

Evaluatie Nevengeulen

Gertjan Geerling
Leon van Kouwen

1201474-000

Titel

Evaluatie Nevengeulen

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

Project

1201474-000

Pagina's

73

Trefwoorden

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

Samenvatting

Tekst voor te drukken handboekje voor het ontwerpen van nevengeulen langs de grote rivieren.

Referenties

Type hier de referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2010	Gertjan Geerling		Tom Buijse			
		Leon van Kouwen					

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

Voorwoord	1
1 Deel 1: Ecologie en hydromorfologie van Nevengeulen	2
1.1 Wat zijn nevengeulen?	2
1.2 Riviertakken	3
1.3 Ecologie	6
1.3.1 Waterplanten	6
1.3.2 Macrofauna	8
1.3.3 Vis	10
1.4 Ecohydromorfologie	12
1.4.1 Connectiviteit	12
1.4.2 Stroming	15
1.4.3 Waterdiepte variatie	16
1.4.4 Substraatvariatie	18
1.4.5 Regelwerk	21
1.4.6 Oeverbegroeiing	23
2 Deel 2: Nevengeulen langs de Rijntakken	26
2.1 Bestaande geulen in Rijntakken	26
2.2 Gameren	27
2.2.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg	27
2.2.2 Hydraulische en morfologische aspecten	28
2.2.3 Ecologische aspecten	30
2.3 Klompenwaard	34
2.3.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg	34
2.3.2 Hydraulische en morfologische aspecten	35
2.3.3 Ecologische aspecten	36
2.4 Bakenhof	40
2.4.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg	40
2.4.2 Hydraulische en morfologische aspecten	42
2.4.3 Ecologische aspecten	44
2.5 Vreugderijkerwaard	47
2.5.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg	47
2.5.2 Hydraulische en morfologische aspecten	48
2.5.3 Ecologische aspecten	51
2.6 Meerwaarde t.o.v. hoofdgeul en vergelijk tussen de geulen	54
2.6.1 Levert de nevengeul meerwaarde ten opzichte van de andere wateren?	54
2.6.2 Vergelijk van de nevengeulen onderling	55
2.6.3 Stroomsnelheid in nevengeulen	57
2.6.4 Ontwikkeling van de ecologie van een geul	59
3 Deel 3: De nevengeul, afweging ecologie ten opzichte van randvoorwaarden	61
3.1 Wat hebben we geleerd van de bestaande nevengeulen wat betreft hun ontwerp en functioneren?	61
3.2 Welk stadium van een nevengeul aanleggen? Vuistregels	62
3.3 Compromisvragen	63
3.4 Overzicht aandachtspunten voor het aanleggen van geulen	64

4 Literatuur	66
5 Bijlagen	67
5.1 Gamen	67
5.2 Klompenwaard	69
5.3 Bakenhof	69
5.4 Vreugderijkerwaard	73

Voorwoord

Het rapport dat voor u ligt is een aanzet tot een handboekje “Nevengeulen en KRW”. 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, plan-ontwerpers 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 principes 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.

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 én natuur én hoogwaterafvoer.



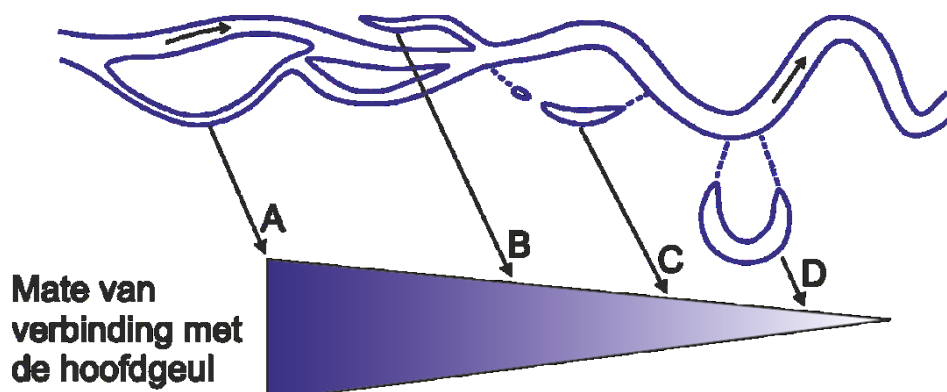
Figuur 1.1 Nevengeulen landschap langs een bekribde rivier. In tegenstelling tot de hoofdgeul, kunnen in nevengeulen allerlei erosie en sedimentatie patronen optreden die de lokale habitat diversiteit versterken. Zoals een in de nevengeul gevormde zandplaat, oevererosie en invallend hout door weggeërodeerde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

In nevengeulen zijn meer mogelijkheden voor ondiep stromend habitat dan in de hoofdgeul, en daarbij kunnen sedimentatie en erosie processen nieuw habitat creëren, iets wat in de hoofdgeul moeilijk kan. 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. Beter omdat de vegetatieontwikkeling door de ligging van een geul meer parallel aan de hoogwaterstroomlijnen kan plaatsvinden; groter omdat de uiterwaard door het graven van een nevengeul wordt verlaagd. Door natuurlijke ontwikkelingen (successie) kan het doorstroomprofiel weer enigszins 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. Een bruikbare definitie van een nevengeul is "een meestromende nevengeul ligt parallel aan de hoofdstroom en is tweezijdig aangetakt (boven en benedenstrooms), 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 verzand en dichtgroeit met vegetatie (Figuur 1.2). Bestaande oude strangen zijn een relict uit het verleden, maar juist door de lange ontwikkeltijd erg 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 is ook de ontwikkelingsreeks 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 schakering 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 riviertakken in Nederland hebben hun eigen, vaak samenhangende, kenmerken afhankelijke van of het bovenstrooms, of benedenstroomse trajecten betreft, het verval, het sediment/bodemtype, de stroomsnelheid en debiet, variatie in waterstanden, etc. Daarbij zijn sommige delen gestuwd, en zijn deze systeemkenmerken niet meer karakteristiek voor rivieren.

Figuur 1.3 geeft een overzicht van de kansrijke aquatische ecotopen in de riviertrajecten. Nevengeulen, breed en ondiep of small en diep, vinden langs de Rijntakken een plaats door ze duurzaam te creëren of verjongen (meestal aantakken). Met uitzondering van de gestuwde trajecten, daar zijn nevengeulen niet kansrijk vanwege van de heersende of juist afwezig zijnde hydromorfologische processen.

Traject	Slikken, zandplaten	Zand- of grindbanken	dynamische eilanden	Ontdiepe brede nevengeulen	Diepe smalle nevengeulen	Aangekoppelde strangen	Afgesloten strangen	geïsoleerde strangen	Restgeulen	Kronkelwaardgeulen	Beekstrangen	Riet- en biezenkorzen	Rietmoeras / moerasruigte*	rivierduin	Oeverwalruigte	Stroomdalgrasland	Zachthoutooibos / vloedbos	Hardhoutooibos
Boven Maas																		
Grensmaas																		
Plassenmaas																		
Peelhorstmaas																		
Venloslenk-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																		
Merwedde																		
Biesbosch / Amer																		
Hollandsch Diep																		
Haringvliet																		

* Uitgezonderd moeras in geïsoleerde strangen en restgeulen.

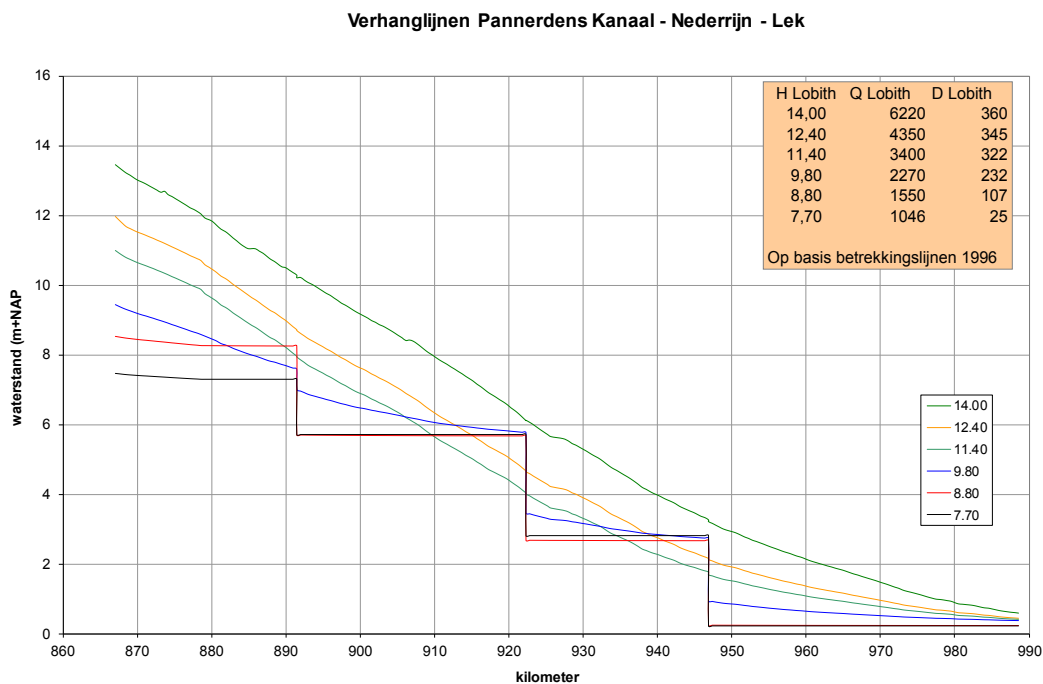
- = **Natuurlijke ontwikkeling:** Maatregelen zijn mogelijk waardoor natuurlijke processen de ecotopen laten ontstaan.
- = **Verjongen:** Terugbrengen van in het verleden gevormde fysiotopen; terugzetten van de morfologische ontwikkeling.
- = **Duurzaam creëren:** creëren van ecotopen die passen bij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

Figuur 1.3 Kwalitatieve indicatie voor kansrijkdom van fysiotopen en ecotopen binnen de riviertrajecten. Per ecotoop is aangegeven of deze hersteld kan worden door natuurlijke ontwikkeling, door verjonging of door duurzame creatie. Aangenomen is dat door aangepast spuiregime van de Haringvlietssluisen de getijbeweging in Benedenrivierengebied deels hersteld kan worden, evenals een meer natuurlijke zout-zoet gradiënt. (Middelkoop et al, 2003).

Stuwen

Stuwen beïnvloeden de waterstanden in de rivieren, dit meestal ten behoeve van de scheepvaart (Figuur 1.4), maar hierdoor wordt ook de stroomsnelheid in gestuwde delen sterk beperkt. Het gestuwde karakter van de verschillende riviertakken heeft de grootste invloed op het functioneren van deze takken voor vis, macrofauna en waterplanten. De takken scoren ecologisch slecht want voldoen in het laagwaterseizoen, dat samenvalt met het

groeiseizoen, 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. Maar juist het gestuwde en niet stromende karakter biedt mogelijkheden voor de vestiging van waterplanten en biedt zo kansen voor aanverwante (limnofiele of waterplantminnende) fauna.



Figuur 1.4 Werking van stuwen in de Nederrijn-Lek op de waterstanden van rivierkilometers (860-990) bij een reeks afvoeren. Het stuwen heeft effect op de waterstanden maar ook op de lokale stroomsnelheid in de rivier, en is meer dan 232 dagen per jaar merkbaar op grote delen in de rivier (waterlijn 9,80 m NAP bij Lobith).

Waterstandvariatie

De waterstanden variëren met de afvoer van de rivier. In de verschillende riviertakken ondervinden de oevers andere waterstandvariatie. De waterstandvariatie nemen af naarmate de oever meer benedenstrooms ligt. Dat heeft effect op de ontwikkeling van permanent aangetakte geulen, bij een geringe diepte stromen ze al 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 het habitat in het groeiseizoen droogvalt of omdat het in het voorjaar te diep is voor vestiging. De kansen voor waterplanten nemen richting benedenstrooms toe. In onderstaand kaartje staat indicatief aangegeven welke riviërsecties meer en minder kansrijk zijn voor waterplanten, zie Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kansen voor waterplanten per riviërtaak (laag, matig, groot) op o.a. op basis van onderstaande voorlopige onderzoeksresultaten uit waterplantenonderzoek (bron: Gerben van Geest i.o.v. RWS-ON).

Rivier	Kans voor waterplanten
IJssel	Vanaf de Duurse Waarden tot aan Zwolle: redelijk geschikt Vanaf Zwolle - Ketelmeer: hoge geschiktheid Stroomopwaarts vanaf Duursche waarden: niet geschikt
Waal	Vanaf Haaften stroomafwaarts: redelijk geschikt.

	Stroomopwaarts vanaf Haaften: niet geschikt
Neder-Rijn / Lek	De kansrijkdom voor Neder-Rijn/Lek is nog onduidelijk doordat de peilfluctuaties binnen een stuwpand sterk kunnen variëren (peilvariaties treden vooral op als stuwen open of dicht gaan).

Deze grenzen kunnen aangescherpt worden door de resultaten van het waterplantenonderzoek (uiterlijk in januari 2011 bekend).

1.3 Ecologie

Het aanleggen van nevengeulen dient meestal meerdere doelen en ecologie is daar een van. De Europese Kaderrichtlijn Water is sinds 2000 is 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 mee te nemen.

Waar bestaat de ecologie van een nevengeul uit? Aangezien de nevengeul bestaat uit een watervoerend deel en oevers, is belangrijkste de watergebonden ecologie. Vanuit de bestaande kennis wordt de werking van Nederlandse nevengeulen beschreven voor waterplanten, aquatische kleine ongewervelden (macrofauna) en vis. De droge oevers komen alleen aan bod voor zover de inrichting of werking effect heeft op waterplanten, macrofauna en vis.

De volgende paragrafen zijn korte inleidingen op de ecologie van waterplanten, macrofauna en vis, bedoeld voor niet-ecologen. 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/
- Pot, R. (2007) Veldgids water- en oeverplanten; 2e druk. KNNV-Uitgeverij/Stowa, Utrecht.

Macrofauna

- De Pauw, N. en R. Vannevel (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/

Vis

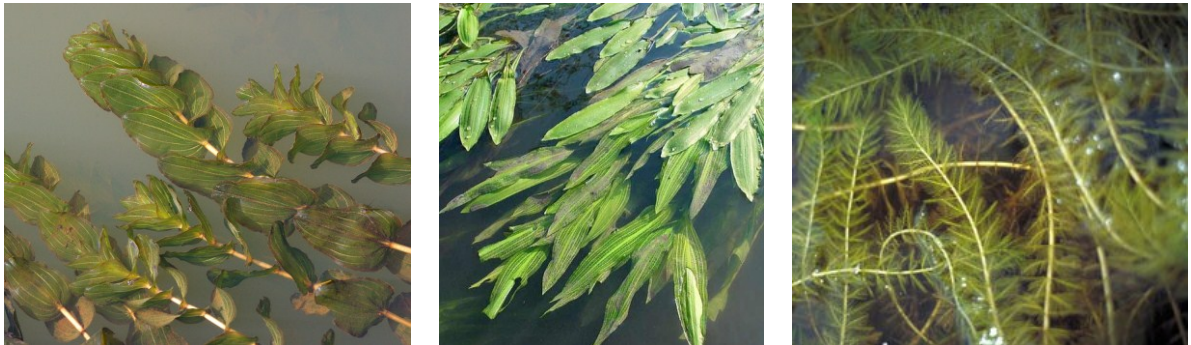
- Stowa (2010). Handboek Hydrobiologie (2010). Deel III hoofdstuk 13. Vis. http://www.stowa.nl/Thema_s/Handboek_Hydrobiologie/
- van Emmerik W. & H.W.de Nie (2006). De zoetwatervissen van Nederland. Ecologisch bekeken. Sportvisserij Nederland, Bilthoven. ISBN 90-810295-1-7

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 voor de vaak ingedeeld in zogenaamde groeivormen. Deze zijn als volgt:

- Submers (ondergedoken waterplanten; zie Figuur 1.5 voor voorbeelden);
- Drijfblad (drijvende waterplanten);
- Emers (boven het water uitkomend).



Figuur 1.5 Voorbeelden van submerse waterplanten die zijn aangetroffen 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

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) kunnen geen waterplanten worden verwacht en ook in het ondiepe zomerbed (het ondiepe deel van de hoofdgeul) wordt slechts verwacht dat de bedekking maximaal 1% is. 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 (pers. comm. Gerben van Geest).

De oevervegetatie is daarnaast van belang ten aanzien van mogelijke begrazing door bijvoorbeeld ganzen. Peters & Kurstjens (2009) zagen in de Vreugderijkerwaard dat begrazing bij oevers met een kale oever aanzienlijke schade aan waterplanten opleverde. Bij begroeide oevers gebeurde dit niet. Figuur 1.6 toont een foto van waterplanten (rivierfonteinkruid) bij een oevervegetatie met wilgen in de Vreugderijkerwaard.



*Figuur 1.6 foto van de Vreugderijkwerwaard met Rivierfonteinkruid (submers) en oevervegetatie rechts (Wilgen).
Bron: Peters & Kurstjens (2009).*

Nevengeulen en strangen zijn dus van belang voor waterplanten, omdat alleen hier hoge bedekkingen kunnen worden verwacht. Daarnaast gelden waterplanten als belangrijk substraat voor jonge vis (schuilmogelijkheden), plantminnende vis en paaiplaats. Ook voor macrofauna zijn waterplanten belangrijk, aangezien waterplanten de diversiteit aan habitats en voedselbronnen vergroten en als schuilplaats voor predatoren kunnen dienen.

1.3.2 *Macrofauna*

Met macrofauna worden kleine ongewervelde organismen bedoeld die in het water voorkomen. Voor een groot deel zijn dit insectenlarven, maar ook kreeftachtigen (bijvoorbeeld vlokreeftjes en zoetwaterpissebedden), platwormen, borstelarme wormen en weekdieren vallen onder deze noemer. Enkele voorbeelden van macrofauna zijn te zien in Figuur 1.7.



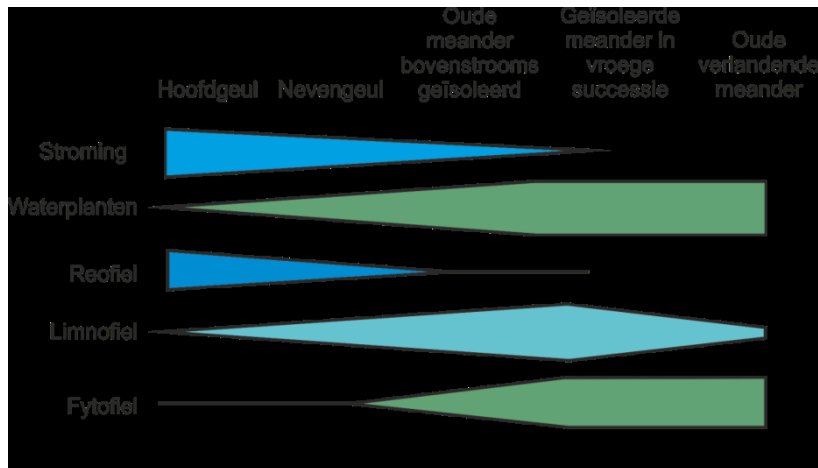
Figuur 1.7 Voorbeelden van macrofauna. Van links naar rechts de de Reuzenvlokreeft (*Dikerogammarus villosus*), rechts, de larve van de libelle Rivierrombout (*Gomphus flavipes*) en een larve van de een dansmug (*Chironomus acutiventris*).



Figuur 1.8 Verschillende bewoners van nevengeulen. Van links naar rechts en boven naar onder: een larve van een dansmug (*Chironomidae*), een larve van de haft (*Ephemeroptera*) *Caenis* sp., een larve van de kokerjuffer (*Trichoptera*) *Hydropsyche* sp. en een de Aziatische korfmosse (*Corbicula fluminea*)

Macrofauna komen overal in het riviersysteem voor. Belangrijke stuurfactoren voor macrofauna habitat in rivieren zijn stroomsnelheid en substraat. Soorten zijn vaak gebonden aan specifieke combinaties hiervan (snelstromend en grind t.o.v. langzaamstromend en slib). Andere belangrijke factoren zijn zuurstof, voedselrijkdom en verontreiniging van bodem en water. In de verschillende typen rivierbegeleidende wateren heersen andere combinaties van bovengenoemde factoren, zoals stroming en het voorkomen van waterplanten (Figuur 1.9). Hierdoor heeft elk rivierbegeleidend water een karakteristieke samenstelling van macrofauna

gilden van Reofiel (voorkeur voor stroming), naar Limnofiel (voorkeur stilstaand water) en Fytofiel (voorkeur voor waterplanten).



Figuur 1.9 Respons van invertebraten op veranderingen in de ecologische omstandigheden (stroming, vegetatie) in verschillende aquatische habitats in uiterwaarden; gerangschikt naar mate van verbinding met de hoofdgeul.

Belang van nevengeulen

Nevengeulen 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 wel. 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.

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 veel minder exoten voorkomen in nevengeulen (zie 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.

Ook exoten als de Aziatische Korfmossel en de reuzenvlokreeft zullen veel voorkomen, zij het minder dan in hoofdstromen. Met uitzondering van de laatstgenoemde exoten zijn bovengenoemde soorten allen kenmerkend voor grote rivieren, hoewel exoten soms in grote getale voorkomen.

1.3.3 Vis

Vis wordt ingedeeld in een aantal gilden, zoals bij macrofauna ook gebeurt. Belangrijke gilden voor nevengeulen zijn stromingsminnend (reofiel), migrerend (diadroom), waterplantenminnend (limnofiel) en eurytoop (geen specifieke voorkeur). In Tabel 1.2 een overzicht van soorten en gilden; voorbeelden van deze vissoorten zijn gegeven in Figuur 1.10.

Tabel 1.2 Gilden, hun omschrijving (Van Emmerik & de Nie 2006) en voorbeelden van soorten.

Gilde	Omschrijving	Voorbeelden
Reofiel	Vis die gebonden is aan of een voorkeur heeft voor stromend water	Barbeel (<i>Barbus barbus</i>); Kopvoorn (<i>Squalius cephalus</i>); Serpeling (<i>Leuciscus leuciscus</i>); Sneep (<i>Chondrostoma nasus</i>); Winde (<i>Leuciscus idus</i>); Riviergrondel (<i>Gobio gobio</i>); Roofblei (<i>Aspius aspius</i>).
Diadroom	Migrerende (zowel stroomop- als stroomafwaarts) Vis	Aal (<i>Anguilla anguilla</i>); Zalm (<i>Salmo salar</i>); Driedoornige stekelbaars (<i>Gasterosteus aculeatus</i>); 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.	Kroeskarper (<i>Carassius carassius</i>); Bittervoorn (<i>Rhodeus sericus</i>); Ruisvoorn (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>); Vetje (<i>Leucaspis delineatus</i>).
Eurytoop	Vissoorten die in een brede range van condities kunnen voorkomen.	Blankvoorn (<i>Rutilus rutilus</i>); Brasem (<i>Abramis brama</i>); Baars (<i>Perca fluviatilis</i>); Pos (<i>Gymnocephalus cernus</i>); Snoekbaars (<i>Sander lucioperca</i>); Alver (<i>Alburnus alburnus</i>)



Figuur 1.10 Vissoorten uit diverse gilden. Van links boven naar rechts onder: Winde (Reofiel), Aal (Diadroom), Bittervoorn (Limnofiel) en Brasem (Eurytoop). Bron: RAVON/Jelger Herder.

Vis verplaatst zich over grotere afstanden en heeft voor verschillende levensfasen een andere omgeving nodig. Diadrome vis, zoals bijvoorbeeld Aal is sterk afhankelijk van de connectiviteit binnen een gebied en migreert over grote afstanden. Andere soorten leven hun

gehele leven in langzaamstromend 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 1.9).

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 waterplanten als beschutting, paaiplaats en voedselbron dienen, zie bijvoorbeeld Figuur 1.11. 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). Het afwezig zijn 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 en limnofiele vis. In verhouding veel meer dan bijvoorbeeld de kribvakken (lagere dichtheden) en klei/zandputten (hogere dichtheden, maar voornamelijk eurytopen).



Figuur 1.11 Lint van eieren zoals afgezet door Baars (bron: wikipedia).

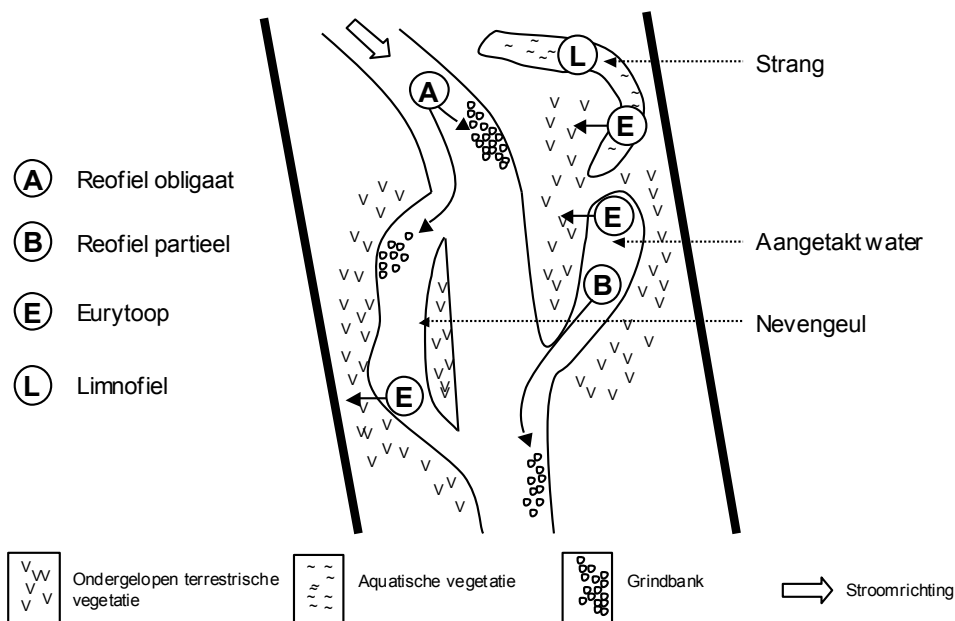
1.4 Ecohydromorfologie

Een nevengeul onderscheidt zich op een aantal aspecten van de hoofdgeul en andere rivierbegeleidende wateren. Van belang voor de ecologie zijn: connectiviteit, stroming, waterdiepte, substraat en oevertype. Deze aspecten staan hieronder beschreven. De connectiviteit, stroming, waterdiepte en toevoer van sediment van Nederlandse nevengeulen beïnvloed door zogenaamde regelwerken, het waarom en de werking hiervan 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 hoogte van de instroomopening (veelal het regelwerk) bepaalt het al of niet stromende karakter van de geul. Sommige

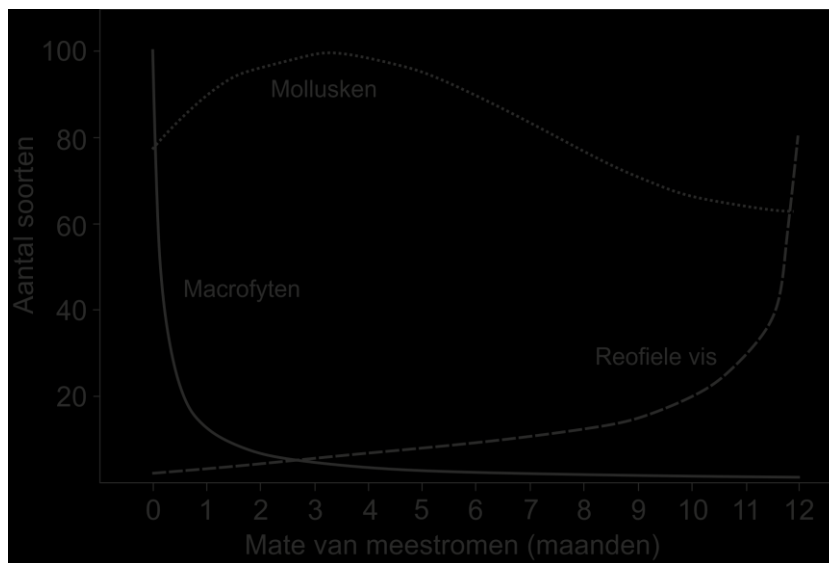
soorten hebben zich op stromende wateren gespecialiseerd; aquatische soorten zoals vis en macrofauna zijn in te delen in stroomminnende (reofiele) en waterplantminnende (limnofiele) soorten, ook wel gilden genoemd. Afhankelijk van de aantakking van de geul werkt deze meer of minder optimaal voor deze verschillende gilden. Als voorbeeld het paaihabitat van verschillende visgilden uit een onderzoek naar het voorkomen van Nederlandse riviervis, Figuur 1.12.



Figuur 1.12 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). Reofiele (obligaat en partieel) soorten zijn stroomminnend, limnofiele soorten komen meest voor in niet stromende wateren, Eurytope soorten hebben geen directe voorkeur qua stroming.

In natuurlijke en ook in gereguleerde rivieren is het verloop van de mate van aantakking gradueel. De hoogte van de instroomopening bij geulen, of de hoogte van de uiterwaard in het geval van geïsoleerde plassen varieert, er zijn natte en drogere jaren en daarbij vindt sedimentatie plaats waardoor sommige instroomopeningen dichtzanden. Vaak wordt bij aanleg van een geul berekend wat het gemiddeld aantal maanden is dat deze geul meestroomt. Hieraan wordt het ecologische effect voor soorten afgemeten.

In Figuur 1.13 is te zien wat het effect van connectiviteit is voor waterplanten (macrofyten), stroomminnende vis (reofiele) vis en weekdieren (mollusken). Het aantal macrofyten-soorten neemt snel af wanneer een geul meer maanden meestroomt met de hoofdgeul. Het aantal soorten stroomminnende vis neemt 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 1.13 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. Vooral in jaren met grotere afvoeren kunnen deze geulen toch langer meestromen en habitat bieden aan stroomminnende soorten.

Inrichting

- Connectiviteit wordt bepaald door de drempelhoogte van het inlaatwerk. Dit is een afweging tussen meerdere functies, bij lagere afvoeren hoofdzakelijk de scheepvaart.
- Leg niet alleen stromende geulen aan, zeker als het compromis met de hoofdgeul tot een lage connectiviteit leidt. Niet stromende eenzijdig aangetakte of geïsoleerde plassen hebben ook een ecologische functie. Bijvoorbeeld: Haften verplaatsen zich in hun levensfasen tussen meer en minder aangetakte wateren, en zijn dus gediend met een variatie in connectiviteit (Figuur 1.14).

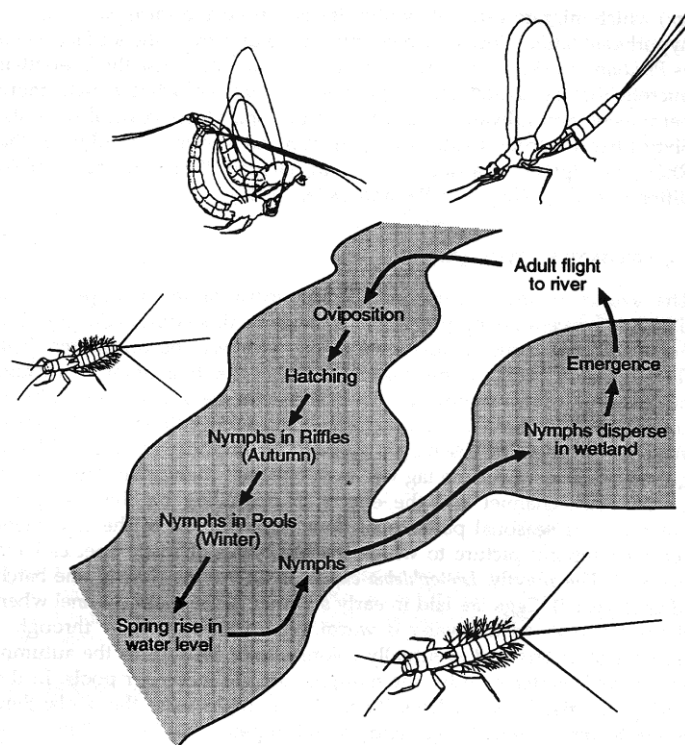


Figure 7.12 Riverine-wetland migration of *Leptophlebia cupida* (Ephemeroptera) over an annual cycle (after Ward, 1989b).

Figuur 1.14 Levenscyclus van haften, waarbij de haft verschillende aangetakte wateren gebruikt gedurende de seizoenen.

1.4.2 Stroming

Elke soort heeft zijn ecologische niche, en dat geldt ook voor de mate van stroming die soorten prettig vinden. Daarbij verschilt de voorkeur van soorten vaak gedurende de levensfase waarin deze zich bevindt. Dit geldt voor stroomminnende soorten vis en macrofauna. In Tabel 1.3 staan stroomsnelheden en diepte voorkeuren gegeven voor enkele vissoorten. Vis is directer aan stroomsnelheden te koppelen; macrofauna is vaak sterk gebonden aan het type sediment of bodem (vaak substraat genoemd) en dat hangt ook samen met stroomsnelheid.

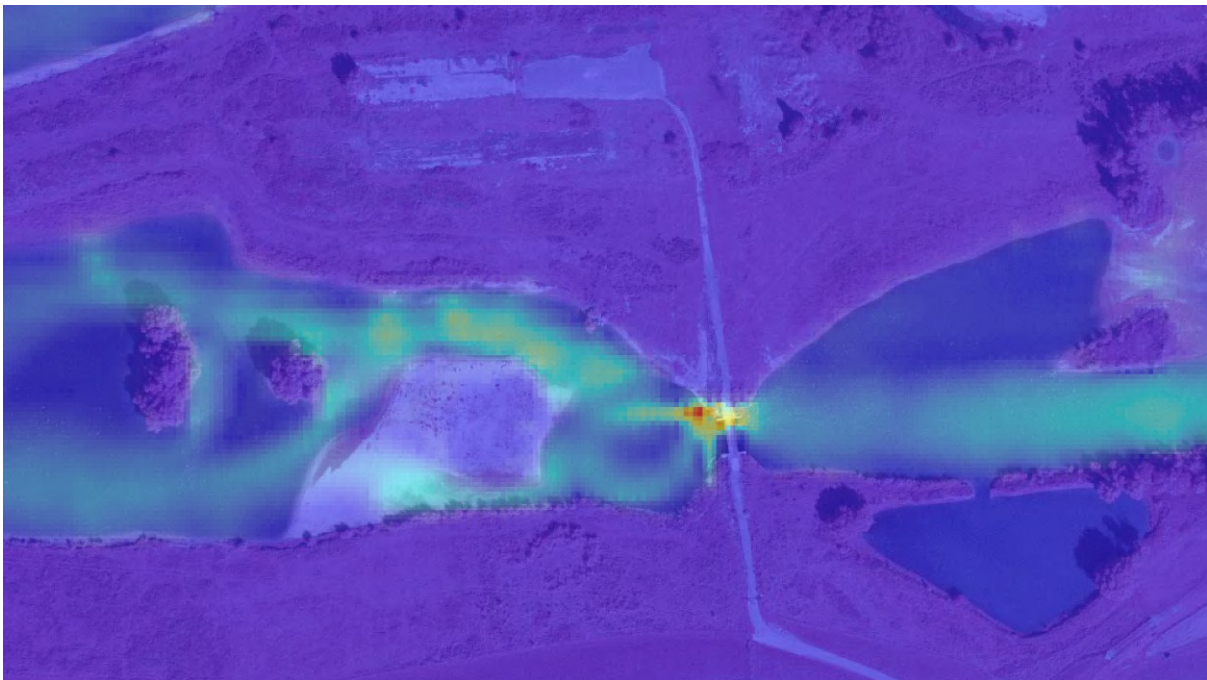
Tabel 1.3 Stroomsnelheden en diepte voorkeuren van enkele vissoorten. (Bron: KRW-verkenner, Deltares).

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

Voor nevengeulen wordt aangenomen dat deze langzamer stromen dan de snelstromende hoofdgeul, maar meer stroomvariatie kennen. 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 stroming bepaald door (1) het traject waar de geul in ligt (bv, zijn er stuwen?), (2) de breedte en diepte van de nevengeul, (3) het debiet dat wordt afgeregeld met grootte van de instroomopening, en (4) de hoek waarmee de geul is aangetakt in relatie tot de stroomrichting van de hoofdgeul. Grote brede nevengeulen leiden met een klein debiet tot langzaam stromende geulen. In deze geulen kan lokaal variatie worden bereikt rondom regelwerken en eilanden, daar is de geul smaller en de stroomsnelheid hoger (Figuur 1.15).



Figuur 1.15 Figuur: Luchtfoto van inlaatwerk Gameren met daaroverheen de stroomsnelheid (data 2002). De geel en roodtinten laten zien dat de stroomsnelheid bij het kunstwerk en de eilanden hoger is (tussen de 1,2 en 0,4 m/s bij een Waalafvoer van 1500m³/s). Let op, de foto is genomen bij een lagere afvoer (2005 ecotopenkartering).

1.4.3 Waterdiepte variatie

Diepte variatie is belangrijk en zorgt voor habitatverschillen in de waterkolom. 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 blijven, en zo 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 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 1.16) zijn droogvallende en niet aangetakte delen te zien. Deze bieden geen habitat aan stroomminnende soorten, maar is als habitat waardevol voor soorten die profiteren van droogval en opslibbing.



Figuur 1.16 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 belangrijk factor. Te grote verschillen tussen de lente en zomer maken dat waterplanten niet makkelijk vestigen. Uit onderzoek blijkt dat waterplanten zich niet vestigen bij een waterdiepte van 2 meter of meer in het voorjaar (van Geest, 2011). Daarbij, wanneer de waterstandverschillen tussen voorjaar en zomer groter zijn dan 2 meter, dan valt het in het voorjaar gekoloniseerd habitat in de zomer droog. Daarom is een lagere waterstandsdynamiek (zoals vaak in benedenstroomse delen, of gestuwde delen) gunstig voor waterplanten.

Inrichting

- Zorg voor voldoende diepte variatie bij de lokaal heersende waterstandvariatie
- Creëer opties voor vrije oeverontwikkeling
- Eroderende oevers of andere sedimentbronnen zorgen voor een herverdeling van sediment en zo ook diepte variatie.



Figuur 1.17 Droogvallende en eroderende geuloevers langs de grote geul in de Uiterwaard van Gameren (Foto M. Schoor).

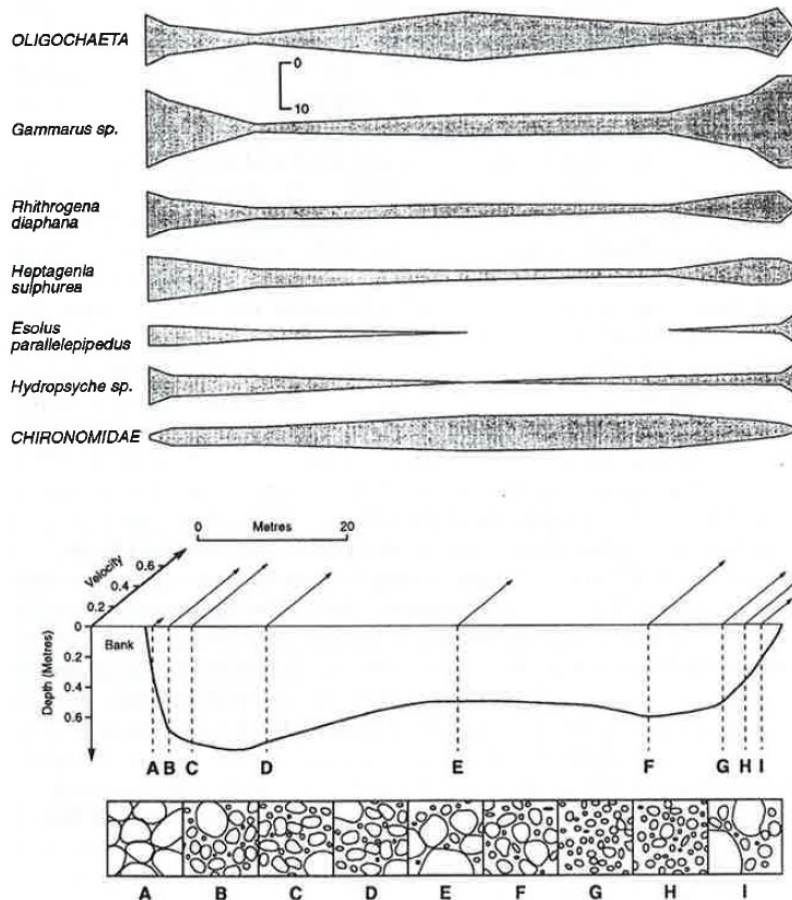
1.4.4 Substraatvariatie

Substraat is materiaal in de habitat waar waterplanten, macrofauna of vis gebruik van maken tijdens hun levenscyclus, 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 1.18. Variatie aan substraat draagt ook bij aan het verbeteren van het vis habitat zoals water en oeverplanten (of overbomen) en dood hout (Downs 2001)(He et al. 2009; Piegay et al. 2000). Voor waterplanten in stromende geulen lijkt een zandbodem het gunstigst.



Figuur 1.18 Macrofauna op stortsteen. (Foto: John van Schie, RWS-IJG)

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 helemaal benedenstreams in de Rijntakken meer fijner sediment of slib. Vanwege de rivier regulatie is er ook veel stortsteen aanwezig, wat leidt tot een nieuw habitatype dat veelal door exoten wordt gekoloniseerd (bijvoorbeeld door de reuze vlokreeft, zie Figuur 1.7).



Figuur 1.19 macrofauna soorten reageren op verschillen in stroomsnelheid en sediment. Hier een doorsnede van een rivier met steeds het voorkomen van soortgroepen binnen de macrofauna gemeenschap uitgezet in de breedte van de balken boven de dwarsdoorsnede van de rivier.

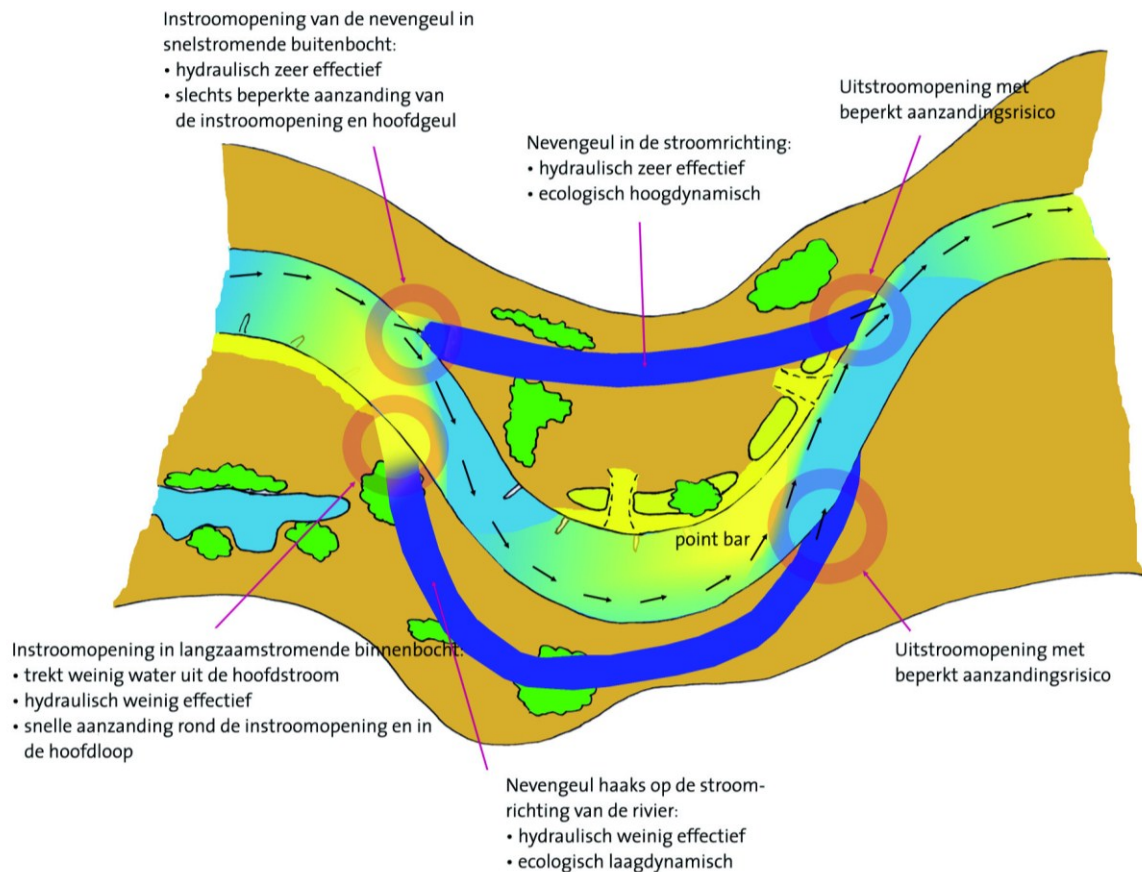
Erosie en sedimentatie zijn betrokken bij het transport van sediment. Deze processen zorgen vaak voor een karakteristieke verdeling van substraat op basis van lokale variatie in stroomsnelheden binnen de geul. Soorten reageren hierop, Figuur 1.19 laat zien dat het samenspel van stroomsnelheid, diepte en sediment (het substraat) en de verdeling van macrofaunasoorten bepaalt.

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.

Inrichting

- Sta oeverprocessen toe (zoals vrij eroderende oevers), deze zorgen voor natuurlijk begroeide oevers en zijn een sedimentbron voor substraatvariatie in de nevengeul.
- Een extra sedimentbron in de geul creëert gradiënten van ondiep zandig habitat voor waterplanten.
- Oevers niet afwerken (laat de rivier het werk doen), waterbodembodem opleveren tot op het karakteristieke substraat (meestal zand).
- 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 1.20). Bij veel sediment kan de geul sneller dichtslibben (ook ecologisch interessant en effectief, maar dan voor limnofiele en waterplantminnende soorten).

- 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 de geul in (Figuur



Figuur 1.20 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.

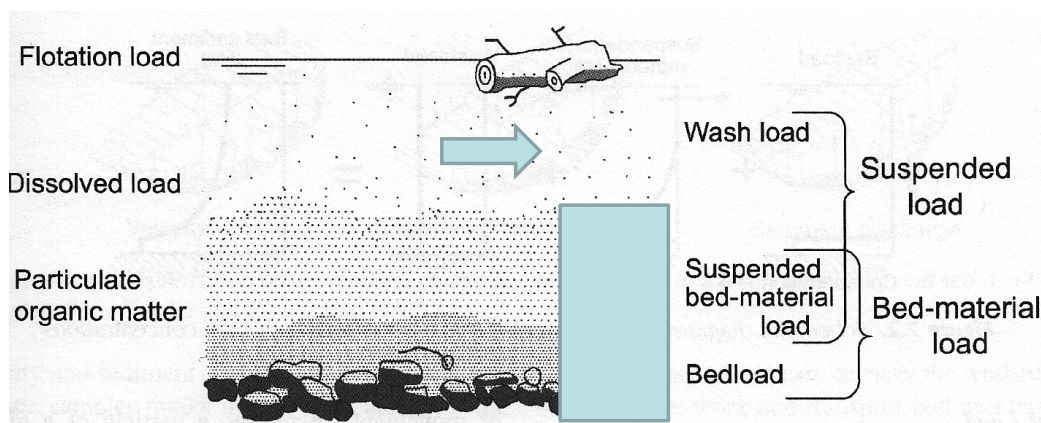
1.4.5 Regelwerk

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 deze in de Klompenwaard, een eenvoudige drempel, en het regelwerk in de Vreugderijkerwaard, een permanente doorvoer.



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

De drempelhoogte van een regelwerk bepaalt bij 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, voor de ecologische relevantie zie paragraaf 'connectiviteit'. Daarbij bepaalt de drempelhoogte ook het type sediment dat de geul in stroomt, zie figuur Figuur 1.21.



Figuur 1.21 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. (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 zinvol zijn. Bij een opening met vaste breedte 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) onder het laagwater niveau geeft een vast debiet dat weinig varieert met de waterstanden.

Een diepe duiker heeft invloed op de sedimentaanvoer (Figuur 1.21), 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 ecologisch effect is op de werking van de nevengeul.

Regelwerken kunnen bij de instroomopening worden aangelegd, maar worden soms ook midden in de geul aangelegd. Meestal is de reden praktisch, op een bepaalde plaats ligt al een toegangsweg waarin de duiker als brug gaat fungeren. Bij een regelwerk aan de instroomopening kan als het regelwerk in het invloedsgebied van golven staat, dit een invloed hebben op het nevengeuldebiet. 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 1.22).

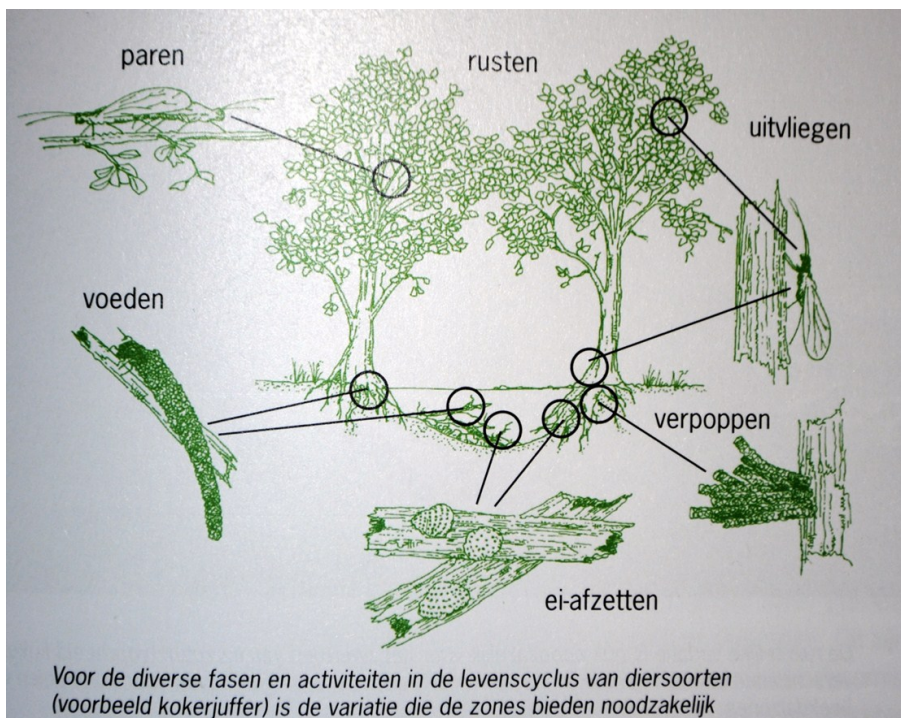


Figuur 1.22 Instroomopening Oostgeul Gameren. De geul verzand tot de hoogte van de drempel in de instroomopening (Foto Arjan Sieben)

1.4.6 Oeverbegroeiing

Oevers zijn belangrijk voor de aquatische ecologie. Oeverbegroeiing is belangrijk voor rust en schuilplaats voor macrofauna soorten en vis, iets wat in de meer dynamische hoofdgeul niet aanwezig is. Sommige macrofauna soorten leven maar een deel van hun levenscyclus in het water. Kokerjuffers hebben naast een levensfase in het water, ook een landfase en hebben hierbij ook hogere vegetatie nodig (Figuur 1.23).

Oeverbegroeiing beïnvloedt de bereikbaarheid van oevers voor grote grazers en grazende vogels. Langs 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 waterplanten.



Figuur 1.23 Voor de diverse fasen in de levenscyclus van diersoorten is een variatie aan habitat belangrijk, hier een voorbeeld van de kokerjuffer.

Iets buiten de directe scope van dit rapport, maar toch indirect belangrijk voor oeverontwikkeling is de constatering dat waterstandsfluctuaties invloed hebben op hoe de oever zich qua begroeiing kan ontwikkelen. Hiervan kan gebruik worden gemaakt in het ontwerp wanneer de waterstandvariatie in het traject bekend is. In Figuur 1.24 is op de y-as de tussen-jaarlijkse waterstandvariatie weergegeven, op de x-as de waterstandvariatie binnen een jaar. Het linker diagram geeft inzicht in hoe de waterstandvariatie op die plaats in het diagram de vegetatie beïnvloedt. De letters zijn in dit geval onbelangrijk omdat ze verwijzen naar de onderzochte meren. Het rechter diagram laat zien welke vegetatie is gevonden bij de tussenjaarlijkse en binnenjaarlijkse variatie. Wanneer de tussen-jaarlijkse variatie erg hoog is, dan blijft de zone een hydro-dynamisch gebied waar vooral kortlevende planten een plaats vinden; bij een erg hoge binnen-jaarlijkse variatie is het voor alle planten moeilijk een habitat te vinden. Bij een hele lage variatie, zowel tussen-jaarlijks als binnen het jaar, zal vooral een verstruiking of verbossing plaatsvinden. In het grijze gebied is voor een optimum aangegeven, waarin zich een kruidenrijke vegetatie met kenmerkende soorten kan ontwikkelen.

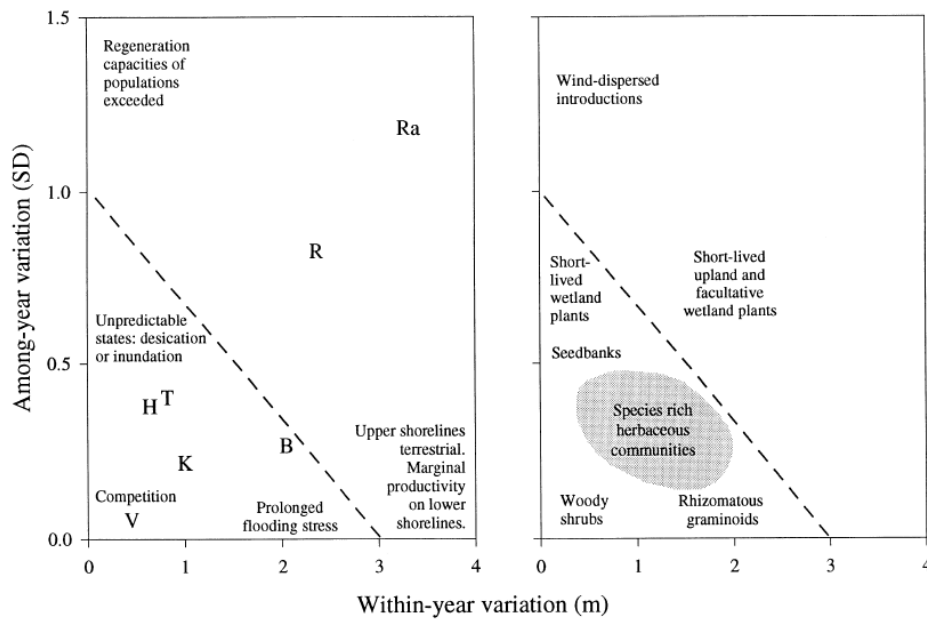


Figure 5. The effects of water-level variation upon shoreline vegetation. The stippled area contains lakes whose hydrological regimes produce rich floras, while hypo- and hypervariable zones represent impoverished systems. Rich floras with many rare species occur in unregulated lakes with high catchment areas such as Kejimikujik (K) and Bennetts (B), both lakes with intermediate water level fluctuations (1-m changes in amplitude within years and 0.5-m variation among years). In contrast, hypovariable lakes such as unregulated lakes with small catchment areas and head ponds (e.g., V, Vaughan) lose

many species through competitive exclusion by shrubs. Hypervariable lakes such as storage reservoirs (above the dashed line, e.g., Ro, Rossignol and Ra, Raynard) lose species and are subject to invasion by exotic species. The stippled area is therefore the desirable management target. Increased catchment area can push lakes into the region of high richness, but reservoir construction can push lakes into the hypervariable state. Data on Long Island pondshores (H, House Pond and T, Third Pond) from Schneider (1994).

Figuur 1.24 De effecten van tussen-jaarlijkse waterstandvariatie en binnen-jaarlijkse waterstandvariatie op oevers van natuurlijke en gereguleerde meren (Hill et al., 1998).

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 hoofdstukken aan bod. Waarbij we vooral focussen op de geulen bij Gameren, Klompenwaard, de Bakenhof en de Vreugderijkerwaard die in 2009 zijn bemonsterd.

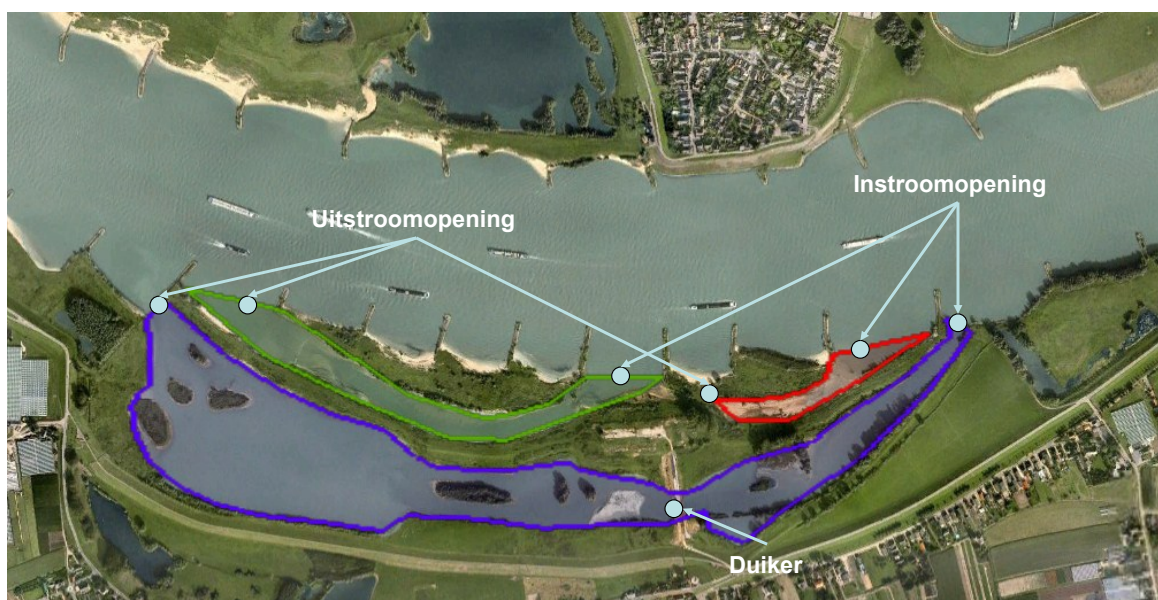


Figuur 2.1 Bestaande nevengeulen langs de rijntakken.

2.2 Gameren

2.2.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

Het gebied bestaat uit drie geulen, zie Figuur 2.2. 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 nog herstelwerkzaamheden bij de brug verricht, in juni 2001 is de oever van de grote geul nog versterkt met stortsteen vanwege lokale erosie.



Figuur 2.2 Luchtfoto van de nevengeulen en strangen bij Gameren. Blauw = grote geul; Rood = Oostgeul; Groen = Westgeul.

Systeem

De geul ligt aan de Waal, een vrij afstromende rivier.

Doel geul

Bron van zand en klei, verhoging afvoercapaciteit en natuurontwikkeling. Waarbij de kleine oostelijk gelegen geul zo is ontworpen dat deze minder dan 180 dagen per jaar zou meestromen. De Westelijke en Grote geul zijn ontworpen om nagenoeg het gehele jaar mee te stromen als habitat voor stromingsminnende soorten. (Jans, 2004)

Regelwerken

De volgende regelwerken zijn aangelegd:

Gameren West	
Instroomopening	Drempel, hoogte 0.95 m +NAP (1135 m ³ /s bij Lobith), 40 m breed
Uitstroomopening	Vrij
Gameren Oost	
Instroomopening	Drempel, hoogte 2.04 m +NAP (2294 m ³ /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 west en grote geul stromen nagenoeg het hele jaar mee, waarbij de west geul een iets grotere (oppervlakte)gemiddelde stroomsnelheid heeft (+/- 20 cm/s ten opzichte van 15 cm/s) dan de grote geul. De stroomsnelheden is 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 plas (westelijk deel van de grote geul) zijn deze laag (Figuur 2.3). De waterstandvariatie is relatief hoog, maar in de grote geul het laagst (2,5 meter in het paai- en groeiseizoen).

Tabel 2.1 Overzicht hydraulische en morfologische aspecten van de Gamerensche nevengeulen, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van 2650 m³/s in het voorjaar en 2000 m³/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010)

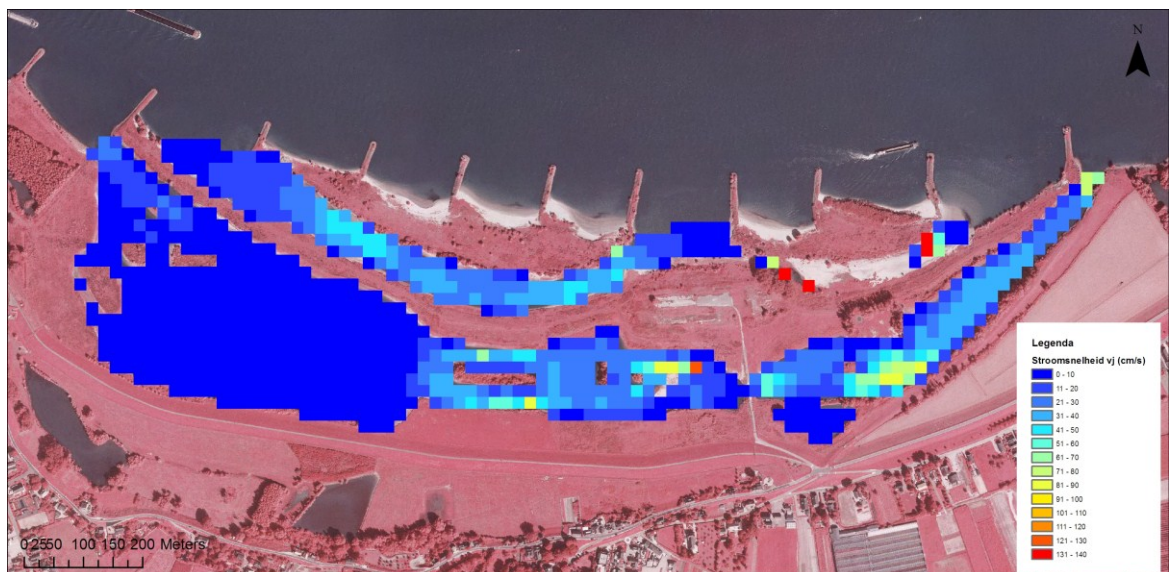
	Oost geul	Grote geul	West geul
Secchi diepte (m, maat voor doorzicht)	-	0,57	-
Kritieke afvoer (m³/s)	2300	1000	1100
Aantal dagen meestromen			
Jaarlijks	129	357	352
Zomer	39	179	177
Winter	90	178	174
Paaiseizoen	81	179	179
Gemid. Stroomsnelheid (cm/s, standaard deviatie)			
Voorjaar	- ²⁾	14 (16)	22 (12)
Zomer	- ²⁾	15 (23)	20 (17)
Water oppervlak (Ha)			
Voorjaar	0,6	26,6	6,8
Zomer	0	24,0	5,8
Waterstandvariatie			
Jaar	4,5 ⁴⁾	4,4	4,4
Zomer	2,4 ⁴⁾	1,5	2,3
Winter	4,4	3,1	4,3
Paaiseizoen	3,4 ⁴⁾	2,5	3,4

¹⁾V: voorjaar (maart-april), Z: zomer (juni-juli-augustus)

²⁾Geen betrouwbare gegevens beschikbaar

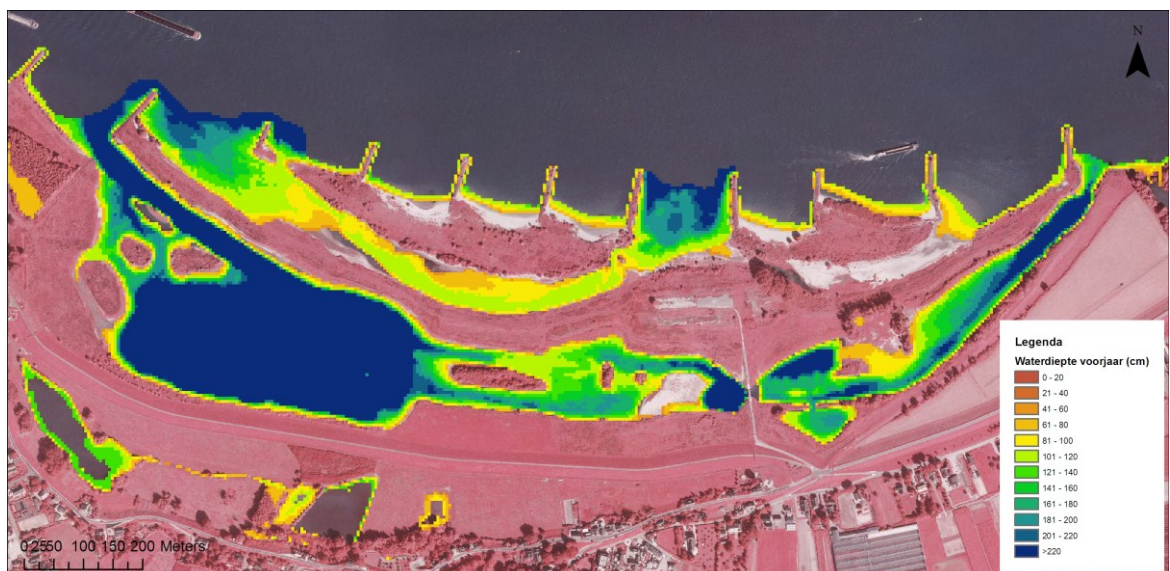
³⁾Voor het paaiseizoen in deze studie is 1 februari tot 1 augustus aangehouden.

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



Figuur 2.3 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 (Figuur 2.4). De aangetakte plas (westelijk deel van de grote geul) is dieper dan 2 m en achter de duiker in de grote geul is een diepe erosie plek ontstaan waarvan het meeste sediment iets verderop een zandplaat heeft gevormd (Figuur 2.5).



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

De zandwinplas heeft nu een bodemdiepte van maximaal 20-21 meter beneden maaiveld (de bodemdiepte ten opzichte van NAP is -17 meter) De plas wordt nu verondiept tot ongeveer -2 meter+NAP, met een waterpeil bij Gameren van gemiddeld + 1 m NAP leidt de verondieping tot een waterdiepte van circa 2-3 meter (Dekker van de Kamp, 2008; Karin Didden & Jan Kranenbarg, 2009).

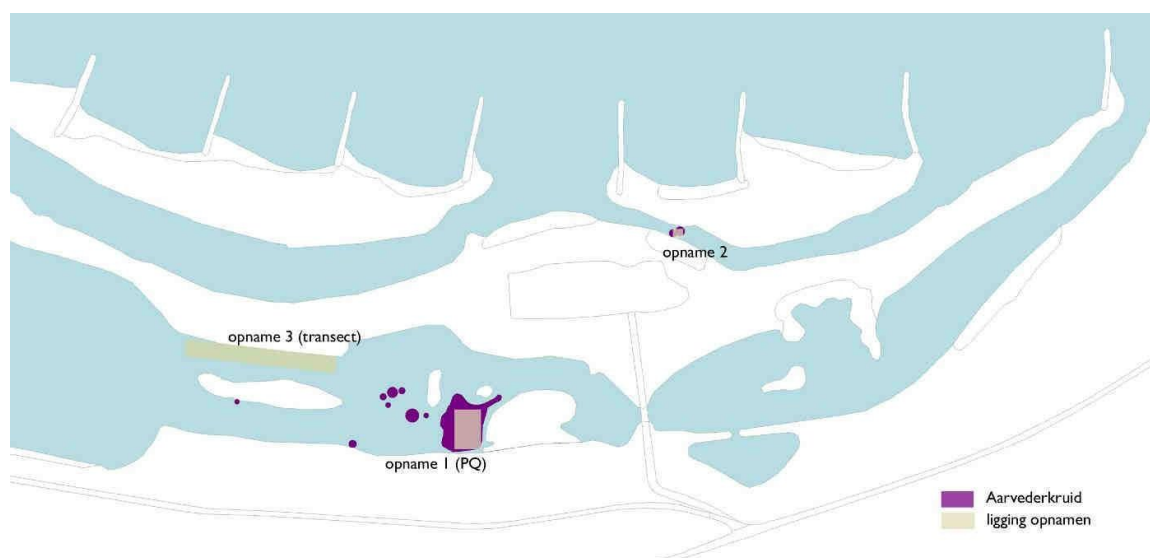


Figuur 2.5 Nevengeul Gameren, eilandvorming achter regelwerk, het sediment komt voor een groot deel uit een erosiegat net achter het regelwerk (foto Arjan Sieben, 15 juli 2009).

2.2.3 *Ecologische aspecten*

Algemeen beeld: de nevengeulen bij Gameren lijken geschikt voor waterplanten en deze hebben zich ook in luwe delen gevestigd. Dichtheden macrofauna zijn in de nevengeulen veel hoger dan in de hoofdgeul. Ook is de soortensamenstelling hier diverser. In deze geul zijn de meeste soorten reofiele vis aangetroffen, de geul stroomt dan ook vrijwel het gehele jaar mee. Dichtheden vis zijn echter laag vergeleken met de andere geulen.

In de Gamerense waard bevonden zich in de zomer van 2009 achter een zandwaaier velden Aarvederkruid (zie Figuur 2.6). Daarnaast zijn in de Oostgeul enkele andere soorten aangetroffen, zoals pijlkruid en zwanenbloem. Alle gevonden water- en oeverplanten zijn terug te vinden in Tabel 2.5. 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.



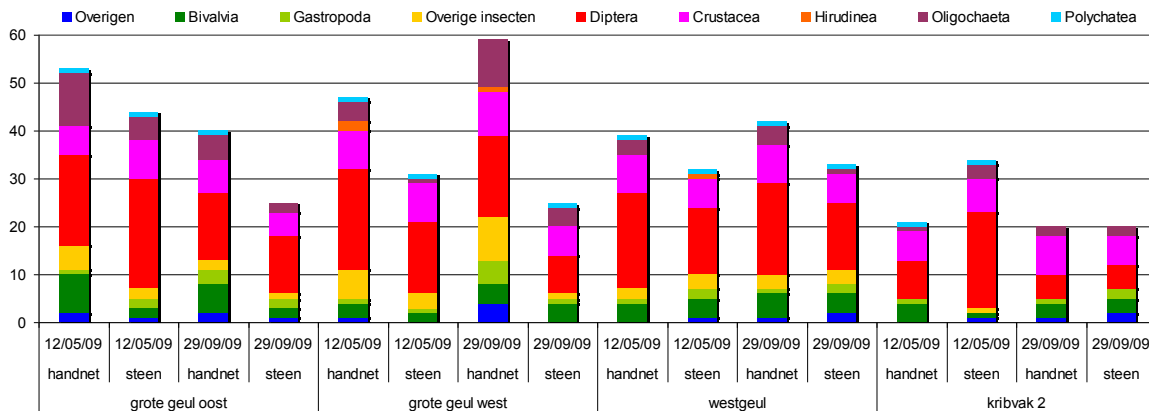
Figuur 2.6 Ligging van de trajecten en aangetroffen velden aardvederkruid in de zomer van 2009 (Peters & Kurstjens, 2009).

Tabel 2.2 Gevonden water- en oeverplanten in de Gamerense waard, zomer 2009.

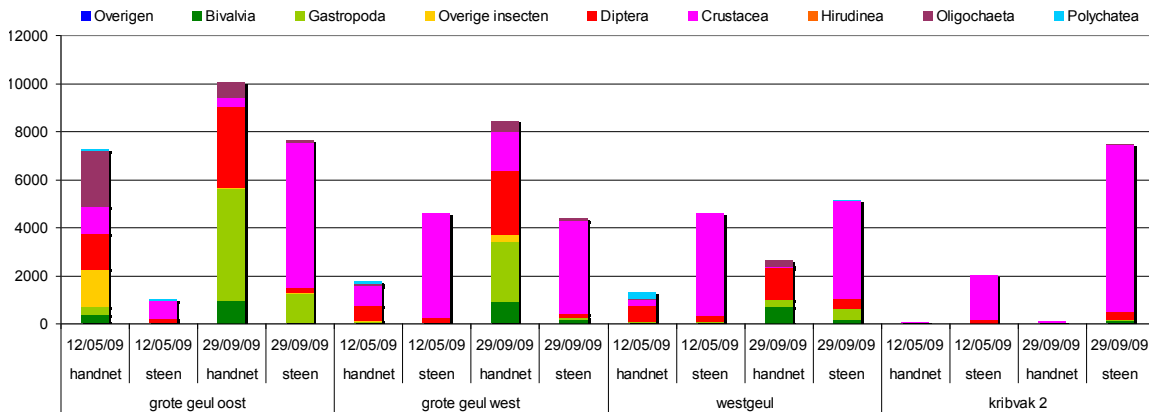
Soort	Latijnse naam	Oever / waterplant
Veenwortel	<i>Persicaria amphibia</i>	Oever
Aarvederkruid	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Water
Draadwier	<i>Draadwier</i>	Water
Kleine kroos	<i>Lemna minor</i>	Water
Pijlkruid	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	Water/oever
Zwanenbloem	<i>Butomus umbellatus</i>	Water/oever

In de nevengeulen van Gameren zijn in 2009 een aantal macrofauna monsters genomen in zowel de grote geul (voor en na de duiker) als de westgeul (zie Figuur 2.7 en Figuur 2.8). Hier is te zien dat de geul bij de handnetmonsters een hoger aantal soorten kent dan het kribvak. De steenmonsters vertonen dit beeld niet.

Bij de abundanties valt ook op dat op de steenmonsters *Crustacea* doorgaans domineren (74-95%). Dit zijn veelal exoten, zoals *Jaera istri* en *Dikerogammarus villosus*. Daarnaast zijn dichtheden veel lager in de kribvakken dan in beide geulen. De monsters op steen in de nevengeulen vertonen een ietwat hogere dichtheid, maar dit zijn vrijwel alleen maar *Crustacea*. Ook valt op dat dichtheden in het najaar hoger zijn, vermoedelijk als gevolg van de droogte in de nazomer. Over het algemeen kan dus gezegd worden dat de nevengeulen van Gameren soortenrijker zijn en dat er meer individuen per oppervlakte-eenheid te vinden zijn.



Figuur 2.7. Aantal soorten in de grote geul en westgeul van Gameren en in een kribvak bij Gameren in het voorjaar (13/05/2009) en het najaar (08/10/2009). Monsters zijn genomen op zowel steen als met een handnet. Voor een uitgebreide beschrijving van de gevolgde methodiek wordt verwezen naar De Rooij et al. (2010).



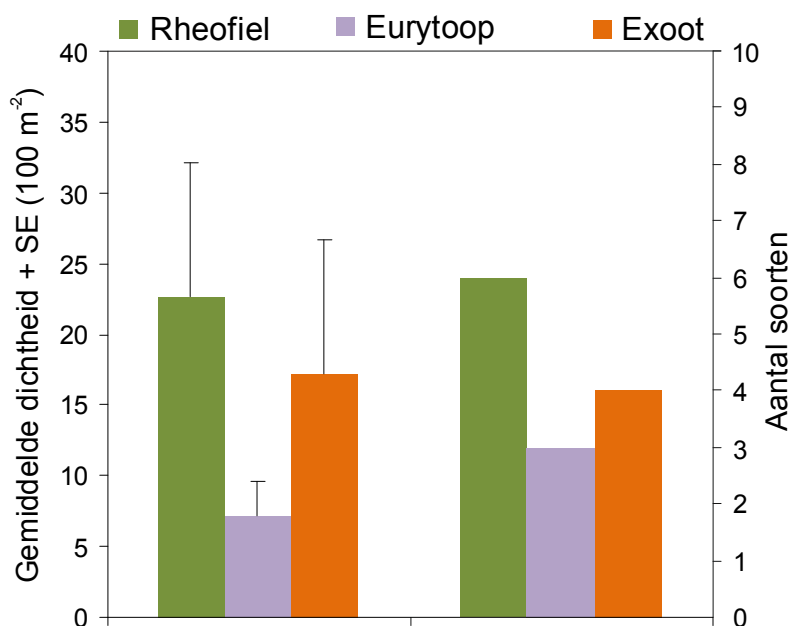
Figuur 2.8. Abundanties van macrofauna in de grote geul en westgeul van Gameren en in een kribvak bij Gameren in het voorjaar (13/05/2009) en het najaar (08/10/2009). Monsters zijn genomen op zowel steen als met een handnet. Voor een uitgebreide beschrijving van de gevolgde methodiek wordt verwezen naar De Rooij et al. (2010).

Met betrekking tot vis is te zien dat er veel reofiele vis is aangetroffen, met name winde, maar ook wat sneep. Eurytope vis is ook in hoge abundanties aangetroffen (baars, blankvoorn, brasem). Enkele exoten (roofblij, witvingrondel en kesslers grondel) zijn ook in redelijke aantallen aangetroffen. Er is slechts één limnofiele vis aangetroffen.

Tabel 2.3 Resultaten (absolute aantallen) van zegenvisserij in de Gamerense waard, bemonstering 2009. Gilden naar Dorenbosch et al. (2009).

Soort	Gilde	#	Soort	Gilde	#
Alver	Reofiel	50	Pos	Eurytoop	67
Baars	Eurytoop	336	Rietvoorn	Limnofiel	1
Blankvoorn	Eurytoop	525	Roofblei	Exoot	275
Bot	Reofiel	7	Serpeling	Reofiel	4
Brasem	Eurytoop	185	Sneep	Reofiel	201
Driedoornige stekelbaars	Eurytoop	1	Snoekbaars	Eurytoop	18
Kessler's grondel	Exoot	127	Winde	Reofiel	782
Kolblei	Eurytoop	1	Witvingrondel	Exoot	160
Kopvoorn	Reofiel	1	Zwartbekgrondel	Exoot	4
Pontische stroomgrondel	Exoot	53			

Dichtheden zijn over het algemeen laag, lager dan bij de andere nevengeulen. Wel zijn er in verhouding tot de andere geulen meer reofiele soorten (6) aangetroffen. Reofiele vis (met name winde) is het meest voorkomend. De grote geul van Gameren stroomt het gehele jaar mee, het is dan ook te verwachten dat dichtheden reofiele vis hoger zijn.



Figuur 2.9. Dichtheden (zegenvisserij, per m²) en soortenrijkdom in de Gamerense waard, bemonstering 2009 (bron: Dorenbosch et al., 2011).

2.3 Klompenwaard

2.3.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

De Klompenwaard ligt in de Waal, vlakbij Doornenburg. In 1999 is deze strang uitgegraven en benedenstrooms aangetakt aan de Waal (Figuur 2.10). Het substraat bestaat over het algemeen uit slib en het water is 'buitengewoon troebel' (Peters & Kurstjens, 2009).



Figuur 2.10 Luchtfoto van de Klompenwaard.

Stysteem

De geul is aangelegd in de bovenrijn, een zeer dynamisch deel van de rijn met relatief veel water en sediment dynamiek. Naast scheepvaart, is een belangrijke externe randvoorwaarde bij het ontwerp van de geul is het zeer nabij stroomopwaards gelegen splitsingspunt waar de Rijn in de Waal en het Pannerdens kanaal splitst. Een permanent stromende geul zou voor scheepvaart tot aanzanding in de hoofdgeul kunnen leiden, en daarbij misschien de waterverdeling over de takken kunnen beïnvloeden.

Doel

De aanleg van de geul had 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 2.10 tussen de geul en de gegraven strang is een verbindende verlaging aangelegd). Van de nevengeul wordt gezegd dat deze in een gemiddeld jaar 56 dagen zou moeten meestromen, in droge jaren niet (5 jaar in 20^e 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.

Regelwerk

Het regelwerk bestaat uit een stortstenen drempel met een hoogte van 12 m +NAP, die meestroomt bij 4400 m³/s bij Lobith en 35 m breed is (Figuur 2.11).



Figuur 2.11 Instromopening 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 gelegd.

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 2.11).

Tabel 2.4 Hydraulische aspecten van de Nevengeul in de Klompenwaard, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van 2650 m³/s in het voorjaar en 2000 m³/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010)

	Eigenschappen geul
Secchi diepte (m, maat voor doorzicht)	0,21
Kritieke afvoer (m³/s)	4500
Aantal dagen meestromen	
Jaarlijks	18
Zomer	0
Winter	18
Paaiseizoen	11
Gemid. Stroomsnelheid (cm/s, standaard deviatie)	
Voorjaar	-
Zomer	-

Stromend oppervlak (Ha)	Voorjaar	0
	Zomer	0
Waterstandvariatie	Jaar	6,3
	Zomer	3,6
	Winter	6,0
	Paaiseizoen	5,0

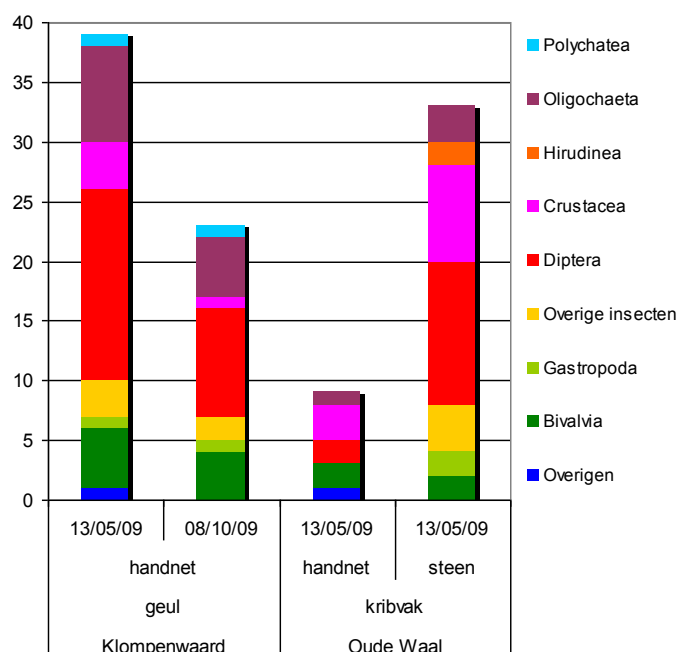
De in de doelstelling geformuleerde aantallen dagen meestromen (56 in gemiddelde jaren) zijn in de praktijk niet voorgekomen (Tabel 2.4). Daarbij is dat aantal dagen (56) niet genoeg om een doelstelling als meestromende geul te realiseren. Verder valt op dat de waterstandsverschillen gedurende het seizoen groot zijn, tot 5 m in het paai- annex groeiseizoen. Dat laatste is kenmerkend voor de bovenstroomse ligging van de geul in de Rijntakken.

2.3.3 Ecologische aspecten

Algemeen beeld: hoge waterstandsvariatie en troebel water zorgen voor afwezigheid van waterplanten. Het nauwelijks stromende en slibbige karakter van de geul komt tot uiting in hoge dichtheden borstelarme worden, lage dichtheden reofiele vis en hoge dichtheden eurytope vis. Dichtheden kreeftachtigen (waaronder enkele exoten) zijn in kribvakken hoger dan in de geul.

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 2.4 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.

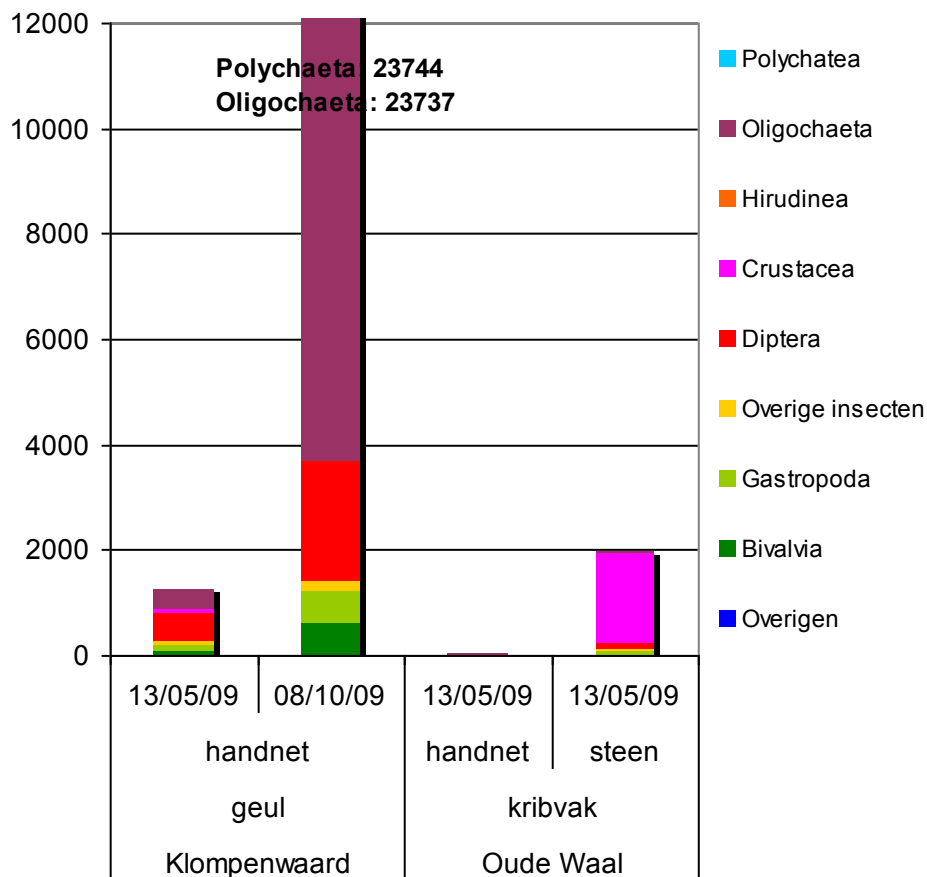
In Figuur 2.12 zijn voor macrofauna de soortenaantallen in de Klompenwaard en het nabij gelegen kribvak bij de Oude Waal in 2009 weergegeven. Opvallend is dat bij de handnetbemonstering het aantal soorten in de Klompenwaard veel hoger is dan in de geul. Bij de bemonstering op steen is dit niet het geval.



Figuur 2.12 Aantal soorten in de Klompenwaard en het kribvak bij de Oude Waal in het voorjaar (13/05/2009) en het najaar (08/10/2009). Voor het monster van 08/10/09 staan de dichtheden inclusief *Oligochaeta* en *Polychaeta* weergegeven. Voor een uitgebreide beschrijving van de gevolgde methodiek wordt verwezen naar De Rooij et al. (2010).

Daarnaast zijn er meer soorten borstelarme wormen (*Oligochaeta*) aangetroffen in de geul. *Oligochaeta* hebben veelal een voorkeur voor stilstaande wateren met een slibbige bodem. In de kribvakken is het aantal soorten keeftachtigen hoger. Deze prefereren doorgaans stromende omstandigheden, maar onder de groep vallen veel exoten. Met betrekking tot de dichtheden (Figuur 2.13) is dit beeld nog duidelijker. In de geul zijn de dichtheden bij handnetbemonstering (vooral *Oligochaeta*) veel hoger, met name bij de najaarsbemonstering. Daarnaast zijn ook enkele dansmuggen (*Chironomus* sp. en *Chironomus plumosus*) in hoge dichtheden aanwezig. Een mogelijke oorzaak voor de zeer hoge dichtheden in het najaar is de droogte die in 2009 is opgetreden. Hierdoor is de geul deels droog gevallen en zijn organismen verdeeld over een kleiner oppervlak.

De dichtheden in het kribvak zijn een stuk lager en ze worden gedomineerd door kreeftachtigen (*Crustacea*). Hierbij gaat het vooral om exoten, zoals *Dikerogammarus villosus*, *Jaera istri* en *Corophium* sp. Dit geldt met name voor het monster op steen: het monster dat is genomen met handnet heeft een zeer lage dichtheid (slechts 19 ind/m²).



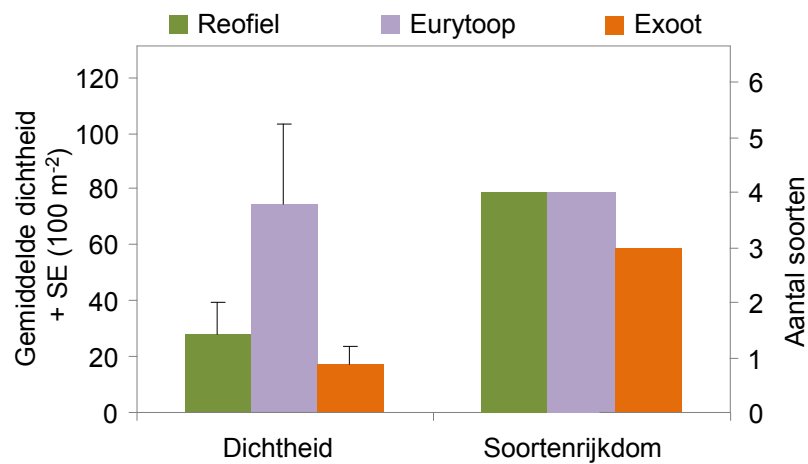
Figuur 2.13. Dichtheden per m² in de Klompenwaard en het kribvak bij de Oude Waal in het voorjaar (13/05/2009) en het najaar (08/10/2009). Voor het monster van 08/10/09 staan de dichtheden inclusief Oligochaeta en Polychaeta weergegeven. Voor een uitgebreide beschrijving van de gevolgde methodiek wordt verwezen naar De Rooij et al. (2010).

Met betrekking tot vis is uit de totale vangsten (Tabel 2.5) op te maken dat Baars, Blankvoorn, Brasem, Roofblei, Snoekbaars en Winde veel zijn aangetroffen. Bij een aantal soorten zijn de dichtheden dusdanig laag (< 4), dat het ook om een toevalstreffer kan gaan. Opvallend is dat dit vooral soorten zijn die geen specifieke habitatvoorkeur hebben (eurytoop), behalve Winde, een soort van meer stromende omstandigheden (reofiel), en roofblei (exoot).

Tabel 2.5 Resultaten (absolute aantallen) van zegenvisserij in de Klompenwaard, bemonstering 2009. Gilden naar Dorenbosch et al. (2009).

Soort	Gilde	#	Soort	Gilde	#
Alver	Reofiel	1	Pos	Eurytoop	76
Baars	Eurytoop	194	Roofblei	Exoot (reofiel)	138
Barbeel	Reofiel	1	Serpeling	Eurytoop	2
Blankvoorn	Eurytoop	361	Snoek	Limnofiel	21
Blauwneus	Exoot (reofiel)	1	Snoekbaars	Eurytoop	279
Brasem	Eurytoop	113	Winde	Reofiel	271
Kesslers grondel	Exoot (reofiel)	28	Witvingrondel	Exoot (reofiel)	1
Kolblei	Eurytoop	4			

In Figuur 2.14 zijn daarnaast de gemiddelde dichtheden per 100 m² en het aantal soorten (opgesplitst in reofiel, eurytoop en exoot) in de Klompenwaard weergegeven. Zoals te zien is de dichtheid van eurytope soorten het hoogst, wat voornamelijk is bepaald door het aantal Winde is de enige reofiele soort die in redelijke dichtheden voorkomt. Met betrekking tot exoten kent roofblei de hoogste dichtheid. Gezien het feit dat de geul nauwelijks meestroomt en het doorzicht laag is, is ook niet te verwachten dat reofiele vis in grote dichtheden zal voorkomen. De geul wordt gedomineerd door eurytopen.

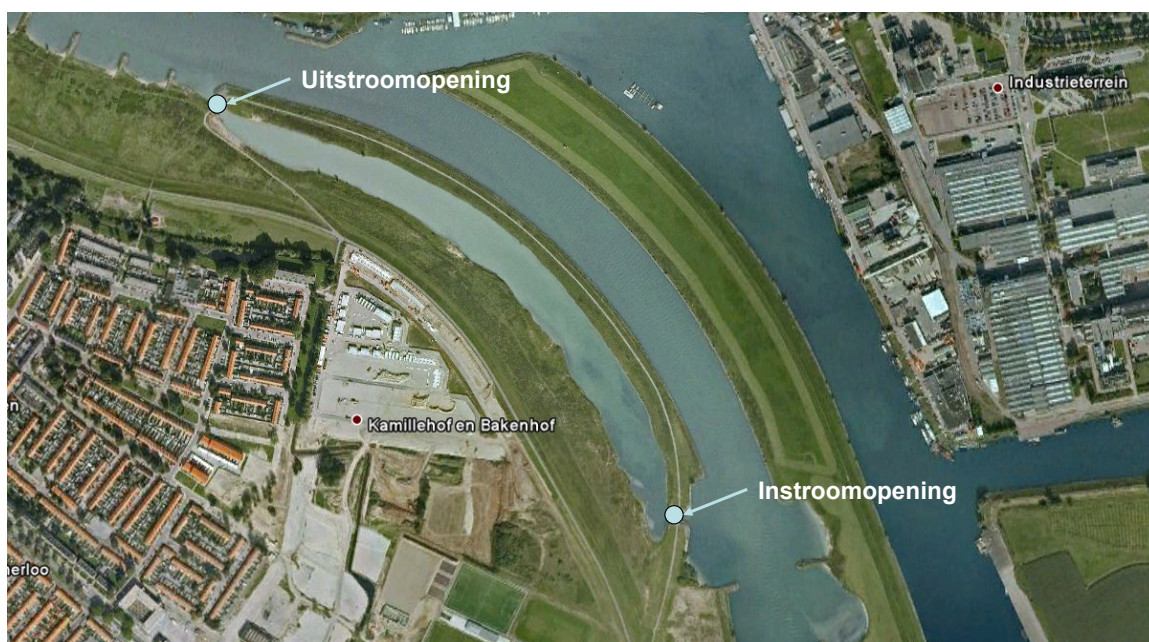


Figuur 2.14 Dichtheden (zegenvisserij, per m²) en soortenrijkdom in de Klompenwaard, bemonstering 2009 (bron: Dorenbosch et al., 2011).

2.4 Bakenhof

2.4.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

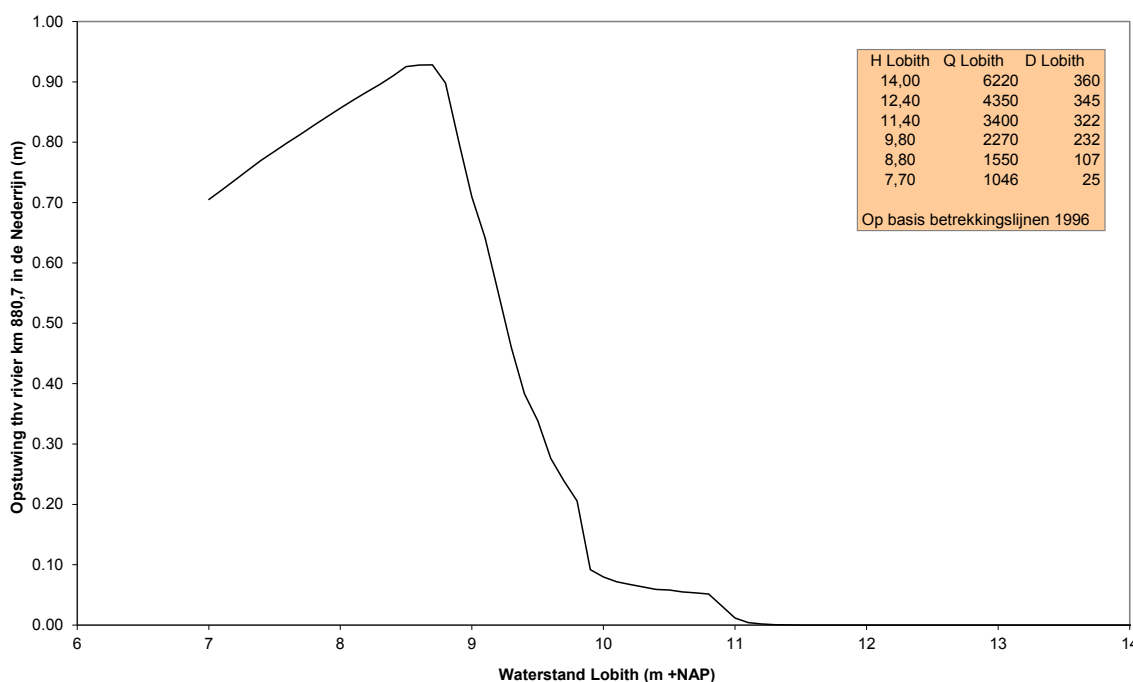
De Bakenhof is een in 2002 voltooide nevengeul in de Nederrijn (gestuwd) nabij Arnhem, zie Figuur 2.15. De geul is in 2009 (bij extreem laag water) deels droog gevallen. De geul wordt beschreven als zéér slibrijk en enigszins troebel (Peters & Kurstjens, 2009).



Figuur 2.15 Luchtfoto van de Bakenhof.

System

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 2.16), hierdoor wordt het debiet door de hoofdgeul beïnvloed en als gevolg ook het debiet door de nevengeul.



Figuur 2.16 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 nevendoeel.

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 betreft ook een brug met duiker waarvan de bodemhoogte 6.7 m +NAP is en 8 m breed.



[foto a. sieben. Instroomopening vanaf geulzijde en een zandplaat in de geul. Genomen 11 juni 2009]

2.4.2 Hydraulische en morfologische aspecten

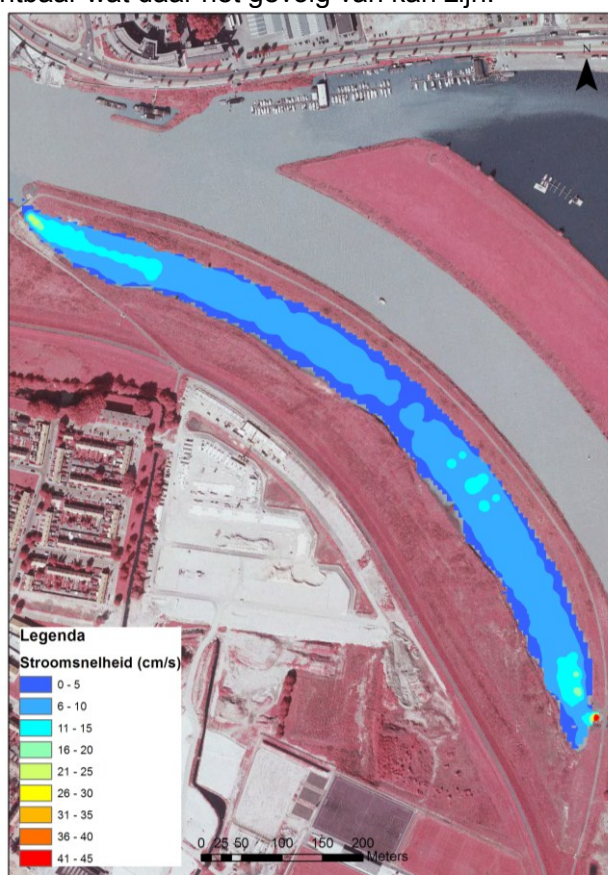
De bakenhof is gedurende het hele jaar aangetakt, alleen bij extreem laagwater stroomt deze niet mee (<850 m³/s bij Lobith). De stroomsnelheden (en het debiet) variëren flink tussen de voorjaars en zomer waterstanden. Het is niet helemaal zeker of de aangereikte stroomsnelheden wel kloppen, zeker die van het voorjaar zijn nogal hoog in vergelijking met de andere geulen (Gameren en Vreugderijkerwaard). In de zomersituatie zullen de stuwen effect hebben op de stroomsnelheid, wat een verklaring kan zijn voor het lage debiet door de geul.

Tabel 2.6 Overzicht hydraulische aspecten van de nevengeul bij de Bakenhof, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van 2650 m³/s in het voorjaar en 2000 m³/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010)

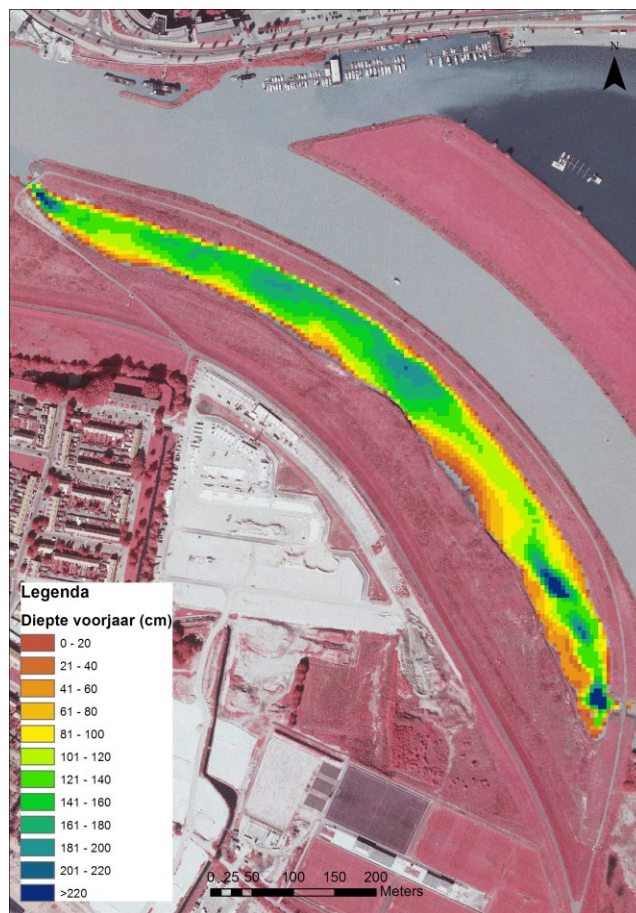
	Eigenschappen geul
Secchi diepte (m, maat voor doorzicht)	0,35
Kritieke afvoer (m ³ /s)	850
Aantal dagen meestromen	
Jaarlijks	364
Zomer	183
Winter	181
Paaiseizoen	180
Gemid. Stroomsnelheid (cm/s, standaard deviatie)	
Voorjaar	10 (20)
Zomer	3 (12)

Water stromend oppervlak (Ha)		
	Voorjaar	0,6
	Zomer	0
Waterstandvariatie		
	Jaar	4,5
	Zomer	2,4
	Winter	4,4
	Paaiseizoen	3,4

De stroomsnelheden in de geul zijn het hoogst bij de in- en uitstroomopeningen (Figuur 2.17). De waterdiepten zijn bijna overal kleiner dan 2 m, behalve net na de instroomopening en in het smallere deel bij de uitstroomopening (Figuur 2.18). Bij de instroomopening zal het uit het gat geerodeerde sediment zich in de geul herverdeelt hebben, op 1/3 geullengte is in de geul een ondieper deel zichtbaar wat daar het gevolg van kan zijn.



Figuur 2.17 Stroomsnelheden in de nevengeul in de Bakenhof bij een representatieve voorjaarsafvoer ($2650 \text{ m}^3/\text{s}$).



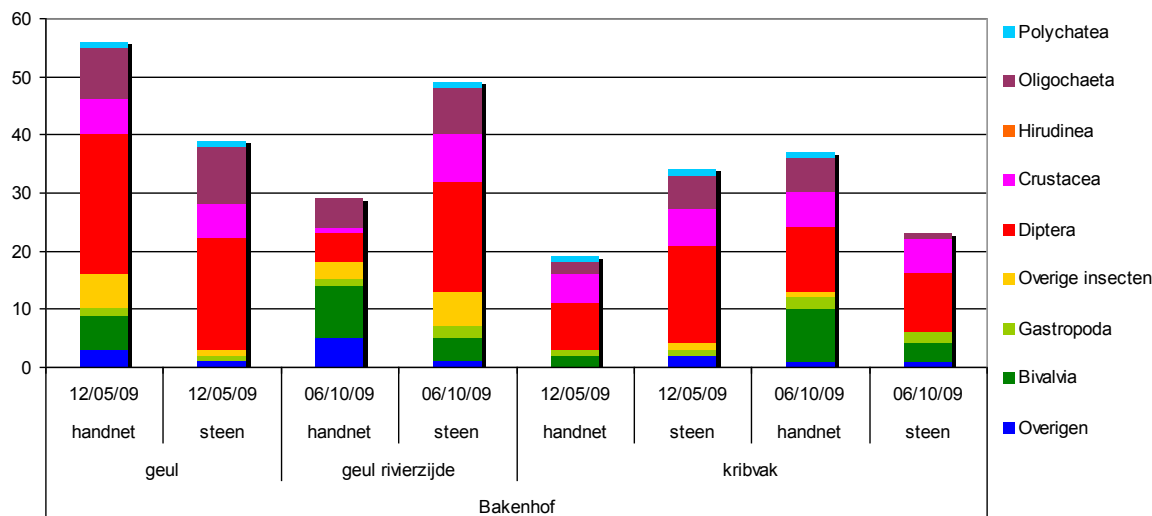
Figuur 2.18 Waterdiepte in de nevengeul in de Bakenhof in het voorjaar. Het grootste deel van de bakenhof is ondieper dan 2 m. Na de instroomopening is een erosie gat en daarna een ondiepte te zien, ook vlak voor de uitstroomopening is de geul dieper, waarschijnlijk doordat de geul daar smaller is.

2.4.3 Ecologische aspecten

Algemeen beeld: Het deels droogvallen van de geul in 2009 en het troebele karakter zorgen mogelijk voor afwezigheid van waterplanten. Het gestuwde karakter van de geul komt tot uiting in hoge dichtheden borstelarme wormen en andere limnofiele macrofauna, zeer lage dichtheden reofiele vis en hoge dichtheden eurypote vis. Dichtheden kreeftachtigen (*Gammaridae*, in dit geval met name exoten) zijn op steen en in kribvakken hoger.

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 drooggevallen in de nazomer van 2009 en het troebele karakter (gemiddeld 35 cm doorzicht) een rol.

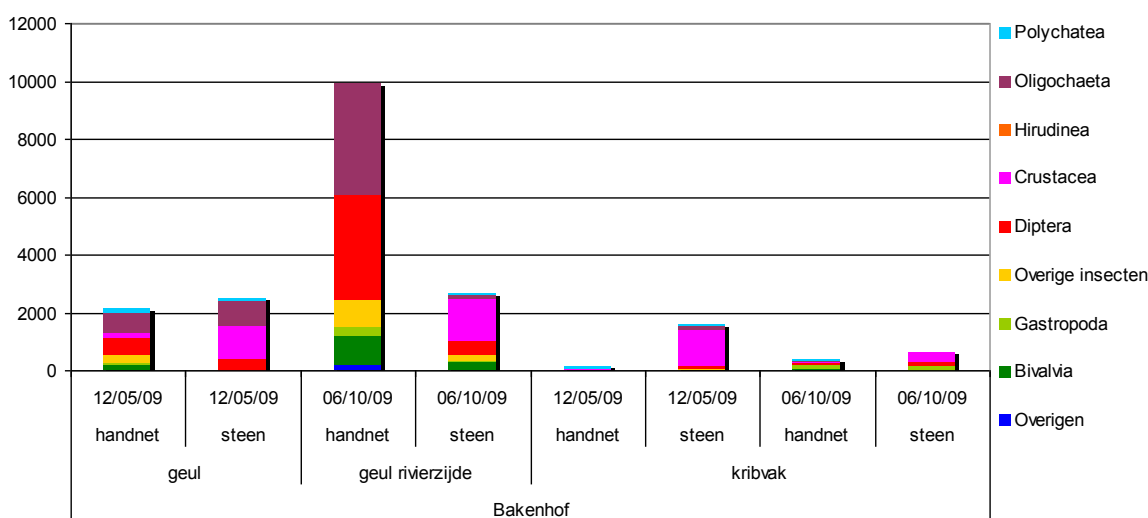
Figuur xxx laat het aantal soorten bij bemonstering van de Bakenhof in zowel de geul als een kribvak in de Nederrijn bij de Bakenhof zien. Monsters zijn zowel met handnet als op steen genomen. Het aantal taxa is bij de voorjaarsbemonstering beduidend hoger in de geul dan in de kribvakken, met name bij de bemonstering met een handnet. Bij de najaarsmonsters is dit beeld minder duidelijk. Ook hier geldt dat het praktisch droogvallen van de geul in de nazomer van 2009 invloed lijkt te hebben gehad.



Figuur 2.19. Aantal soorten in de nevengeul van de Bakenhof en nabijgelegen kribvakken, zowel handnet als steenmonsters (uit De Rooij et al., 2010)

De abundanties (per m²) zijn hoger in de nevengeul dan in het kribvak. Met name het najaarsmonster dat met handnet is genomen kent een hoge dichtheid, die voornamelijk wordt bepaald door borstelarme wormen en *Diptera* (vooral *Einfeldia carbonaria*, karakteristiek voor stilstaand water en meren). Ook hier geldt een mogelijke invloed van de droogte in 2009. Ook het voorjaarsmonster bevat hoge dichtheden van een aantal soorten van stilstaande wateren, zoals *Oligochaeta*, de waterwants *Micronecta Scholtzi*, en *Einfeldia carbonaria*.

Crustacea, met name exoten als *Jaera istri*, *Dikerogammarus* sp. en *Corophium* sp., zijn dominant op de steenmonsters. Dat geldt voor zowel de geul als het kribvak, rond de 50% en in het najaarsmonster op steen in het kribvak zelfs meer dan 80%.



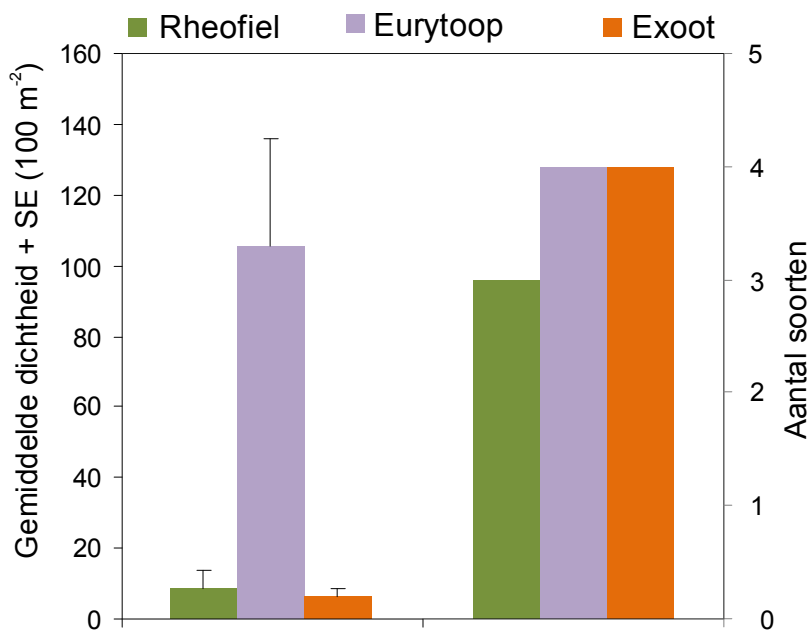
Figuur 2.20. Abundanties (indiv. per m²) in de nevengeul van de Bakenhof en nabijgelegen kribvakken, zowel handnet als steenmonsters (uit De Rooij et al., 2010).

Kijkend naar de resultaten van de vismonitoring (Tabel xxx), valt op dat de gemeenschap de weinig stromende omstandigheden reflecteert. Eurytope vis (baars, blankvoorn, brasem en pos) is veruit het meest gevangen. De enige reofiele soort die in redelijke dichtheden is

gevangen is winde. Dit uit zich ook in de dichtheden per m²: eurytope vis is sterk dominant (zie Figuur xxx). Mogelijk is dit het gevolg van de droogte in 2009, maar ook kan dit het gevolg zijn van het feit dat de geul nauwelijks stroomt en behoorlijk troebel is (REF). Exoten komen eveneens in lage dichtheden voor.

Tabel 2.7 Resultaten (absolute aantallen) van zegenvisserij in de Bakenhof, bemonstering 2009. Gilden naar Dorenbosch et al. (2009).

Soort	Gilde	#	Soort	Gilde	#
Alver	Reofiel	17	Rivierdonderpad	Reofiel	1
Baars	Eurytoop	582	Riviergrondel	Reofiel	1
Blankvoorn	Eurytoop	613	Roofblei	Exoot	85
Brasem	Eurytoop	195	Serpeling	Reofiel	2
Kesslers grondel	Exoot	52	Sneep	Reofiel	6
Kopvoorn	Reofiel	4	Snoekbaars	Eurytoop	41
Marm grondel	Exoot	17	Vetje	Limnofiel	1
Pontische stroomgrondel	Exoot	71	Winde	Reofiel	239
Pos	Eurytoop	228	Witvingrondel	Exoot	85



Figuur 2.21. Dichtheden (zegenvisserij, per m²) en soortenrijkdom in de Bakenhof, bemonstering 2009 (bron: Dorenbosch et al., 2011).

2.5 Vreugderijkerwaard

2.5.1 Beschrijving nevengeul en doel bij aanleg

De stromende nevengeul van de Vreugderijkerwaard is gelegen aan de IJssel, bij Zwolle (Figuur 2.22). Ze is ontstaan tussen 2000 en 2004, door het aantakken van enkele kleiplassen en vergraven van tussenliggende gronden. Vanaf 2002 kon de geul meestromen en er stroomt bij laagwater maximaal 1.5% van de afvoer van de IJssel.



Figuur 2.22 Luchtfoto van de Vreugderijkerwaard.

Systeem

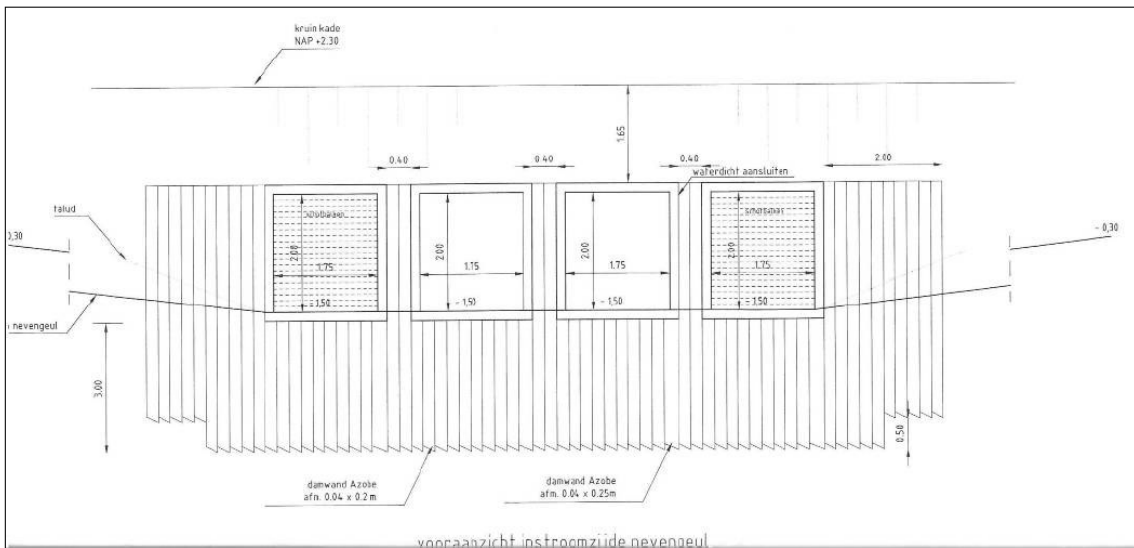
De nevengeul ligt benedenstrooms in de IJssel; de rivier is hier vrij afstromend. De waterdynamiek (stroomsnelheden en waterstandvariatie) en morfologische dynamiek zijn hier van nature lager dan meer bovenstrooms in de rijntakken.

Doel

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

Regelwerk

Zowel de inlaat- als de uitlaatopening bevatten regelwerken. De duiker bij de inlaat heeft een bodemhoogte van onderkant -1.5 m+NAP en aan de bovenkant 0.5 m +NAP, de breedte is 2x1.75 m. De duiker bij de uitlaat heeft eenzelfde aan de onderkant van -1.5 m+NAP en aan de bovenkant 0.5 m+NAP. De duiker bestaat uit vijf elementen (elk identiek aan de elementen bij het inlaatwerk), alle vijf de duikers zijn open, de breedte is 5x1.75 m of 17,5 m² doorstroomoppervlak. [Let op, tegenstrijdige info van Arjan Sieben]



Figuur 2.23 Ontwerptekening van het inlaatwerk bij de Vreugderijkerwaard. Twee van de vier duikers zijn afgesloten, het doorstroom oppervlak is 7 m^2 (bron DHV, 2009)



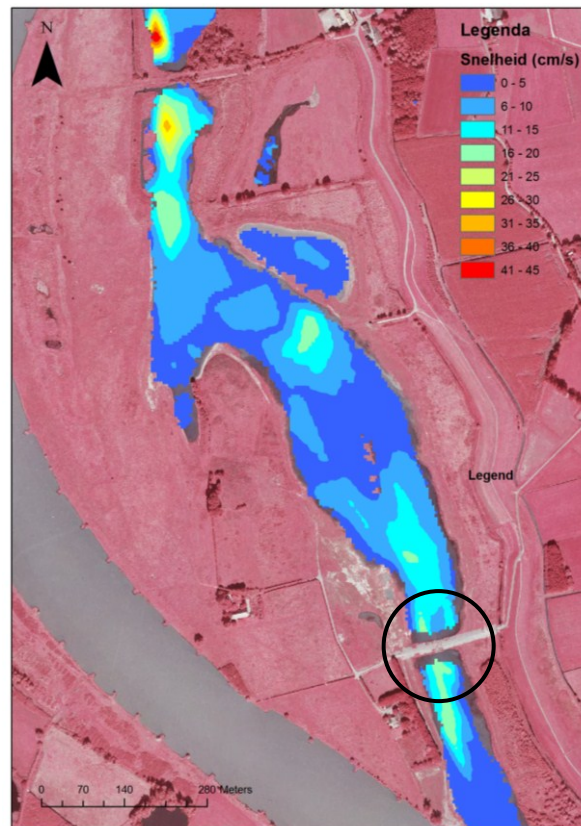
Figuur 2.24 Duikers van de instroomopening in de nevengeul in de Vreugderijkerwaard.

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 2.8). Dat is terug te zien in de geringe verschillen van het wateroppervlak en de kleine waterstandvariatie in het paai- annex groeiseizoen. De grootte van de (oppervlakte) gemiddelde stroomsnelheid is laag en varieert flink in de geul.

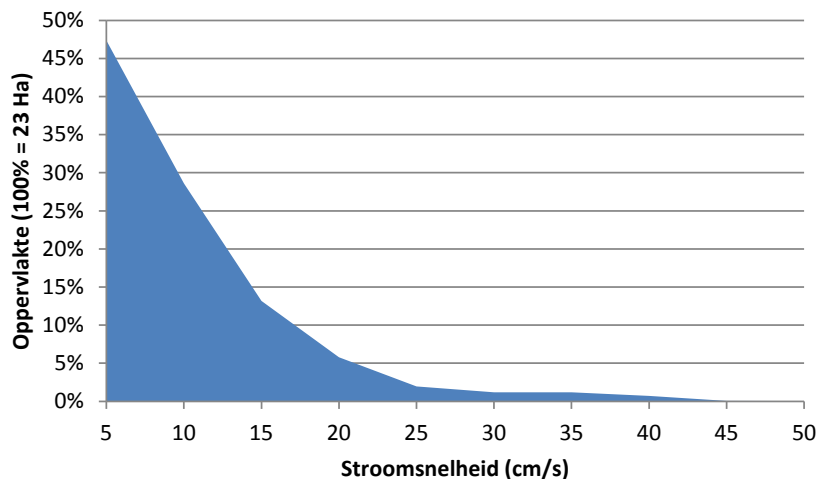
Tabel 2.8 Hydraulische aspecten van de nevengeul in de Vreugderijkerwaard, de kentallen zijn berekend bij een bovenrijnafvoer van 2650 m³/s in het voorjaar en 2000 m³/s in de zomer (bronnen: WD, 2010, 2011 en DHV, 2009, Dorenbosch et al., 2010).

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



Figuur 10.1: Stroomsnelheden in de Vreugderijkerwaard, situatie voorjaar met 8 m³/s geuldebiet, bij een bovenrijnafvoer van 2650 m³/s. De stroomsnelheid varieert tussen 0 en 45 cm/s en de stroomrichting is naar het noorden. De cirkel geeft de locatie van het regelwerk aan.

De gemiddelde stroomsnelheid is een hele versimpelde weergave van de werkelijkheid. In figuur 10.3 staat de stroomsnelheidsverdeling naar oppervlakte gegeven uit figuur 10.1. Ongeveer 5% van het oppervlak stroomt bij 8 m³/s debiet sneller dan 25 cm/s. De helft van het oppervlak stroomt harder dan 5 cm/s, de andere helft minder dan 5 cm/s, in de zomer is deze verdeling nagenoeg identiek.



Figuur 10.3 Stroomsnelheidsverdeling over oppervlakte in het voorjaar, Vreugderijkerwaard. De helft van de oppervlakte heeft een stroomsnelheid van 5 cm/s of groter.

2.5.3 Ecologische aspecten

Algemeen beeld: de Vreugderijkerwaard ligt in een meer stroomafwaarts traject en dit biedt kansen voor waterplanten. Deze zijn dan ook volop aanwezig. Daarnaast stroomt de geul door en worden soorten van stromende omstandigheden aangetroffen in de geul. Ook de dichtheden reofiele vis zijn behoorlijk hoog, al betreft dit voornamelijk winde.

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 2.29. 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 2.29), wat mogelijk het gevolg is van graas door ganzen, die het water gemakkelijk kunnen bereiken door de kale oevers.

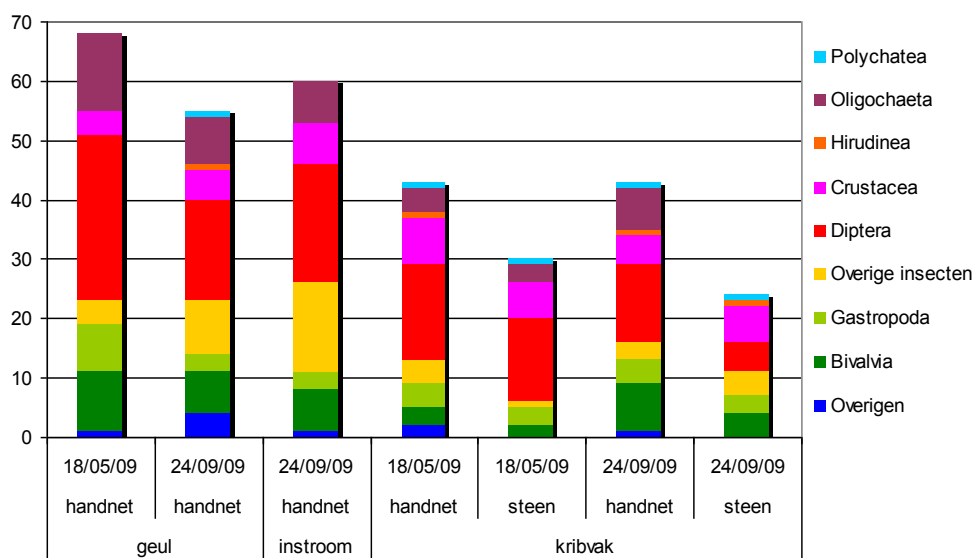
Tabel 2.9. Gevonden water- en oeverplanten in de Vreugderijkerwaard (zomer 2009).

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

In de Vreugderijkerwaard zijn de soortenaantallen over het algemeen hoger dan in de andere nevengeulen. In de drie genomen monsters ligt het soortenaantal tussen de 55 en 78. Ook is het aantal soorten in de geul hoger dan in de kribben/kribvakken. Wel is het aantal soorten in de kribvakken van de IJssel over het algemeen wat hoger dan in kribvakken binnen de andere Rijntakken. Daarnaast valt op dat de verschillen tussen voor- en najaar hier een stuk kleiner zijn. De Vreugderijkerwaard is tijdens de droge periode in 2009 niet drooggevallen of stil komen te staan.

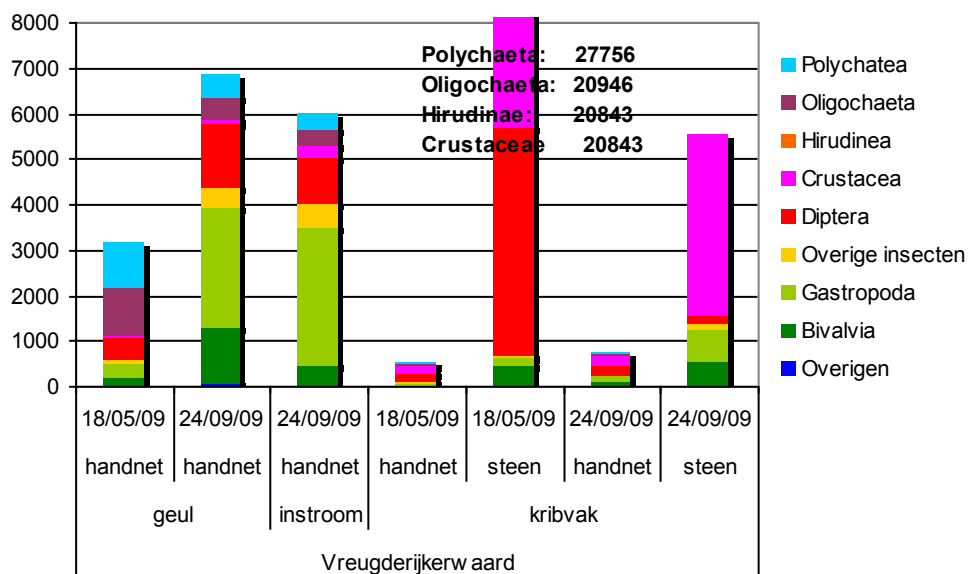
Daarnaast zijn behoorlijk veel soorten Chironomiden (dansmuggen) aangetroffen in de geul (maximaal 28 per monster, zie Figuur 2.25). Meest opvallend is echter dat er in de

handnetmonsters in het najaar een aantal kokerjuffers zijn aangetroffen, waaronder de rode lijstsoort *Tinodes waeneri* (De Rooij et al, 2010). Ook is er in de geul een verscheidenheid aan mosselen (*Bivalvia*) en slakken (*Gastropoda*) aangetroffen waarvan *Pisidium henslowanum* en *Pisidium moitessierianum* voornamelijk voorkomen onder stromende omstandigheden.



Figuur 2.25. Aantal soorten in de nevengeul van de Vreugderijkerwaard en nabijgelegen kribvakken, zowel handnet als steenmonsters (uit De Rooij et al., 2010).

Dichtheden variëren sterk per monster, al geldt hier ook dat de najaarsmonsters in de geul over het algemeen een wat hogere dichtheid hebben. Kribvakmonsters worden met name wanneer ze op steen zijn genomen ook gedomineerd door *Crustacea* (met name *Jaera istri*).

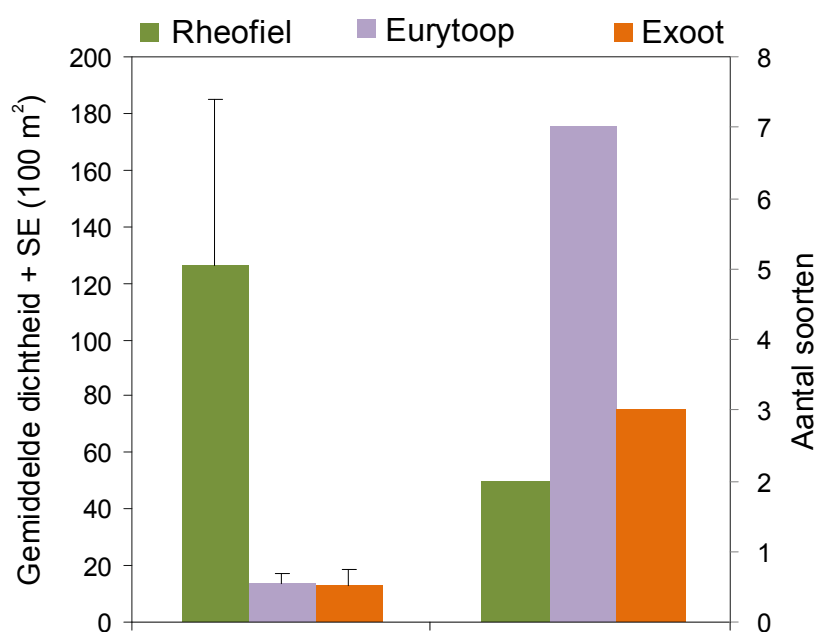


Figuur 2.26. Abundanties (individuen per m²) in de nevengeul van de Vreugderijkerwaard en nabijgelegen kribvakken, zowel handnet als steenmonsters (uit De Rooij et al., 2010). Voor het monster van 18/05/09 op steen in het kribvak staan de dichtheden inclusief andere soortgroepen weergegeven.

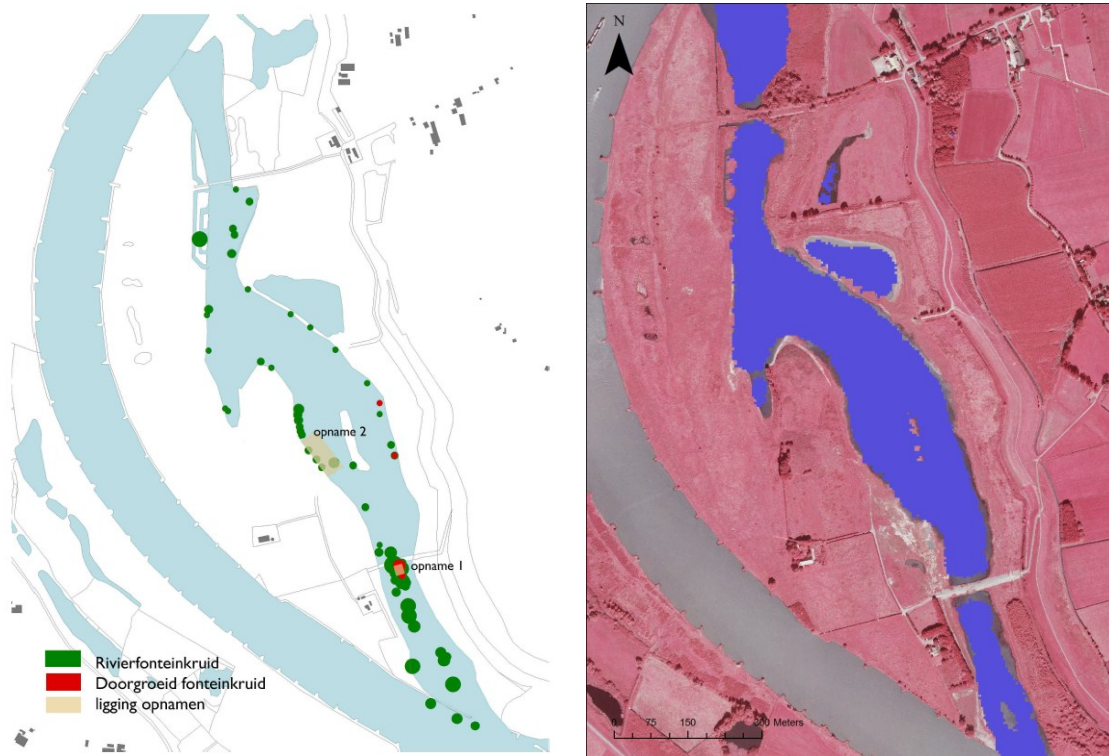
In de resultaten van de vismonitoring (Tabel 2.10), valt op dat er grote hoeveelheden winde zijn gevangen. Dit betreft voornamelijk jonge exemplaren (afgekort REF). Andere abundante vissen zijn de eurytopen baars en blankvoorn en de exoten roofblei en witvingrondel. Wel zijn meer eurytope soorten gevangen dan in de andere nevengeulen. Zoals te zien in Figuur 2.27 is reofiele vis dan ook dominant in de geul, al komt dit voornamelijk door de aantallen gevangen winde. Dichtheden eurytope vis zijn veel lager: minder dan 20 individuen per 100 m², waar in de Klompenwaard en Bakenhof dit 80-100 per m² was.

Tabel 2.10 Resultaten (absolute aantallen) van zegenvisserij in de Vreugderijkerwaard, bemonstering 2009. Gilden naar Dorenbosch et al. (2009).

Soort	Gilde	#	Soort	Gilde	#
Alver	Reofiel	9	Marmergrondel	Exoot	19
Baars	Eurytoop	159	Paling	Diadroom	1
Barbeel	Reofiel	1	Pos	Eurytoop	4
Blankvoorn	Eurytoop	302	Rivierdonderpad	Reofiel	2
Bot	Reofiel	2	Riviergrondel	Reofiel	1
Brasem	Eurytoop	37	Roofblei	Exoot	162
Brasem/kolblei	Eurytoop	11	Sneep	Reofiel	8
Driedoornige stekelbaars	Eurytoop	1	Snoekbaars	Eurytoop	46
Kleine modderkruiper	Eurytoop	38	Winde	Reofiel	1253
Kolblei	Eurytoop	1	Witvingrondel	Exoot	223



Figuur 2.27. Dichtheden (zegenvisserij, per m²) en soortenrijkdom in de Vreugderijkerwaard, bemonstering 2009 (bron: Dorenbosch et al., 2011).



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 op grasoevers lijkt een oorzaak te zijn voor het minder voorkomen van waterplanten na het regelwerk.

2.6 Meerwaarde t.o.v. hoofdgeul en vergelijk tussen de geulen

2.6.1 Levert de nevengeul meerwaarde ten opzichte van de andere wateren?

Waterplanten

Waterplanten worden in kribvakken, nevengeulen, aangetakte strangen en plassen aangetroffen. De nevengeulen biedt een langzaam stromend milieu voor waterplanten. Waterplanten in nevengeulen zijn van belang omdat waterplanten zelf ook weer een habitat vormen voor vis en macrofauna. Juist specifiek in stromende geulen waar minder waterdynamiek is dan in de hoofdgeul.

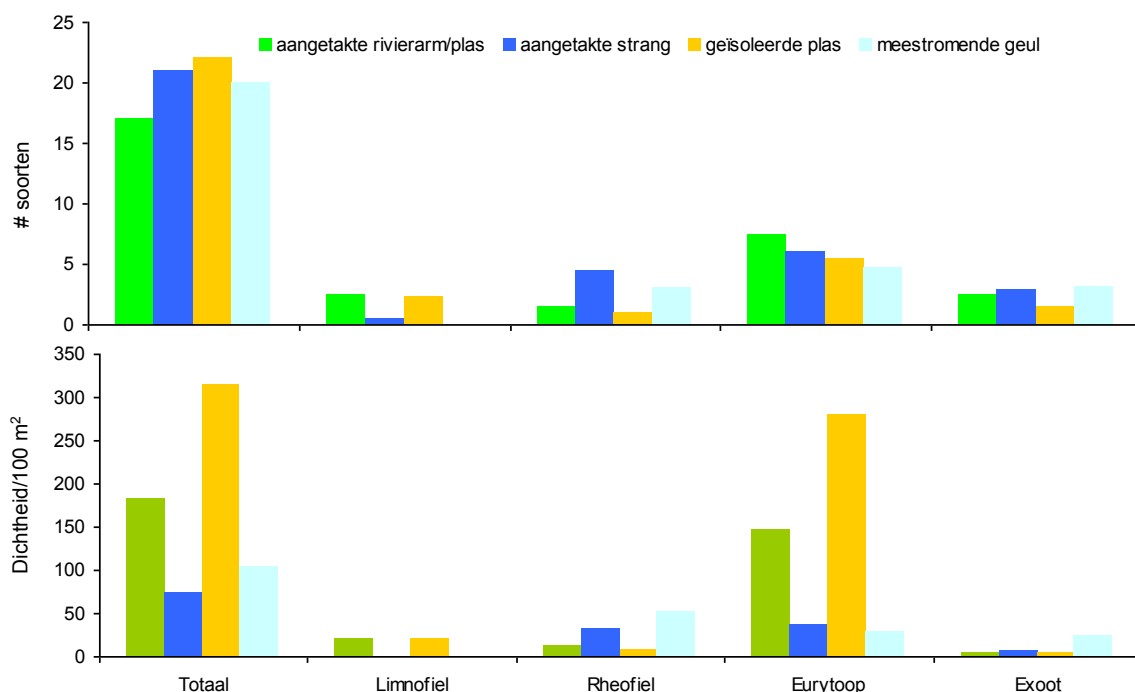
Macrofauna

Het aantal taxa is hoger in de nevengeulen dan in de kribvakken. In de IJssel (zowel hoofdgeul als nevengeul) zijn de soortenaantallen ook hoger. In de Klompenwaard is het aantal soorten laag. Ook opvallend is het hoge aandeel kreeftachtigen (Crustacea). Dit betreft voornamelijk exoten, die in kribvakken aanzienlijk meer voor lijken te komen.

Vis

In 2009 zijn nevengeulen en andere wateren langs de rivier onderzocht op dichtheid en samenstelling van de juveniele vissoorten (Figuur 2.29). In staan visgilden die in deze

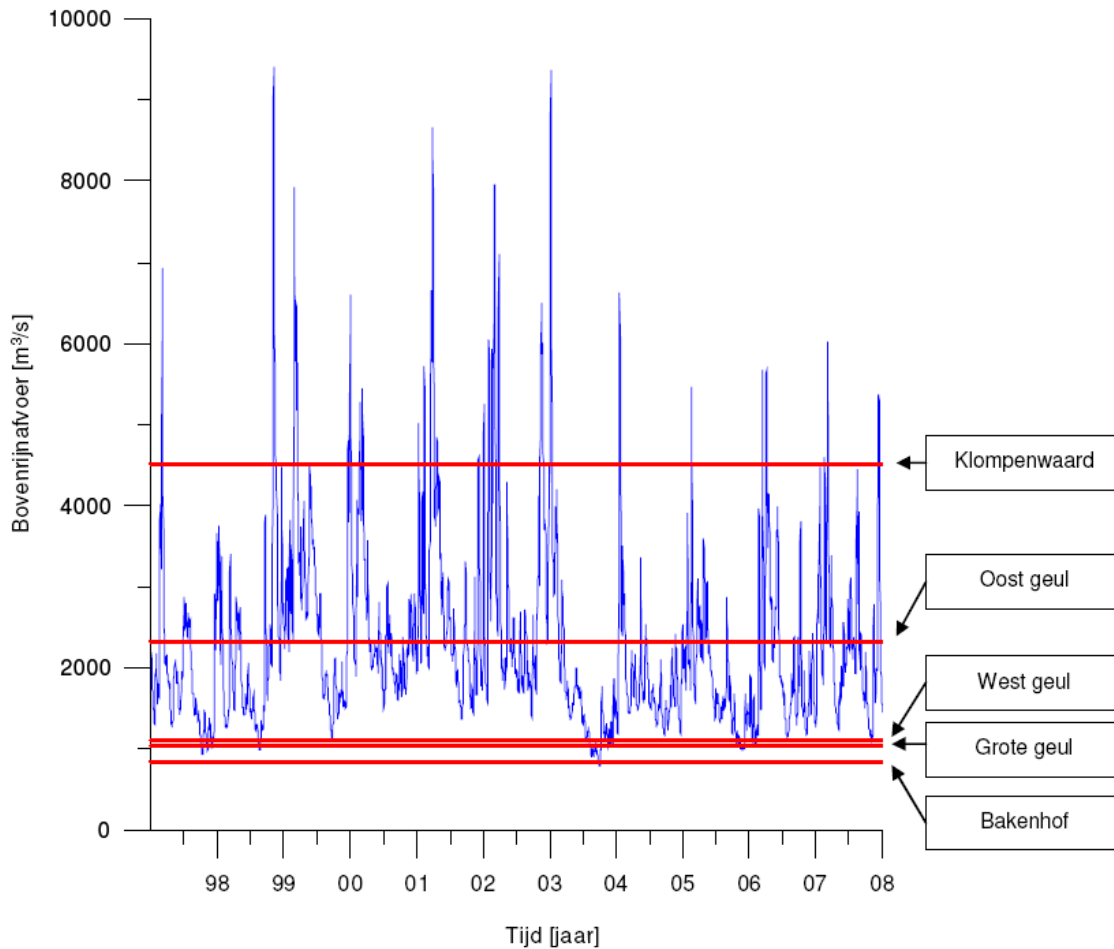
wateren voorkomen gerangschikt naar mate en type van aantakking. Een beoordeling op het aantal dagen meestromen versus het voorkomen van reofiele vis is niet te geven, maar wel zijn de verschillen tussen meer en minder aangetakte wateren goed zichtbaar. De visdichtheid in geïsoleerde plassen en aangetakte 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 Griff (2001).



Figuur 2.29 Resultaten van het nevengeulenonderzoek in de Rijn uit 2009. De gegevens betreffen alleen juveniele vis. Alle bemonsteringsmethoden zijn meegenomen (Dorenbosch et al., 2011).

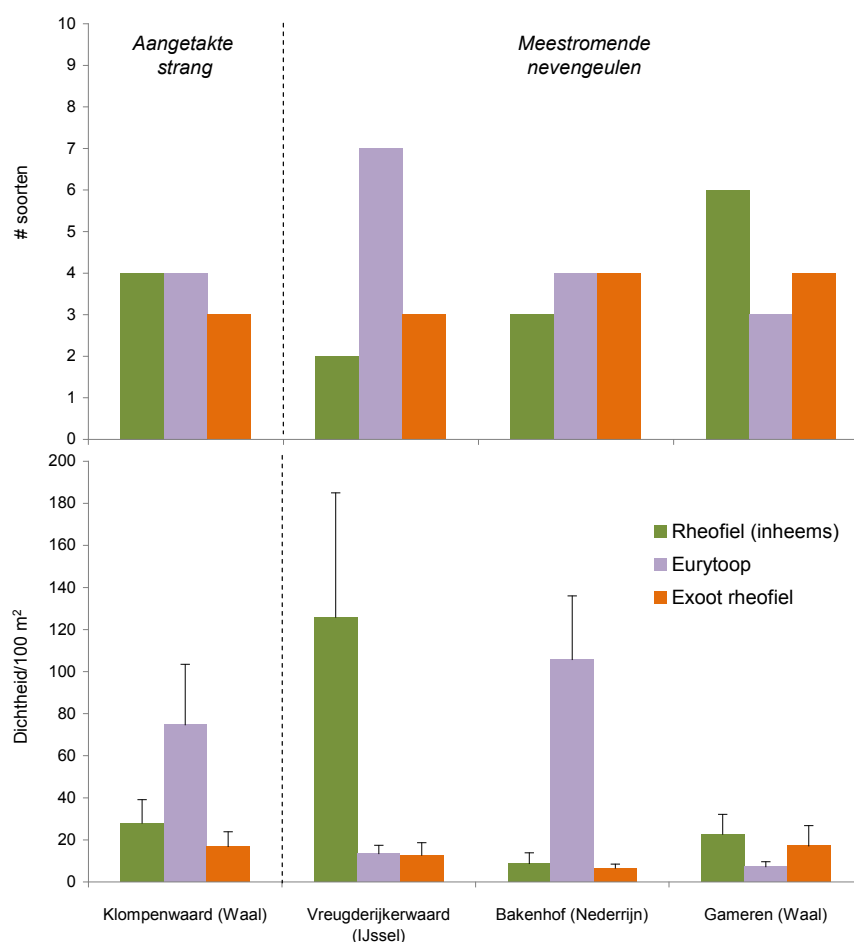
2.6.2 Vergelijk van de nevengeulen onderling

De nevengeulen hebben niet alle het ecologisch redement van een meestromende geul. Voor het grootste deel is dat bepaald door de mate van aantakking. Figuur 2.30 geeft een overzicht van de mate van aantakking bij de in het verleden voorgekomen afvoeren van de nevengeulen, de vreugderijkerwaard is altijd meestromend.



Figuur 2.30 Afvoeren van de Boven-Rijn (1997-2008) en kritieke afvoeren voor de geulen (DHV, 2009).

Wanneer de resultaten per geul worden bekeken (Figuur 2.31) is met name in de Vreugderijkerwaard (IJssel) te zien dat de dichtheden reofiele vis hoger zijn. Dit betreft echter voornamelijk exemplaren van de soort “Winde”. In de Bakenhof en Klompenwaard (strang) zijn de dichtheden eurytope vis veel hoger, wat er op duidt dat deze geulen niet goed functioneren als stromende nevengeul. De klompenwaard stroomt nagenoeg niet mee, dat is hier de bepalende factor voor stroomminnende vissen. Voor de Bakenhof is dat vreemd aangezien deze wel het hele seizoen met de hoofdgeul is verbonden. De andere factoren stroomsnelheid en substraat kunnen hier een bepalender rol spelen, zie hiervoor de volgende hoofdstukken.



Figuur 2.31 Resultaten van het nevengeulenonderzoek in de Rijn uit 2009, per geul. De gegevens betreffen alleen juveniele vis. Alle bemonsteringsmethoden zijn meegenomen (Dorenbosch et al., 2011).

2.6.3 Stroomsnelheid in nevengeulen

Het koppelen van soorten aan gemeten stroomsnelheden is niet mogelijk met de bestaande datasets. Toch is geprobeerd de velddata uit de nevengeulen te correleren aan de berekende stroomsnelheden en de variatie in de zomer en lente. Daaruit kunnen indicaties komen over de respons van soorten op de stroomsnelheid. Omdat het aantal geulen laag is, sommige monsters mengmonsters zijn en per monster de lokale stroomsnelheden niet zijn gemeten, moet zorgvuldig worden geïnterpreteerd. Zwakke correlaties kleiner dan 0,4 zijn weggelaten, de positieve correlaties zijn met + weergegeven, de negatieve met -. Een voorbeeld van positieve correlatie is een toename van het aantal soorten met toenemende stroomsnelheid, een negatieve is bijvoorbeeld een afname van aantal soorten met toenemende stroomsnelheid.

Dat stroomsnelheid een positieve invloed heeft op stroomminnende soorten wordt bevestigd doordat kenmerkende soorten macrofauna een positieve correlatie hebben met stroomsnelheden in de zomer en het aantal dagen stromend water. Verder valt op dat niet kenmerkende soorten (de meeste DN, dominant negatief indicierend) negatief reageren op stroming (een negatieve correlatie hebben). Dit geldt ook voor waterplantminnende

(limnofiele) vis, dat qua aantallen en soorten sterk negatief verband houdt met aanwezigheid van stroming in de lente.

De bakenhof, in Figuur 2.31 een uitzondering met veel eurytope vis, is ook hier een buitenbeentje. Dezelfde analyse is uitgevoerd zonder de bakenhof-monsters mee te nemen (data niet weergegeven). Daaruit blijkt dat alle correlaties met stroomminnende en diadrome soorten in de lente veel sterker worden voor zowel vis als macrofauna. Eurytope vis blijkt een sterke negatieve relatie te krijgen met stroming. Hieruit blijkt dat de Bakenhof a-typisch werkt, er is wel stroming maar de soortensamenstelling indiceert dat niet.

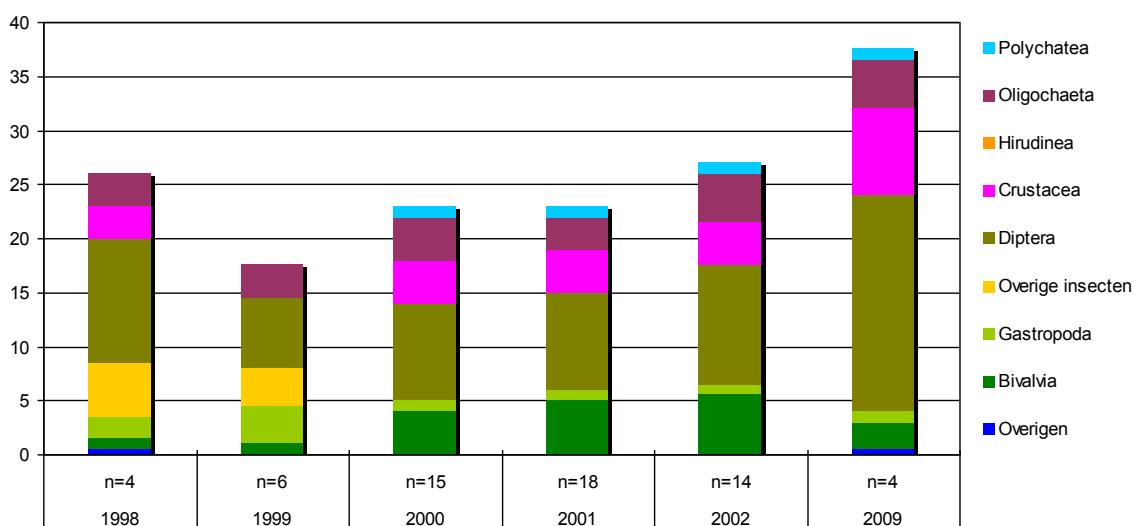
Tabel 2.11 Overzicht van correlaties uit de gegevens. Alleen correlaties groter dan 0,4 zijn weergegeven, positieve met +, negatieve met -, correlaties groter dan 0,8 zijn met een dubbel teken weergegeven. Let wel op, het aantal samples is erg klein, dus correlaties zijn alleen indicatief en geen bewijs.

		Stroomsnelheid (zomer)	STD (zomer)	Stroomsnelheid (lente)	STD (lente)	Dagen stromend
Macrofauna	Totale abundantie (klassen)	+				
	% abundantie DP + KM taxa	+				+
	% abundantie DN taxa	-	-			
	% KM taxa	++	+			+
	Aantal families EPT					
	EKR	++	+			
	# taxa					
	abd.					
	RP			+	+	
	N (# samples)	12	12	12	12	30
Vis	# rheofiel*					
	# diadroom*		+			
	# limnofiel*			--	--	
	# eurytoop					
	abd. Rheofiel*					
	abd. Diadroom	++	+			
	abd. Limnofiel*			--	--	
	abd. Eurytoop					
	EKR vis	+	+			
	N (# samples)	5	5	5	5	8

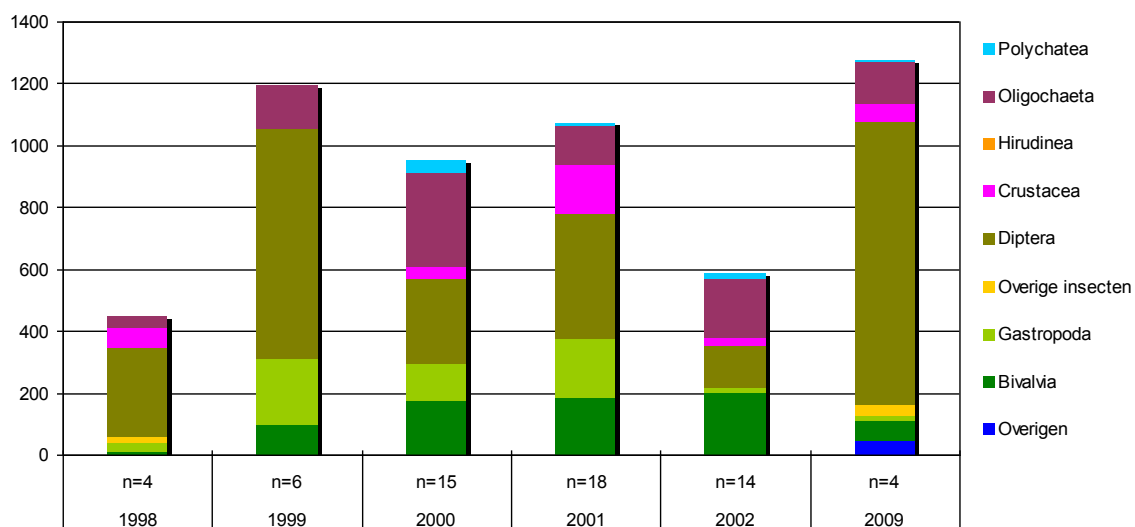
2.6.4 Ontwikkeling van de ecologie van een geul

De nevengeulen bij Gameren zijn in het verleden uitgebreid onderzocht. De eerste waterplanten zijn pas 10 jaar na aanleg in de geulen gevonden, waarschijnlijk een combinatie van zaad aanvoer en toenemende geschiktheid vanwege de morfologische ontwikkeling van de geul. Ook de macrofauna laat zien dat het aantal soorten na aanleg toeneemt, de abundanties schommelen meer (Figuur 2.32 en Figuur 2.33). De stromingsminnende vis heeft de geul snel gekoloniseerd en komt in 1999 al voor, maar het aandeel eurytope vis (niet specifiek stromingsminnend) is sterk afgenomen.

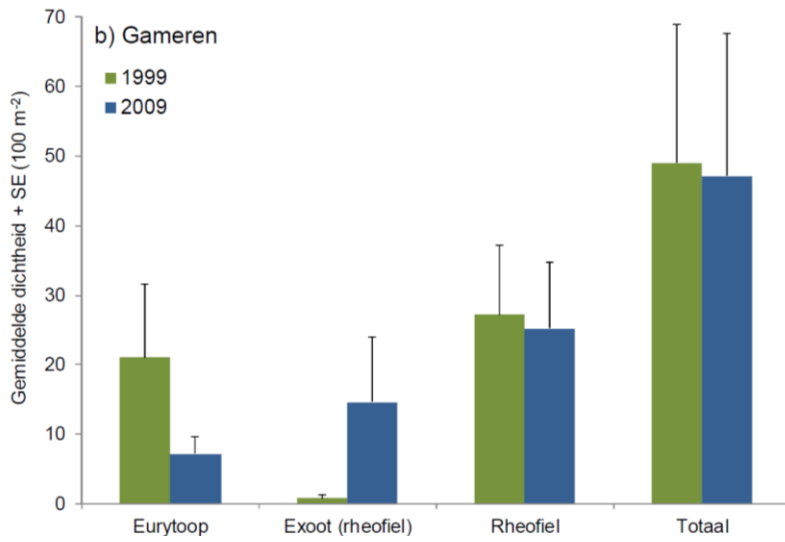
Duidelijk is dat de nevengeulen zich langzaam ontwikkelen en soorten hierop reageren; waarbij de soortendiversiteit niet alleen afhankelijk is van de ontwikkeling van de geul. Het groter wordend aandeel aan exoten in de vissamenstelling laat dat zien.



Figuur 2.32. Soortenrijkdom macrofauna van de grote geul in Gameren.



Figuur 2.33. Abundanties (aantallen individuen) van de monsters uit de geulen in Gameren.



Figuur 2.34 Vissamenstelling in 1999 en 2009.

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 in kribvakken en geulen, maar vestiging lijkt afhankelijk van de waterstandvariatie in het traject en mogelijke begrazing door vogel vanaf grasoevers.

Connectiviteit

Op basis van buitenlandse ervaringen, neemt de soortenrijkdom van stroomminnende vis toe naarmate de geul een groter deel van het jaar aangetakt is, 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 stroomminnende juveniele vis het grootst (Grote geul en west geul Gameren en Vreuderijkerwaard). Een uitzondering is de Bakenhof, deze is wel het hele jaar aangetakt, maar laat soortensamenstelling zien die past bij een meer stilstaand water met slibbodem. De stroming in de Bakenhof wordt beïnvloed door de werking van een stuw stroomafwaards, 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 wel juveniele 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 juveniele vis groot genoeg is om naar de hoofdstroom te trekken, zo ongeveer einde van de zomerperiode.

Stroomsnelheid

De (oppervlakte) 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). 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 is waarschijnlijk een 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 wordt verondiept. 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 habitat voor waterplanten en variatie in stroomsnelheid.

Substraat

Op basis van de gegevens kunnen geen directe conclusies worden getrokken wat betreft het effect van substraat op de werking van de geul voor soorten. Over het algemeen is een stromende nevengeul over zand het gewenste beeld. Een goede doorstroming moet er voor zorgen dat opslibbing van de geul wordt tegengegaan, maar daarbij geldt een goede doorstroming ook al als voorwaarde voor stromingsminnende soorten.

Enig substraat variatie in de geul kan worden bereikt door sedimentbronnen in de geul, zoals eroderende oevers, zodat diepte verschillend ontstaan en sediment wordt gesorteerd. Ook dood hout in de geul kan voor stroom- en substraatvariatie zorgen, misschien zelfs voor eilandvorming.

Regelwerk

De best functionerende geulen hebben een constructie met open duikers (Gameren, Vreudgerijkerwaard). Maar de gekozen vorm, duiker, hangt meer samen met het feit dat er veelal een brug overheen moet voor een toegangsweg.

Een drempel met dezelfde hoogte en breedte als een duiker zou net zo goed voldoen. De meest bepalende factoren zijn de mate van aantakking (#maanden meestromen), de stroomsnelheid en als afgeleide van de laatste twee 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 verzand tot aan de hoogte van de drempel.

Een diepe duiker heeft invloed op de sedimentaanvoer (Figuur 1.21), 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 ecologisch effect is op de werking van de nevengeul.

3.2 Welk stadium van een nevengeul aanleggen? Vuistregels

Misschien is een nevengeul niet voor elke plek de beste oplossing. Zeker het landschappelijke aspect zoals beschreven in de In de handreiking "kwaliteitsprincipes uiterwaardinrichting" (Bureau Drift, 2009), is een belangrijke keuze factor. De volgende vuistregels gelden voor ecologie van stroomminnende soorten (waterplanten, macrofauna en vis) in een stromende geul:

1. **Connectiviteit of mate van verbinding.** Een geul moet minimaal tot eind augustus kunnen meestromen of dat in de meeste jaren doen. Hoe minder vaak dat voorkomt gedurende de jaren; hoe minder effectief de geul is als stromend habitat. Wanneer is deze niet meer effectief? Een schatting is bij minder dan 8 maanden aantakking per jaar. Daarbij, een matig aangetakte geul is kansrijk om eerder aan te slibben of sneller aan te zanden waarna deze alsnog sneller minder effectief wordt na aanleg (zie ook punt 3).
2. **Stroomsnelheid.** Een stromende nevengeul moet stromen. Een echte ondergrens is er niet, bestaande geulen functioneren al bij oppervlakte gemiddeld¹ 6-20 cm/s bij afvoeren van 2000-2650 m³/s, met een standaard variatie van 3-5 keer de gemiddelde snelheid. In

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

- snelstromende delen (buiten de regelwerken) zijn stroomsnelheden 40-50 cm/s of hoger (bij 2650 m³/s). De best functionerende geulen hebben de gehele aangetakte periode een relatief constant stromingsregime.
3. **Aanslibbing of aanzanding.** Voorkom aanslibbing of aanzanding, vaak een combinatie van suboptimale punten 1 en 2. Wanneer grootschalige aanslibbing of aanzanding in het ontwerp niet is te voorkomen, overweeg dan geen nevengeul aan te leggen of de aanzanding als proces te accepteren (zoals Oostgeul bij Gameren).
 4. **Waterstandvariatie.** Waterstandvariatie is traject-afhankelijk. Zorg in het ontwerp ook voor stromend ondiep habitat bij lagere waterstanden (<2000 m³/s Boven-Rijn afvoer). 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.
 5. **Stuwen.** In gestuwde delen geen stromende nevengeul plaatsen. Richt je hier op het versterken van de ecologische mogelijkheden die een gestuwd karakter horen, bijvoorbeeld waterplantenontwikkeling (denk wel aan punt 4).
 6. **Grootte van een geul.** Een geul hoeft voor ecologie niet groot en breed te zijn, kleiner maar optimaler voor bovenstaande punten geeft een beter resultaat dan groter en minder optimaal. Wanneer een grote geul teveel water onttrekt aan de hoofdgeul om aan punten 1 en 2 te voldoen; overweeg meerdere kleinere geulen of geen geul.
 7. **Maak het ontwerp niet te technisch en laat processen toe.** 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.

Welke successiefase is de startfase voor een nieuwe geul?

De hierboven geschreven keuzehulp is gericht op stroomminnende soorten. Een ecologisch minder effectieve geul voor stroomminnende soorten kan waarde hebben voor niet-stroomminnende soorten (limnofiele en eurytope soorten). Het is echter beter om op basis van de lokale kansen en beperkingen, bewust te kiezen voor een stroomminnende of niet-stroomminnend doel. Feitelijk is het kiezen voor welke fase in de successiereeks van een nevengeul tot geïsoleerde strang als startfase wordt genomen (zie Figuur 1.2).

3.3 Compromisvragen

Hieronder een aantal vragen met antwoorden die naar aanleiding van ontwerpkeuzen werden gesteld. De antwoorden zijn in veel andere ontwerptrajecten ook relevant.

1. Is meestromen is minimaal nodig van februari tot juli? dat wil zeggen op basis van historische reeksen dat ze moeten meestromen vanaf de mediane afvoer (2200 m³/s).

Nee, zie punt 1 van paragraaf 3.2.

Het kan zijn dat in een meetjaar een minder vaak meestromende geul het goed doet voor reofiele soorten. Griff et al. (2005; fig 4) laat zien dat in Nederlandse wateren de jonge reofiele vis (0+) zich hoofdzakelijk bevindt in 365 dagen per jaar verbonden wateren.

2. Stelling: Stroomsnelheid dan moet variabel zijn maar gemiddeld 30 cm/s.

Ja, variatie tussen 0,1 en 1 m/s is optimaal.

3. Stelling: Afvoer die daarvoor nodig is ongeveer 1-3% van de waalafvoer

Voor ecologie maakt dit niets uit, natuurlijk geldt, hoe grotere optimaal meestromende eenheden hoe beter. Maar wanneer hierdoor de gemiddelde stroomsnelheid daalt, dan liever een kleinere wel snelstromende eenheid dan een grotere langzaamstromende geul.

4. Stelling: Als nevengeul niet meestroomt moet deze wel water bevatten, of bij lage standen hoogstens bovenstrooms gedeeltelijk droogvallen zodat er altijd verbinding met de rivier is. Of een zodanig diepe plek bevatten dat zuurstofloosheid niet op de loer ligt.

Een nevengeul die niet meestroomt is geen nevengeul, maar een aangetakte strang. In 'natuurlijke' nevengeulen komen plots hele diepe plekken niet voor, en in extreme jaren vallen geulen droog dat is niet abnormaal. Een diepe plek zal bij menging wellicht zuurstofloosheid tegen gaan. Een diepe plek fungeert als zand of slibvang. Zie ook punt 4.

5. Stelling RWS-ON: Een duiker levert rivierkundig de beste mogelijkheden om sedimentatie in de hoofdgeul te beperken. Het is niet bezwaarlijk als de rivierstroomsnelheden in de duiker hoog zijn. Optrekmogelijkheden door de duiker zijn niet vereist.

Ja, optrekken door de duiker is niet nodig; de vis heeft genoeg andere mogelijkheden om te migreren (via uitstroom opening). 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. Een diepe duiker (zonder open water) kan de instroom van meer drijvende biota belemmeren, zie paragraaf regelwerk in Deel 1.

6. Stelling RWS-ON: Vormgeving is van belang: (1) variatie in profiel voor variatie in stroomsnelheid, bv. door versmallingen en verbredingen; (2) ga uit van 1 steile oever en 1 flauwe oever.

Ja, ga bij de vormgeving uit van mogelijke processen die voor een gevarieerd oeverprofiel gaan zorgen. Bijvoorbeeld mogelijkheden voor erosie/sedimentatie. Ook het ondergraven van bestaande bomen die in de geul terechtkomen kan zeker in kleinere geulen voor substraat variatie en bij laag water in de geul ook voor variatie in stroomsnelheid zorgen. Een steile oever kan zelf ontstaan in de buitenbocht van een geul, wanneer die mogelijkheden er zijn de geul niet de precies afwerking bij aanleg ('laat de rivier het werk doen').

Oevers kunnen steil, flauw, begroeid of kaal zijn. Aangezien bij de laatste optie wilgenopslag verwacht kan worden, moet toekomstige vegetatieweerstand worden afgewogen. Beschaduwning 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).

3.4 Overzicht aandachtspunten voor het aanleggen 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 staan een aantal aandachtspunten hieronder; grofweg van grootschalig naar kleinschalig, deze 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 habitat diversiteit in de rivier.

Denk hierbij op het schaalniveau van de verschillen tussen de riviersecties. Elke riviersectie heeft zijn eigen karakter wat de mogelijkheden voor inrichting beïnvloedt. Bijvoorbeeld een nevengeul aanleggen in stuwpanden langs de Maas of Neder-Rijn/IJssel is voor reofiele vis niet zinvol; hier heersen meer limnofiele omstandigheden, en is de ecologie gebaat bij ontwikkeling van waterplanten in ondiepe strangen. In de handreiking “kwaliteitsprincipes uiterwaardinrichting” (Bureau Drift, 2009), zijn de mogelijkheden voor aanleg van geulen langs de Maas en Rijn takken goed uitgelegd. Aanbevolen wordt in 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 past, is zeker minder effectief qua ecologie of zal snel door overheersende processen vervormd.

De landschappelijke inpassing van van geulen in verschillende trajecten is goed beschreven in het handboekje “kwaliteitsprincipes voor uiterwaardinrichting” (Peters, 2009) 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.

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 verzand zodat wel een ecologisch proces in gang wordt gezet maar geen langdurige effecten voor scheepvaart. 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.

Het ecologisch succes van de nevengeul wordt uiteindelijk bepaald door de habitat diversiteit in de geul. Dit kan diversiteit zijn die in de loop der jaren ontstaat, maar de initiële inrichting is hiervoor zeker bepalend. Het betreft de volgende aandachtspunten die in Deel 1 aan bod zijn gekomen:

- 3. Mate van verbinding met de hoofdgeul**
- 4. Stromingsvariatie**
- 5. Waterdieptevariatie**
- 6. variatie aan sediment**
- 7. Variatie aan oevers en oeverbegroeiing**

8. Niet alles aanleggen! 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. Niet een vastgelegde maar 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.

4 Literatuur

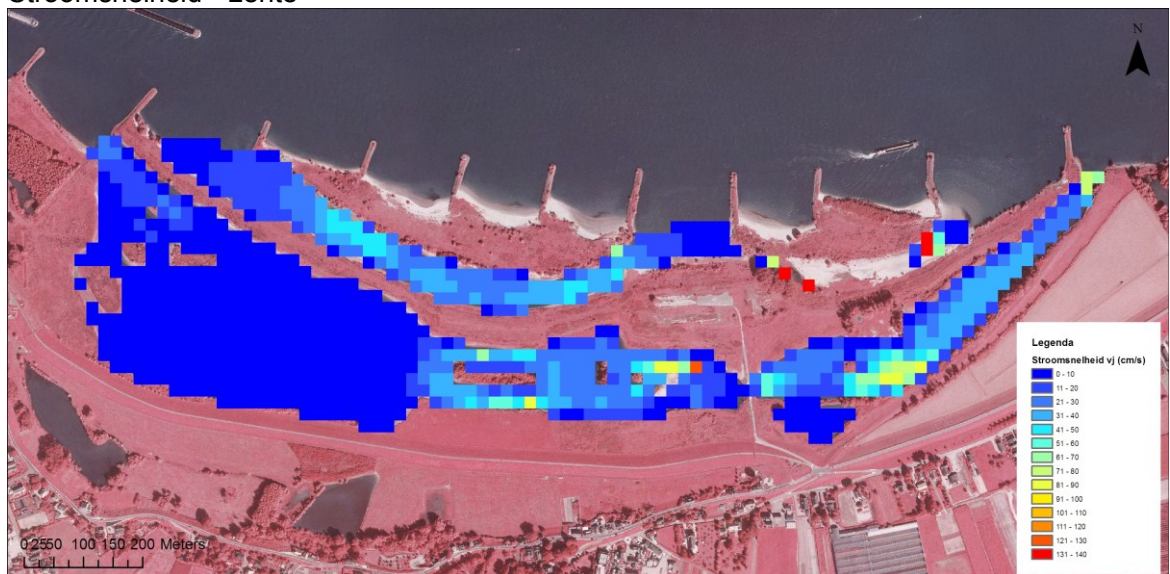
- De Rooij, J., R. Munts, B. Achterkamp & A. Kersbergen, 2010. Macrozoöbenthosonderzoek Nevengeulen 2009. Bakenhof, Gameren, Klompenwaard, Oude waal en Vreugderijkerwaard. Bureau Waardenburg B.V., Wageningen, 110 pp.
- Dekker van der Kamp, 2008. Gamerensche Waarden verondiepen plas met herbruikbare waterbodems. Dekker van der Kamp, Elst.
- Dorenbosch, M., N. van Kessel, J. Kranenborg, F. Spikmans, W.C.E.P. Verberk & R.S.E.W. Leuven, 2011. Nevengeulen in uiterwaarden als kraamkamer voor rivierwassen. 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> [Accessed January 17, 2011].
- 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. Available at: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/122431822/abstract> [Accessed September 21, 2010].
- Karin Didden & Jan Kranenborg, 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, Leleystad. 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].
- Van Rijsbergen, J.A., 2002. Projectsheet Natuurontwikkeling Klompenwaard. Dienst Landelijk Gebied / Royal Haskoning, Nijmegen.

5 Bijlagen

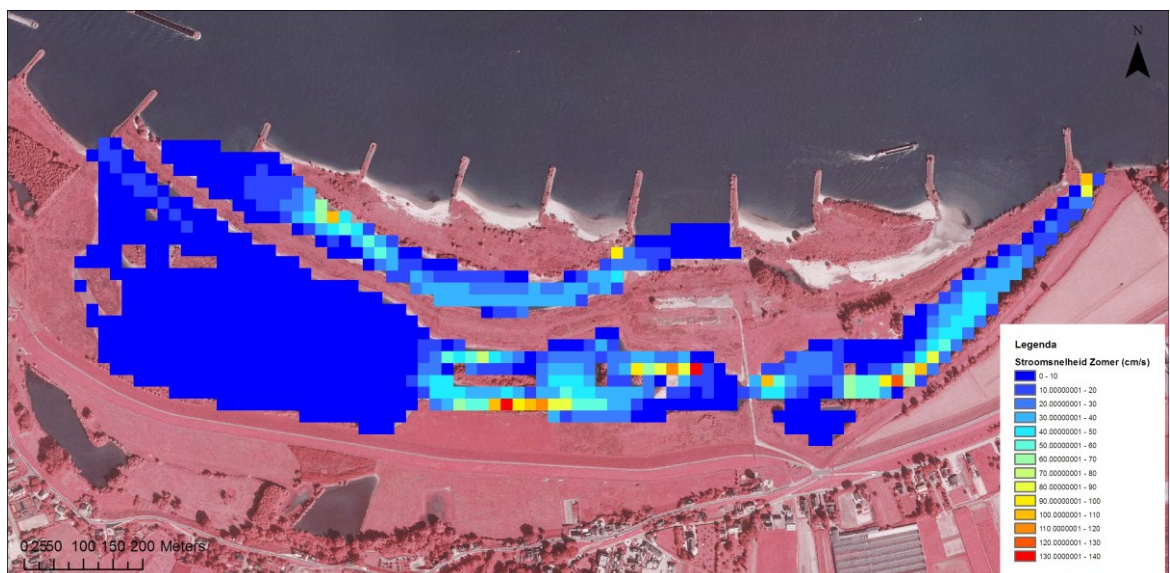
Overzicht van figuren van de stroomsnelheden en waterdiepten.

5.1 Gameren

Stroomsnelheid - Lente

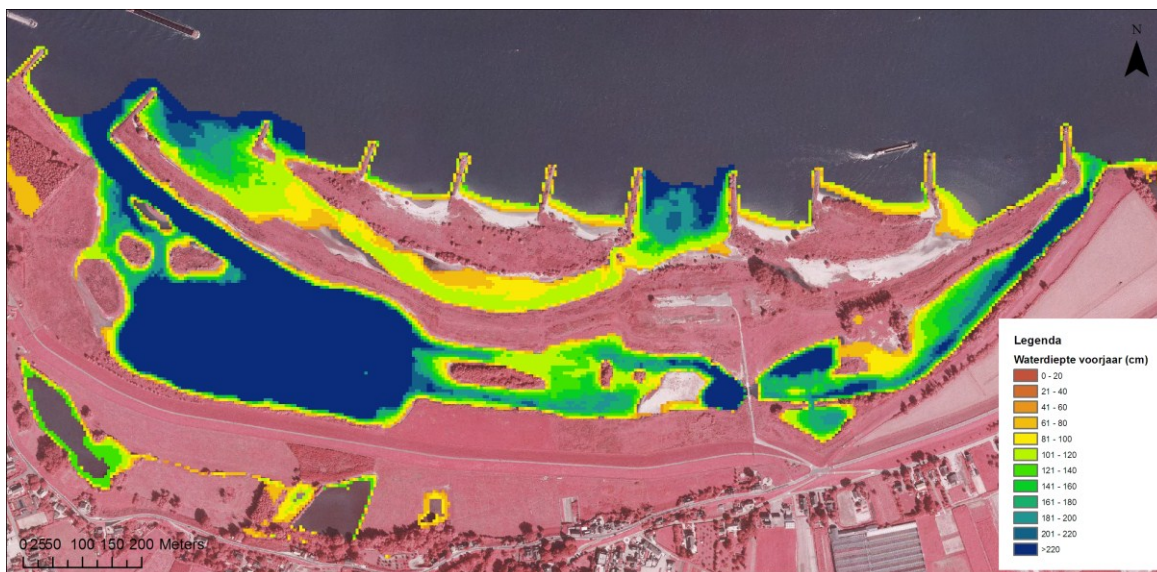


Figuur 5.1 Gameren, stroomsnelheid Lente

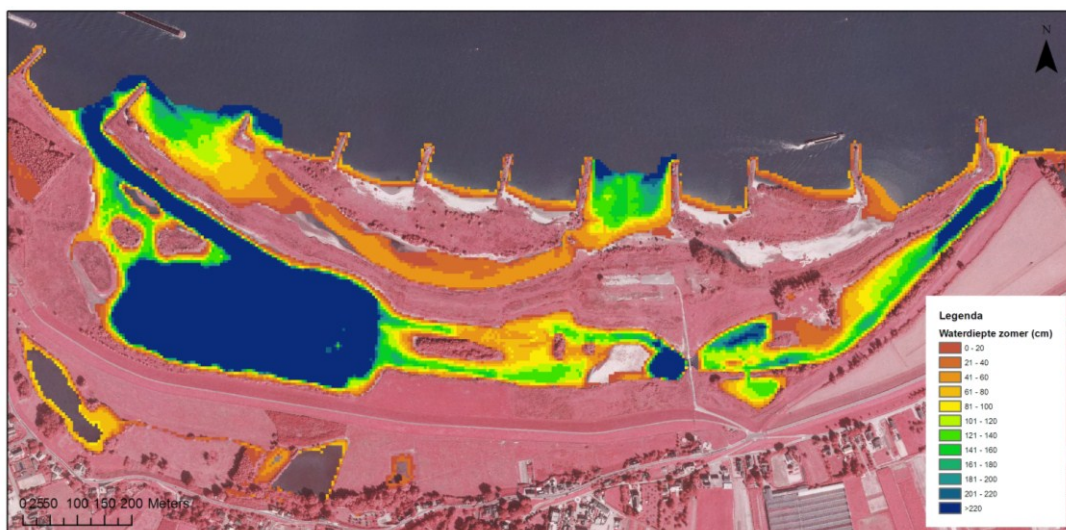


Figuur 5.2 Gameren, stroomsnelheid Zomer

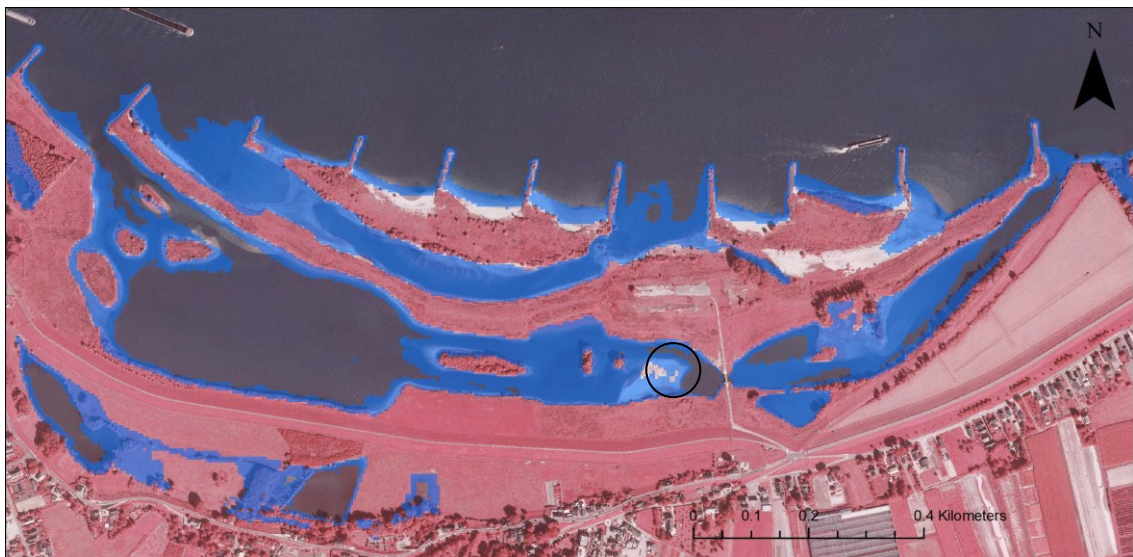
Lente waterdiepte



Figuur 5.3 Gameren, waterdiepte Lente



Figuur 5.4 Gameren, waterdiepte Zomer

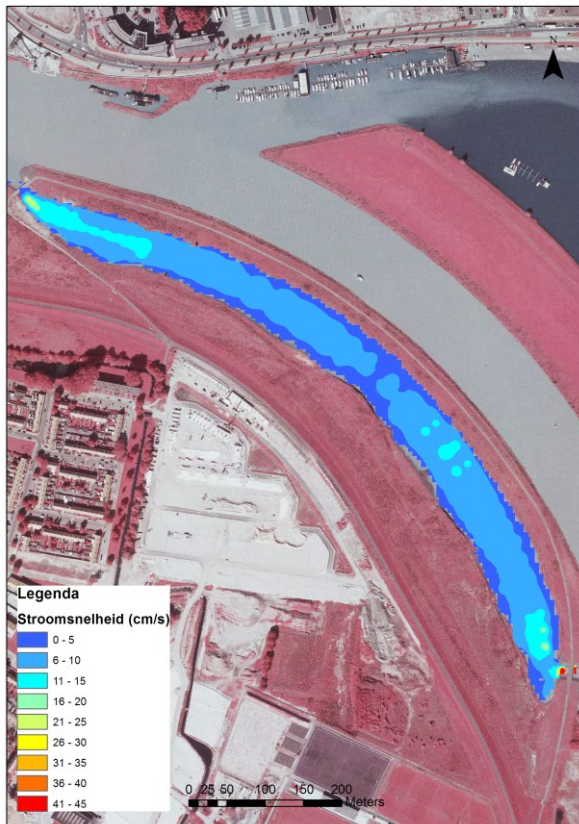


Figuur 5.5 Waterdiepen kleiner dan 2 m in het voorjaar van de nevengeulen in de Gamerensche waard. In vergelijking met de klompenwaard zijn er grote delen die te diep zijn voor waterplantenontwikkeling. In de grote geul worden waterplanten aangetroffen vlak na het regelwerk (zwarte cirkel).

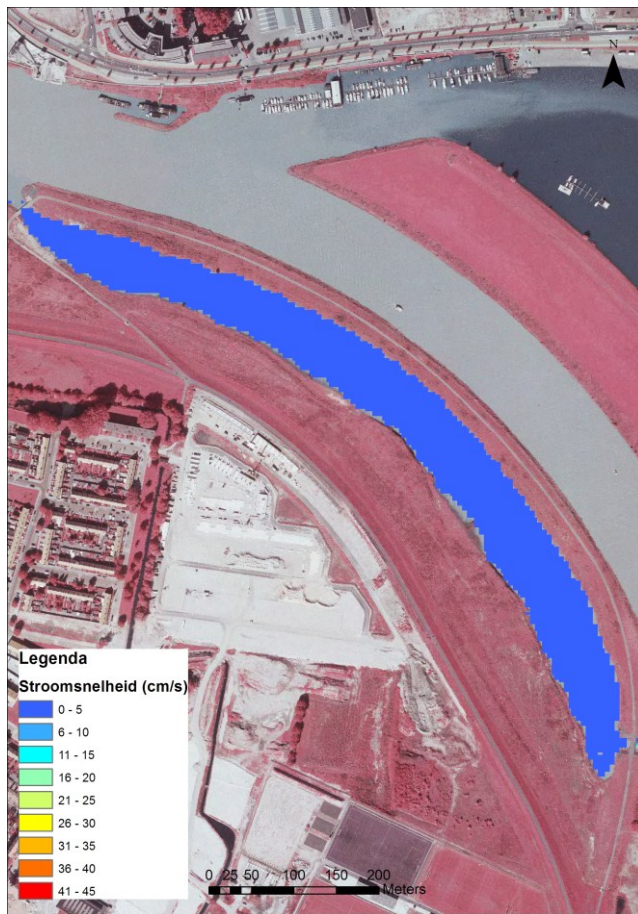
5.2 Klompenwaard

-

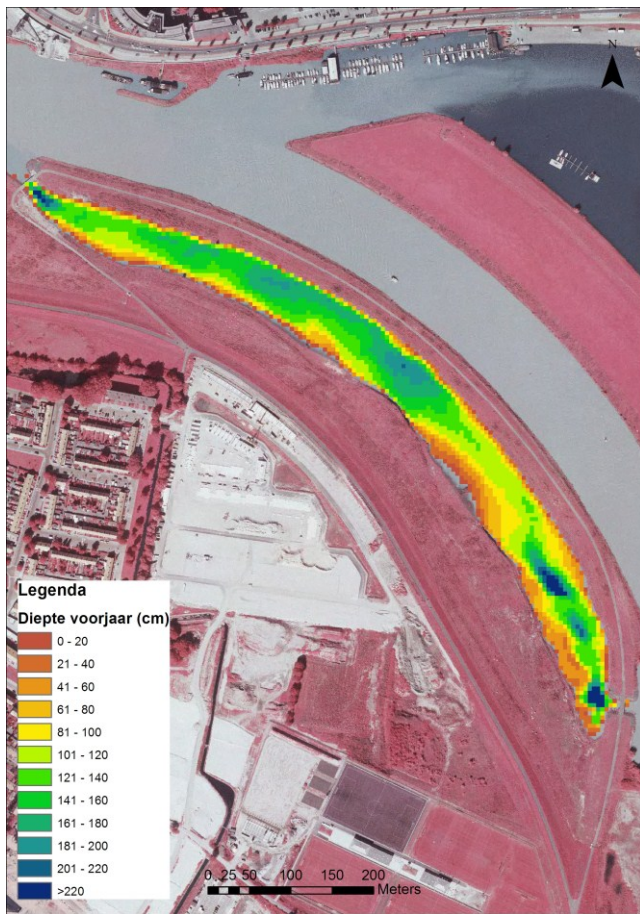
5.3 Bakenhof



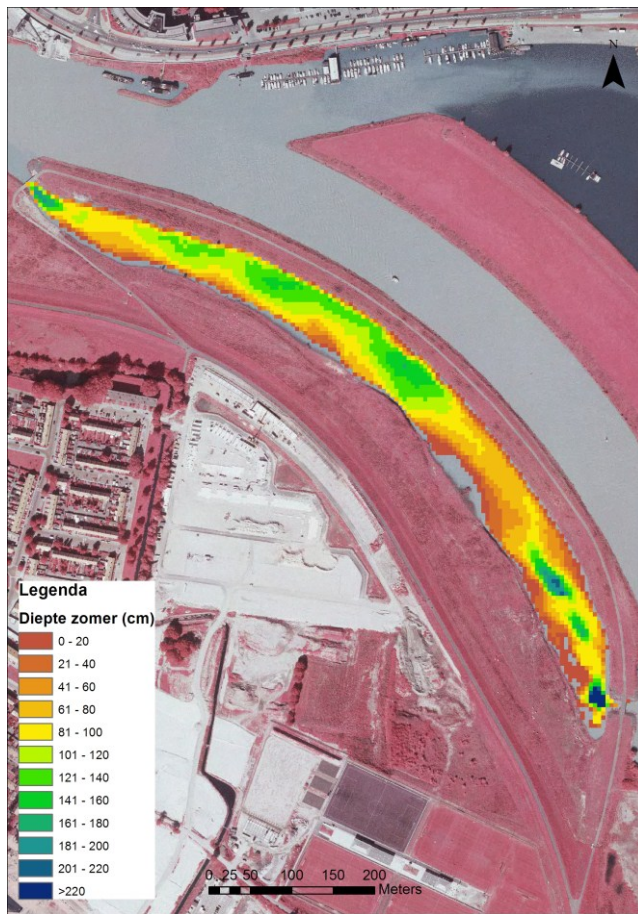
Figuur 5.6 Bakenhof stroomsnelheid Lente



Figuur 5.7 Bakenhof stroomsnelheid Zomer

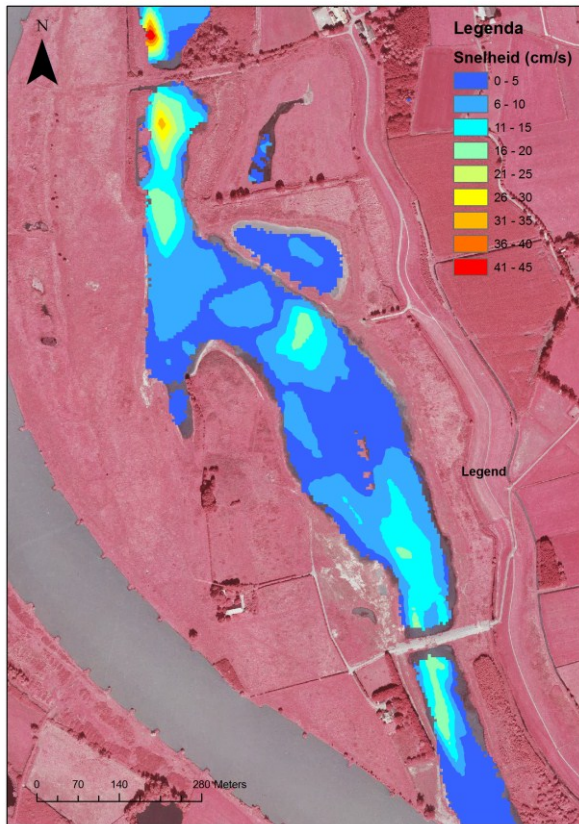


Figuur 5.8 Waterdiepte Lente

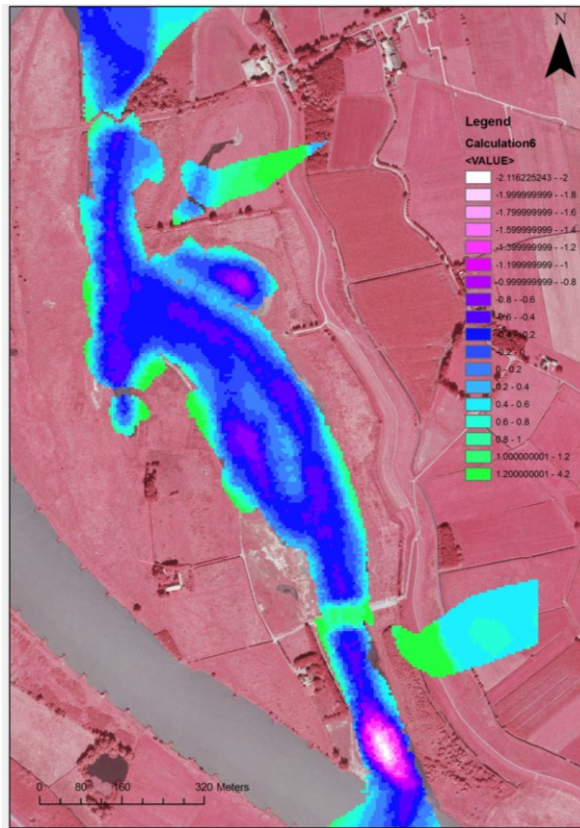


Figuur 5.9 Waterdiepte Zomer

5.4 Vreugderijkerwaard



Figuur 5.10 Stroomsnelheid Lentse



Figuur 5.11 Waterdiepte lente