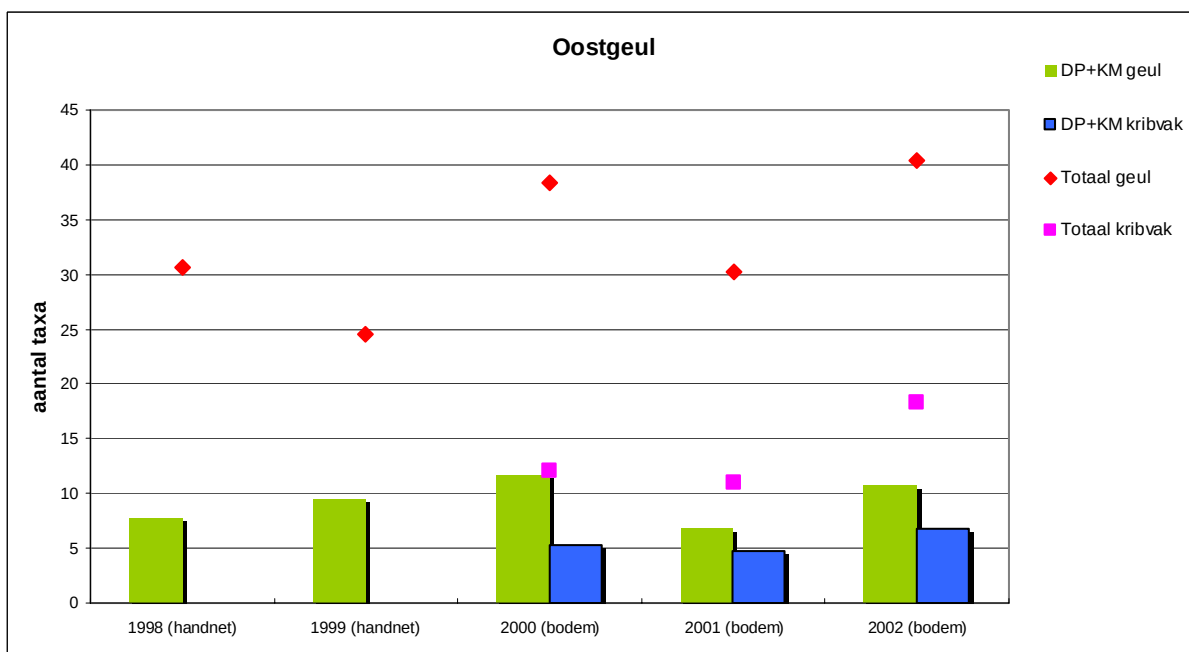
Van de nevengeul bij Gameren is een langere tijdreeks beschikbaar: van voor de aantakking (98/99) tot 2002 is jaarlijks gemonitord en in 2009 is er opnieuw gemonitord. De kribvakken zijn pas vanaf 2000 gemonitord.



Figuur 2.24 Aantal taxa van dominant positieve en kenmerkende soorten (balken) en totale aantallen voor de grote geul (Gameren) en het nabijgelegen kribvak.



Figuur 2.25 Aantal taxa van dominant positieve en kenmerkende soorten (balken) en totale aantallen voor de Westgeul (Gameren) en het nabijgelegen kribvak.



Figuur 2.26 Aantal taxa van dominant positieve en kenmerkende soorten (balken) en totale aantallen voor de Oostgeul (Gameren) en het nabijgelegen kribvak.

Het aantal indicerende taxa is in de grote geul en de oostgeul toegenomen na aantakking van de geulen, in 2009 worden vooral in de grote geul veel indicerende soorten gevonden, ook het totaal aantal taxa in dit jaar ligt een stuk hoger dan in de eerste meetreeks (Figuur 2.24; Figuur 2.25 en Figuur 2.26). Blijkbaar heeft de geul zich positief doorontwikkeld na de eerste vijf jaar. Let wel, de bemonsteringsmethode is verschillend (eckmanhapmonsters versus handnetmonsters) dit kan een deel van de toename verklaren. In de westgeul verschilt het aantal taxa de eerste jaren na aantakken niet veel van het kribvak, de westgeul lijkt qua substraat en dynamiek ook het meest van de drie geulen op een kribvak, en de scheepvaart heeft behoorlijke invloed op de stroming in deze geul. Toch ontwikkelt ook deze geul zich blijkbaar door tot een aanwinst ten opzichte van de kribvakken, in 2009 ligt het aantal taxa in de geul veel hoger dan in het kribvak. De oostgeul is in 2009 niet bemonsterd omdat die inmiddels helemaal dichtgezaaid is. De monsters uit eerdere jaren laten de winst van een geul die slechts 80-100 dagen per jaar meestroomt ten opzichte van het kribvak duidelijk zien, verrassend genoeg ook voor de indicerende (vaak stromingsminnende) soorten.

#### 2.7.5 Aantal organismen

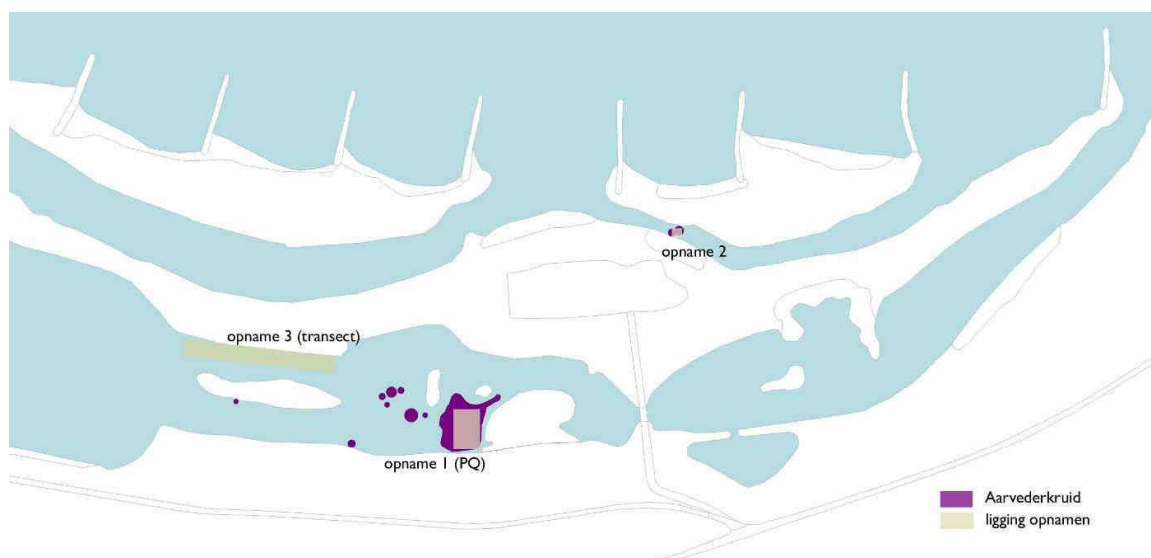
Het aantal organismen zegt iets over de hoeveelheid voedsel dat beschikbaar is voor andere dieren (vissen vogels maar ook andere macrofauna soorten). De bemonstering is niet geheel kwantitatief uitgevoerd (handnet 10 maal 0,5 meter of 5 stenen waarvan de maat opgenomen is) maar zowel in het veld als in het lab is geconstateerd dat de geulmonsters veel meer organismen bevatten dan de kribvakmonsters.

Voor macrofauna levert de nevengeul dus in alle gevallen een meerwaarde op ten opzichte van de rivier zelf. Toch is het voor de ecologie niet altijd de beste oplossing. Ter vergelijking is ook de levensgemeenschap in een niet aangetakt systeem, de Oude Waal bij Nijmegen, bepaald. Hier is zowel een plas dras gebied bemonsterd als een permanente plas, de schaatsplas. Het plas dras gebied stroomt bij hoog water vol en valt daarna geleidelijk droog. In deze niet aangetakte systemen worden nog meer soorten gevonden dan in nevengeulen, dit zijn echter vooral stilstaand water soorten. Ook deze wateren zijn belangrijk voor de biodiversiteit van het rivierengebied. Daarom is het soms beter voor de ecologie geen nevengeul aan te leggen en een niet aangetakte plas te laten bestaan of aan te leggen. Dit zou bijvoorbeeld voor de Klompenwaard kunnen gelden.

## 2.8 Waterplanten in nevengeulen

#### 2.8.1 Gameren

In de Gamerense waard bevonden zich in de zomer van 2009 achter een zandwaaier velden Aarvederkruid (zie Figuur 2.27). Daarnaast zijn in de Oostgeul enkele andere soorten aangetroffen, zoals pijlkruid en zwanenbloem. Alle gevonden water- en oeverplanten zijn terug te vinden in Tabel 2.8. Peters & Kurstjens (2009) voeren aan dat de nevengeul weliswaar geschikt is voor waterplanten, gezien het feit dat het water vrij helder is en peilvariatie niet zeer sterk is.



Figuur 2.27 Ligging van de trajecten en aangetroffen velden aardvederkruid in de zomer van 2009 (Peters & Kurstjens, 2009).

Tabel 2.8 Gevonden water- en oeverplanten in de Gamerense waard, zomer 2009.

| Soort         | Latijnse naam                  | Oever / waterplant |
|---------------|--------------------------------|--------------------|
| Veenwortel    | <i>Persicaria amphibia</i>     | Oever              |
| Aarvederkruid | <i>Myriophyllum spicatum</i>   | Water              |
| Draadwier     | <i>Draadwier</i>               | Water              |
| Kleine kroos  | <i>Lemna minor</i>             | Water              |
| Pijlkruid     | <i>Sagittaria sagittifolia</i> | Water/oever        |
| Zwanenbloem   | <i>Butomus umbellatus</i>      | Water/oever        |

### 2.8.2 Klompenwaard

In de Klompenwaard zijn in de zomer van 2009 geen waterplanten aangetroffen. Volgens Peters & Klink (2009) kan dit het gevolg zijn van de sterke waterstandsvariatie gedurende het groeiseizoen in dit traject. In tabel 2.2 is ook te zien dat de binnenjaarlijkse variatie zo'n 6,3 m per jaar bedraagt. Daarnaast is het water troebel: het doorzicht is gemiddeld slechts 21 cm (Dorenbosch et al., 2009). Mogelijk is dit het gevolg van opwerveling van slib door scheepvaartgolven. Ook snijdt de strang diverse slibbanken aan.

### 2.8.3 Bakenhof

De Bakenhof is zeer arm aan waterplanten. Bij bemonstering in de zomer van 2009 zijn zeer kleine hoeveelheden aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) aangetroffen. Ook is watschedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) en draadwier (flab) aangetroffen (zie Peters & Kurstjens, 2009). De waterstandsvariaties zijn hier aanzienlijk lager, dus dit lijkt niet de oorzaak. Wel spelen het feit dat de geul grotendeels is drooggevalen in de nazomer van 2009 en het troebele karakter (gemiddeld 35 cm doorzicht) een rol.

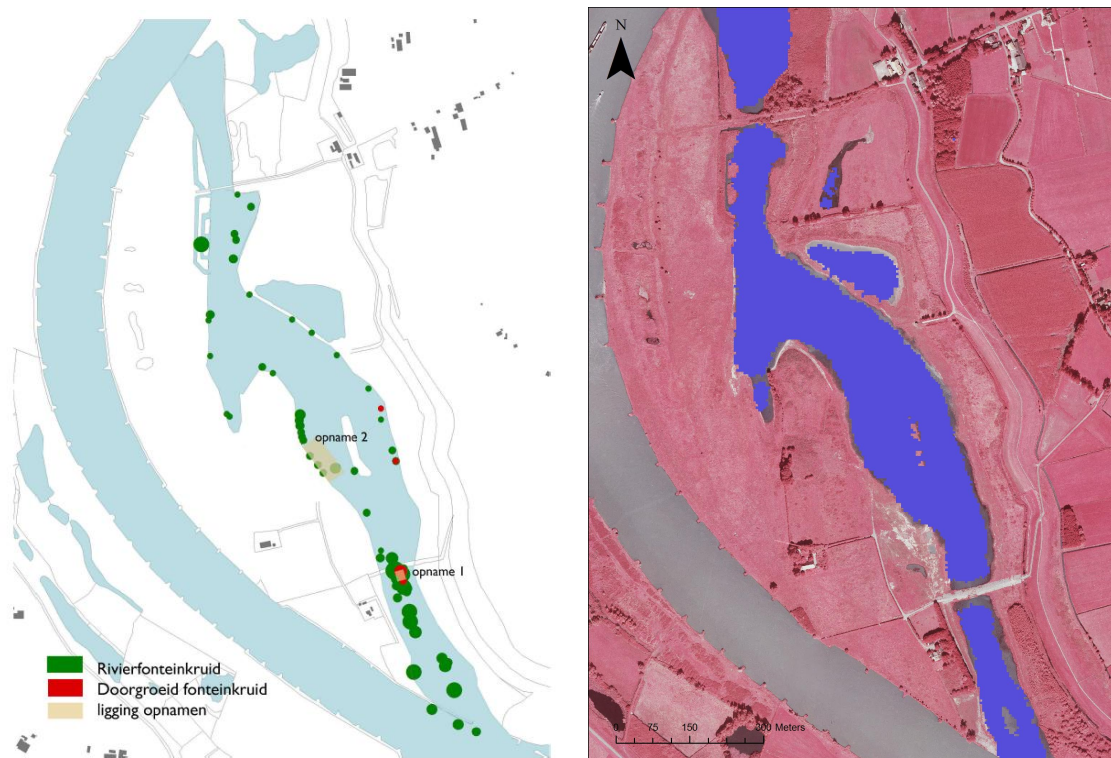


#### 2.8.4 Vreugderijkerwaard

Waterplanten die in de zomer van 2009 zijn aangetroffen in de nevengeul van de Vreugderijkerwaard zijn weergegeven in Tabel 2.9. De vindplaatsen van rivierfonteinkruid en doorgroeid fonteinkruid zijn daarnaast weergegeven in Figuur 2.18. De Vreugderijkerwaard is, in tegenstelling tot de eerder besproken geulen opvallend rijk aan waterplanten. Met name aarvederkruid, maar ook rivierfonteinkruid (kenmerkend voor grote rivieren), schedefonteinkruid en doorgroeid fonteinkruid (eveneens kenmerkend) kwamen in grote hoeveelheden voor. De nevengeul ligt verder stroomafwaarts in de rijntakken, waardoor de jaarlijkse waterstandsfluctuaties hier veel lager zijn. Ook is het doorzicht een stuk hoger (gemiddeld 57 cm). Daarnaast bevat de IJssel enkele relictpopulaties van bijvoorbeeld doorgroeid fonteinkruid. Opvallend is ook dat de noordzijde van de geul nauwelijks waterplanten bevat (zie ook Figuur 2.18), wat mogelijk het gevolg is van graas door ganzen, die het water gemakkelijk kunnen bereiken vanaf de kale oevers.

Tabel 2.9. Gevonden water- en oeverplanten in de Vreugderijkerwaard (zomer 2009).

| Soort                    | Latijnse naam                      | Oever / waterplant |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Blauwe waterereprijs     | <i>Veronica anagallis-aquatica</i> | Oever              |
| Grote kattenstaart       | <i>Lythrum salicaria</i>           | Oever              |
| Kalmoes                  | <i>Acorus calamus</i>              | Oever              |
| Klein vlooienkruid       | <i>Pulicaria vulgaris</i>          | Oever              |
| Moerasvergeet-mij-nietje | <i>Myosotis palustris</i>          | Oever              |
| Watermunt                | <i>Mentha aquatica</i>             | Oever              |
| Waterpeper               | <i>Persicaria hydropiper</i>       | Oever              |
| Aarvederkruid            | <i>Myriophyllum spicatum</i>       | Water              |
| Doorgroeid fonteinkruid  | <i>Potamogeton perfoliatus</i>     | Water              |
| Draadwier                | <i>Draadwier</i>                   | Water              |
| Kleine kroos             | <i>Lemna minor</i>                 | Water              |
| Rivierfonteinkruid       | <i>Potamogeton nodosus</i>         | Water              |
| Schedefonteinkruid       | <i>Potamogeton pectinatus</i>      | Water              |
| Tenger fonteinkruid      | <i>Potamogeton pusillus</i>        | Water              |
| Zwanenbloem              | <i>Butomus umbellatus</i>          | Water/oever        |



*Figuur 2.28 Links, voorkomen van waterplanten in de Vreugderijkerwaard. Rechts, oppervlakte met waterdiepte kleiner dan 2m in het voorjaar in de Vreugderijkerwaard. In waterdiepten groter dan 2 m vestigen zich meestal geen waterplanten in stromende wateren. De hele geul is ondiep en is in potentie geschikt voor waterplanten. Graas van ganzen lijkt een oorzaak te zijn voor het minder voorkomen van waterplanten na het regelwerk.*



### 3 Deel 3: De nevengeul, afweging ecologie ten opzichte van randvoorwaarden

#### 3.1 Wat hebben we geleerd van de bestaande nevengeulen wat betreft hun ontwerp en functioneren?

Hieronder kort de conclusies uit de veldgegevens in vergelijking met de bestaande kennis uit Deel 1.

##### *Werking ten opzichte van de hoofdgeul*

De meestromende geulen uit het onderzoek bieden habitat aan (juvenile) stroomminnende vissoorten en laten voor macrofauna een grotere soortenrijkdom zien binnen de geul in vergelijking met de aanpalende kribvakken. Waterplanten vestigen zich op sommige locaties in kribvakken en geulen, maar vestiging lijkt afhankelijk van de waterstandvariatie in het riviertraject en mogelijke begrazing door vogels vanaf grasoevers.

##### *Connectiviteit*

Op basis van buitenlandse ervaringen, neemt de soortenrijkdom van stroomminnende vis toe naarmate de geul een groter deel van het jaar meestroomt, met als keerpunt ongeveer 10 maanden waarboven de soortenrijkdom aan stroomminnende vis snel toeneemt.

Dit beeld wordt bevestigd in de bestaande Nederlandse geulen die nagenoeg het hele jaar meestromen; hier is het aandeel individuen stroomminnende juvenile vis het grootst (Grote geul en west geul Gameren en Vreuderijkerwaard). Een uitzondering is de Bakenhof, deze is wel het hele jaar aangetakt, maar is de stroming waarschijnlijk in grote delen van het jaar te gering. De Bakenhof heeft voor vis een abundantie en soortensamenstelling die past bij een meer stilstaand en aangetakt water met slibbodem. De stroming in de Bakenhof wordt beïnvloed door de werking van een stuw stroomafwaarts. Hieruit blijkt dat aantakking alleen niet voldoende is voor een optimale werking van de geul voor stroomminnende soorten.

De resultaten uit de 'Klompewaard' bevestigen ook dat het aandeel stroomminnende vis laag is wanneer een geul niet meestroomt, al wordt er net als in de Bakenhof wel juvenile Winde aangetroffen.

Op basis van de bestaande geulen kan geen kritische ondergrens worden bepaald. Altijd meestromen is het meest optimaal. Plausibel is een grens waarbij stroming wordt gegarandeerd tot de juvenile vis groot genoeg is om naar de hoofdstroom te trekken, zo ongeveer einde van de zomerperiode. Vanwege de lage afvoeren in deze periode moet de geul zeker 10 maanden meestromen om hieraan te kunnen voldoen.

##### *Stroomsnelheid*

De gemiddelde stroomsnelheid varieert sterk tussen de geulen (8 tot 22 cm/s), en ook de stroomsnelheid binnen de geulen varieert sterk (0 tot 200 cm/s). Alle gemiddelde stroomsnelheden zijn lager dan wat in op basis van de veldgegevens is geen duidelijke conclusie te trekken over de benodigde stroomsnelheid voor habitat voor stroomminnende soorten. Opvallend is dat de voor reofiele soorten best functionerende geulen wel een relatief constante stroomsnelheid hebben bij hogere en lagere waterstanden (dus constant in de lente en zomer). Regelwerken en eilanden zorgen voor een lokaal hogere stroomsnelheid en dragen zo bij aan de stroomsnelheidsvariatie in de geul.

In de Bakenhof varieert de stroomsnelheid door de werking van een stuw, dit resulteert in perioden met nauwelijks stroming en dat is waarschijnlijk de reden voor de lage dichtheid aan soorten en aantallen stroomminnende vis.

## *Waterdiepte*

Het grootste deel van de geulen is ondiep, behalve de aangetakte plas in de grote geul bij Gameren maar deze is verondiept door middel van specieberging. De waterdiepte is vooral van belang voor de vestiging van waterplanten. Erosie van de bodem achter regelwerken (Gameren, Vreugderijkerwaard en Bakenhof) heeft verderop in de geul voor ondiepere delen gezorgd (best zichtbaar in Gameren). Dit bevordert de vorming van habitat voor waterplanten en variatie in stroomsnelheid. De mogelijkheden worden echter mede bepaald door de waterstandvariatie in de rivier.

## *Substraat*

Op basis van de gegevens kunnen geen directe conclusies worden getrokken over het effect van substraat in de geul op soorten. Over het algemeen is een stromende nevengeul over zand het gewenste beeld langs de rijntakken. Een goede doorstroming moet er voor zorgen dat opslibbing van de geul wordt tegengegaan..

Enige substraatvariatie in de geul kan worden bereikt door herverdeling van sediment uit bronnen in de geul of rivier, zoals eroderende oevers of bewust aangelegde erosieplaatsen. Hierdoor ontstaan diepteverschillen en sediment wordt gesorteerd door stroomsnelheidsverschillen. Ook dood hout in de geul kan voor stroom- en substraatvariatie zorgen, direct (het is zelf substraat) en indirect (zorgt voor stroomsnelheidsverschillen en sedimentsoortering), en misschien zelfs voor eilandvorming.

## *Regelwerk*

De best functionerende geulen hebben een open constructie. Voorbeelden zijn Gameren en de Vreugderijkerwaard, waar de open constructies gecombineerd zijn met een brug. De Bakenhof heeft ook een open constructie, maar de ontwikkeling wordt daar sterk beïnvloed door het gestuwde karakter van dit riviertraject.

De meest bepalende factoren zijn de mate van meestromen (#maanden), de stroomsnelheid en verdeling daarvan en als negatieve factor eventuele opslibbing van de geul. Een hoge drempel zoals bij de Klompenwaard is niet gewenst, maar niet vanwege de constructie an sich, alleen vanwege de werking. Wel valt op dat bij hogere drempels (zoals de Oostgeul van Gameren), de geul verzandt tot aan de hoogte van de drempel.

Een diepe duiker heeft invloed op de sedimentaanvoer (Figuur 1.22), zeker de zogenaamde flotation load en washload zullen dan niet meer in de geul terechtkomen. In deze lagen kunnen ook biota zitten zoals drijvend hout, macrofauna (los of op drijvend hout), zaden, delen van planten, en wellicht visbroed. Het is onbekend wat het effect is op de ecologie van de nevengeul.

## **3.2 Overzicht aandachtspunten voor het ontwerpen van geulen**

Voor het plannen en aanleggen van geulen is moeilijk een vast recept te geven, alles hangt af van de uitgangssituatie ter plekke. Voor op ecologie gerichte maatregelen staat een aantal aandachtspunten hieronder; grofweg van grootschalig naar kleinschalig, dit kan als checklist dienen bij de keuze voor een nevengeul of niet, en het uiteindelijk ontwerp.



**1. In wat voor een landschap komt de toekomstige geul? Is het plangebied een logische plek voor een nevengeul gedacht vanuit de rivier en het landschap? Zorg voor habitatdiversiteit in de rivier.**

Denk hierbij op het schaalniveau van de verschillen tussen de riviertrajecten. Elke riviertraject heeft zijn eigen karakter wat de keuzemogelijkheden voor inrichting bepaalt en beïnvloedt. Bijvoorbeeld een nevengeul aanleggen in stuwpanden langs de Maas of Neder-Rijn/lek is voor reofiele vis niet zinvol; hier overheersen meer stromingsluwe omstandigheden waarbij de ecologie is gebaat bij ontwikkeling van waterplanten in ondiepe delen. In de handreiking "kwaliteitsprincipes uiterwaardinrichting" (Bureau Drift, 2009) zijn de mogelijkheden voor aanleg van geulen langs de Maas en Rijntakken goed uitgelegd. Hier wordt specifiek voor nevengeulen beschrijven of een nevengeul past in verschillende trajecten en welke lokale processen (denk bijvoorbeeld aan lokale kwel) bij het ontwerp betrokken kunnen worden. Aanbevolen wordt voor deze stap eerst deze handreiking te volgen. Een en ander is natuurlijk afhankelijk van de vrijheid die de opdrachtgever meegeeft, maar een nevengeul die niet of nauwelijks kan stromen is zeker minder of niet effectief voor aquatische ecologie of zal snel door overheersende processen op- of dichtslibben. Advies in dit geval: beargumenteer naar de opdrachtgever waarom een geul niet optimaal past, stel een alternatief voor, en verwijst naar dit handboekje.

**2. Randvoorwaarden: scheepvaart en afvoercapaciteit.**

Verken de mogelijkheden op deze plek; wat zijn de randvoorwaarden die het ontwerp van de geul beïnvloeden? Zijn de vrijheden erg beperkt, kijk dan ook naar alternatieven zoals een eenzijdig aangetakte strang of leg een geul aan die snel verzandt zodat wel een ecologisch proces in gang wordt gezet maar geen langdurige effecten voor de scheepvaart heeft. Het kan zijn dat de compromissen zodanig zijn, dat weinig ruimte is voor stroming in een nevengeul. Als dat blijkt, houdt dan niet vast aan een stromende nevengeul, maar onderzoek andere alternatieven die wellicht de lokale ecologie beter kunnen versterken.

**3. Connectiviteit of mate van verbinding met de hoofdgeul**

Een geul moet minimaal tot einde zomer kunnen meestromen of dat in de meeste jaren doen. Hoe minder vaak dat voorkomt gedurende de jaren des te minder effectief de geul is als stromend habitat. Wanneer is deze niet meer effectief? De geul wordt voor reofiele soorten vis snel minder effectief wanneer deze gemiddeld minder dan 10 maanden per jaar meestroomt.

**4. Stroomsnelheid en stromingsvariatie**

Een stromende nevengeul moet stromen. Een echte ondergrens is er niet, bestaande geulen functioneren al bij gemiddeld<sup>1</sup> 6-20 cm/s bij afvoeren van 2000-2650 m<sup>3</sup>/s, met een standaard variatie van 3 tot 5 keer de gemiddelde snelheid. In snelstromende delen (buiten de regelwerken) zijn stroomsnelheden 40-50 cm/s of hoger (bij 2650 m<sup>3</sup>/s). De best functionerende geulen hebben de gehele aangetakte periode stromend water en een relatief constant stromingsregime.

---

<sup>1</sup> Hierbij is de diepte gemiddelde stroomsnelheid vlakdekkend voor de nevengeul berekend, en daaruit de gemiddelde stroomsnelheid voor het hele geuloppervlak.

## *Stuwen*

In gestuwde delen geen stromende nevengeul plaatsen, omdat stroomsnelheden daar in de hoofdgeul laag zijn. Richt je hier op het versterken van de ecologische mogelijkheden die een gestuwd karakter horen, bijvoorbeeld waterplantenontwikkeling (denk wel aan punt 4).

## *Grootte van een geul*

Een geul hoeft voor ecologie niet groot en breed te zijn, kleiner maar optimaler voor connectiviteit en stroomsnelheid geeft een beter resultaat dan groter en minder optimaal. Wanneer volgens berekeningen een grote geul teveel water zou gaan onttrekken aan de hoofdgeul om aan punten 3 en 4 te voldoen overweeg dan meerdere kleinere geulen of geen geul.

## **5. Waterdieptevariatie**

Waterstandvariatie is ten eerste riviertraject-afhankelijk en in sommige trajecten is hierdoor van nature een verlaagde kans op waterplanten. Een geul hoeft niet per se waterplanten te bevatten om toch habitat te verschaffen aan stromingsminnende vis of macrofauna. Dat blijkt uit de waarnemingen in de bestaande nevengeulen. Verder is de waterdiepte van belang. Deze is afhankelijk van de bodemligging van de geul en is vaak diep in aangetakte plassen. Wanneer mogelijk, verondiep diepe plassen in het ontwerp maar maak niet alles ondiep. Zorg in het ontwerp voor ook voldoende waterdiepte variatie en stromend habitat bij lagere waterstanden (<2000 m<sup>3</sup>/s Boven-Rijn afvoer).

## *Dood hout*

Een van de eenvoudigste manieren om diepte variatie te krijgen is toestaan van dood hout in de stromende geul. Hieromheen zal automatisch door stroming, erosie en sedimentatie een dieptevariatie ontstaan.

## **6. Variatie aan sediment / substraat**

Variatie aan sediment en substraat heeft een sterk positieve invloed op de macrofauna gemeenschap. Door variatie in stroomsnelheid en mogelijkheden voor erosie zal de ruimtelijke variatie binnen het sediment ook toenemen. Ook hier is het toestaan van dood hout een eenvoudige maatregel om substraat variatie te krijgen. Het dode hout is zelf substraat (en thans nauwelijks aanwezig!) en geeft door beïnvloeding van de stroming en sedimentatie, substraatvariatie rond het dode hout.

**Overmatige aanslibbing.** Voorkom aanslibbing, vaak een combinatie van suboptimale punten 3 en 4 of een verkeerde locatie keuze bij punt 1. Wanneer grootschalige aanslibbing in het ontwerp niet is te voorkomen, overweeg dan geen nevengeul aan te leggen of de sedimentatie als proces te accepteren (zoals Oostgeul bij Gameren) en de doelstellingen hierop aan te passen.

## **7. Variatie aan oevers en oeverbegroeiing**

Ga bij de vormgeving uit van mogelijke processen die voor een gevarieerd oeverprofiel gaan zorgen; bijvoorbeeld mogelijkheden voor erosie/sedimentatie. Leg de geul niet precies aan, maar laat de rivier het werk doen, zowel bij flauwe als steilere oevers.

Het ondergraven van bestaande bomen die daardoor in de geul terechtkomen, kan zeker in kleinere geulen voor substraat variatie en variatie in stroomsnelheid zorgen. Als het mogelijk is, laat dan een steile oever zelf ontstaan of doorontwikkelen in de buitenbocht van een geul.

Oevers kunnen steil, flauw, begroeid of kaal zijn. Aangezien bij de laatste optie wilgenopslag verwacht kan worden, moet de veronderstelde toekomstige vegetatieontwikkeling en daarmee gepaard gaande stromingsweerstand worden meegenomen in het ontwerp. Beschaduwing van de geul door steile oevers of beboste oevers, is een positieve habitat factor voor invertebrate soorten. Verder kan een steile of door wilg begroeide oever inloop van ganzen of grote grazers voorkomen (ten gunste van waterplanten en bodem substraat).

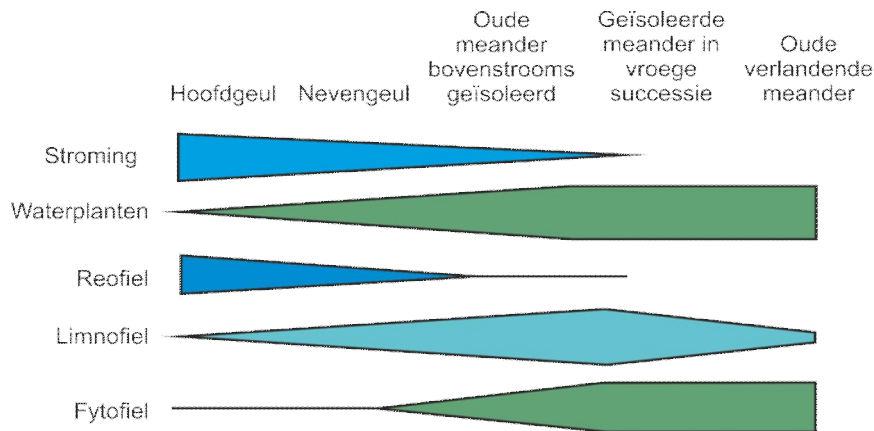
**8. Niet alles aanleggen! Maak het ontwerp niet te technisch en laat de rivier het werk doen en anticipeer op lokale processen zoals sedimentatie en erosie.**

Dit laatste punt komt vaak terug in literatuur over rivierherstel, het is de kunst dit in een ontwerp op te nemen. Een technisch ontwerp met een hoog compromisgehalte zal vaak tot een ecologisch minder effectief resultaat leiden doordat spontane (morfologische) processen niet meer kunnen of mogen. Juist een zich ontwikkelende geul geeft uiteindelijk het beste resultaat, zelfs als de geul niet meer voldoet aan de meestromende doelstelling. Het is dan beter dit proces te laten gaan en in de tussentijd ergens anders weer een stromende geul aan te leggen. Kom dan in de toekomst (30-50 jaar) terug en heropen de verzande geul.

### **3.3 Beheer / Cyclisch beheer**

Voor nevengeulen zijn de mogelijkheden om zichzelf te kunnen ontwikkelen erg belangrijk. Hierdoor kunnen hydromorfologie en ecologie optimaal integreren. In dit rapport zijn hiervoor verschillende handreikingen gegeven. De oudste bestaande geulen zijn zo'n 15 jaar geleden gegraven. Door het toelaten van hydromorfologische en ecologische processen zijn de geulen langzaam en soms met horten en stoten veranderd. Ze blijven veranderen maar functioneren voor de ecologie nog altijd op de manier waarop zij zijn aangelegd. Jans (2004) concludeert voor Gameren dat grootschalig onderhoud de komende jaren zeker niet nodig is. Ook nu (6 jaar later) geldt dat nog steeds. De schatting is dat, los van onderhoud aan lokale kunstwerken of instroomopeningen, grootschalig onderhoud om de ecologisch meestromende en rivierverruimende functie van geulen op peil te houden zeker de eerste 20 jaar en waarschijnlijk zelfs langer niet nodig is.

De vraag is wat voor type onderhoud op de langere termijn wel gepleegd moet worden? Dat hangt af van de doelstellingen die aan een nevengeul zijn gekoppeld. Heeft de geul een rivierverruimende functie, dan zal de afname van afvoercapaciteit een belangrijk criterium zijn. Meestal wordt de afname van afvoer in belangrijke mate door toename van vegetatie in de uiterwaard en op de oevers veroorzaakt. Dus niet direct door het aquatische deel van de nevengeul. Onderhoud kan zich dan beperken tot juist die delen van de uiterwaard.



*Figuur 3.1 Ecologisch karakter van nevengeulen in successiereeks van stromende geul naar meer geïsoleerd water. De volledige ontwikkelingstijd van een nevengeul tot verlandende meander kan honderden jaren in beslag nemen.*

Vanuit ecologisch perspectief is onderhoud aan een goed ontworpen nevengeul helemaal niet noodzakelijk. Afhankelijk van de lokale omstandigheden zal een geul zich kunnen ontwikkelen, zoals waterplanten die zich na 10 jaar in de Gamerensche geul vestigden. Bij een goed ontworpen geul zou het 30 tot 50 jaar kunnen duren voordat het stromende karakter grotendeels is verdwenen. Hierdoor zal het water habitat bieden aan steeds andere soorten, zie Figuur 3.1. Juist wateren die zich over lange tijden hebben kunnen ontwikkelen, worden nu als erg waardevol beschouwd. De oudste strangen in de huidige uiterwaarden zijn honderden jaren oud. Kortom, vanuit ecologisch perspectief is het wenselijk om een geul als start van een langjarige ontwikkeling te zien, en niet als korte termijn doelstelling. Wanneer op de langere termijn (50 jaar) stromend habitat in de uiterwaarden moet worden behouden, kunnen of nieuwe geulen worden aangelegd, of sommige oudere worden open gegraven als vorm van cyclisch beheer. Zo ontstaat langzaam een rivierenlandschap met een mozaïek aan oude en jonge elementen, en met een rijke natuur.



## 4 Literatuur

- De Rooij, J., R. Munts, B. Achterkamp & A. Kersbergen, 2010. Macrozoöbenthosonderzoek Nevengeulen 2009. Bakenhof, Gameren, Klompenwaard, Oude waal en Vreugderijkerwaard. Bureau Waardenburg B.V., Wageningen, 110 pp.
- Dekker van der Kamp, 2008. Gamerensche Waarden verondiepen plas met herbruikbare waterbodems. Dekker van der Kamp, Elst.
- Dorenbosch, M., N. van Kessel, J. Kranenbarg, F. Spikmans, W.C.E.P. Verberk & R.S.E.W. Leuven, 2011. Nevengeulen in uiterwaarden als kraamkamer voor riviervissen. Nederlands Centrum voor Natuuronderzoek: Stichting RAVON, Stichting Bargerveen, Radboud Universiteit Nijmegen en Natuurbalans – Limes Divergens, Nijmegen.
- Downs, P., 2001. Fluvial geomorphological analysis of the recruitment of large woody debris in the Yalobusha River network, Central Mississippi, USA. *Geomorphology*, 37(1-2), pp.65-91. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X00000635>.
- Gordon, N.D. et al., 2004. *Stream Hydrology; an introduction for ecologists* 2nd ed., Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Grift, R., 2001. How fish benefit from floodplain restoration along the lower River Rhine. Wageningen Univ. Available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2001/NL/NL01034.xml;NL2001004279>
- Grift, R.E., A.D. Buijsse, J.G.P. Klein Breteler & W.L.T. van Densen, 1998. Kansen voor stroomminnende vissen. Methodiek voor de bemonstering van de visgemeenschap in uiterwaarden. Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- He, Z., Wu, W. & Shields Jr, F.D., 2009. Numerical analysis of effects of large wood structures on channel morphology and fish habitat suitability in a Southern US sandy creek. *Ecohydrology*, 2(3), p.370–380.
- Karin Didden & Jan Kranenbarg, 2010. Visonderzoek Gamerensche Plas; eerste inventarisatie na uitvoering van 85% van de verondiepingsmaatregelen. RAVON, Nijmegen
- Petts & Amoros. *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall. London.
- Piegay, H. et al., 2000. Physical and Human Factors Influencing Potential Fish Habitat Distribution along a Mountain River, France. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 82(1), pp.121-136. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0435-3676.2000.00117.x>.
- Rijkswaterstaat, 2010. Richtlijn projectmonitoring, Inrichtingsprojecten Rijkswateren. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad. Bureau Waardenburg, Culemborg. 209p.
- Schiemer, F., Hein, T. & Reckendorfer, W., 2007. Ecohydrology, key-concept for large river restoration. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 7(2), pp.101-111. Available at: <http://psjc.icm.edu.pl/psjc/cgi-bin/getdoc.cgi?AAAA01992> [Accessed January 17, 2011].
- Shields, F.D., Roger, JR., Smith, H., xxxx. LARGE WOOD ADDITION FOR AQUATIC HABITAT REHABILITATION IN AN INCISED, SAND-BED STREAM, LITTLE TOPASHAW CREEK, MISSISSIPPI.
- Van der Molen, D.T. & R. Pot (red.), 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke wateren voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA, Utrecht.
- Gebied / Royal Haskoning, Nijmegen.



- Verdonschot, P.F.M., 2010. Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving. Flexibele toepassing van het 5-B-concept in Peel en Maasvallei. Alterra Wageningen UR. 64 pp. ISBN 978-90-327-0379-0.
- Jans, L. H., 2004. Evaluatie nevengeulen Gamerensche Waard 1996 - 2002. Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.