

55N542139

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

**riza**

rijksinstituut

voor integraal zoetwaterbeheer

en afvalwaterbehandeling

tel. 085-688911, fax. 085-634897

doorkiesnummer 579

## **Nevengeulen**

onderzoek naar de mogelijkheden,  
de consequenties en de te stellen  
eisen bij aanleg van nevengeulen in  
uiterwaarden

**NOTA**

auteur(s)  
datum

**RIZA: 91.008**

**EHR: publicatie no.33 - 1991**

ir. A.W. de Haas  
maart 1991

**INHOUDSOPGAVE**

0. Samenvatting	3
Summary	5
1. Inleiding	7
2. Het schetsontwerp	11
3. De waterbeweging	13
4. De ecologie	18
5. De morfologie van de geulen	30
6. De stabiliteit van een Nevengeul	38
7. Conclusies en aanbevelingen	48
Referenties	50
Bijlagen	51

## 0. SAMENVATTING/SUMMARY

Deze nota geeft een totaal-overzicht van het onderzoek dat door het R.I.Z.A. wordt uitgevoerd naar de rivierkundige en ecologische consequenties van de aanleg van een nevengeul. Sinds de normalisaties van de grote rivieren komen nevengeulen en hun specifieke flora en fauna in Nederland niet meer voor. De ontwikkeling van nevengeulen zal bijdragen aan een grotere ecologische diversiteit in onze watersystemen.

Teneinde de consequenties daarvan te onderzoeken is een case-studie opgezet, geënt op een bestaande uiterwaard waarin een nevengeul zou kunnen worden aangelegd. Gestart is met het maken van een eerste ontwerp op grond van rivierkundige kennis en ecologische wensen. Vervolgens zijn de gevolgen van dit ontwerp rivierkundig en ecologisch onderzocht, om tot een aantal meer algemene conclusies en aanbevelingen te komen voor de aanleg van nevengeulen langs de Nederlandse grote rivieren.

Uitgangspunt was om de geplande nevengeul in een buitenbocht van de rivier te leggen, om het verhang t.o.v. de hoofdgeul zo gering mogelijk te houden. Een tweede belangrijke eis was dat er tenminste gemiddeld 350 dagen per jaar water door de nevengeul stroomt en de hellingen dermate glooiend zijn (1:30) dat de vegetatie zich optimaal kan ontwikkelen. Doordat de Bemmelerwaard als de meest optimale lokatie werd aangemerkt, ondermeer vanwege haar breedte en lengte, was met de eerder genoemde eisen het tracé en het dwarsprofiel in grote lijnen bepaald. Dit zogenaamde schetsontwerp heeft ten grondslag gelegen aan het verdere onderzoek.

Allereerst is de waterbeweging voor een aantal situaties onderzocht. De maatgevende waterstanden (MHW's), de stroomsnelheden in de nevengeul bij verschillende rivierafvoeren en afvoerveranderingen in de hoofdgeul zijn bepaald met behulp van een 2-dimensionaal waterbewegingsmodel met een zeer gedetailleerd rekenrooster. De resultaten hiervan zijn de basis geweest voor een deel van de verdere studies. Deze bestaan uit een ecologisch en een morfologisch onderzoek.

Het ecologisch onderdeel heeft zich toegespitst op enerzijds de vegetatie in en om nevengeulen en anderzijds op de vestiging van makro-evertebraten.

Uit het vegetatie-onderzoek blijkt dat het voorkomen van waterplanten in een nevengeul sterk gerelateerd is aan de grootte van de waterstandsfluctuatie als gevolg van afvoerverschillen, de invloed van (verticale en horizontale) golven ten gevolge van scheepsbewegingen en de samenstelling van het substraat.

Een nevengeul zal ten opzichte van de hoofdgeul een positieve invloed hebben op de laatste twee standplaatsfactoren, echter de waterstandsfluctuatie zal niet of nauwelijks worden beïnvloed. Geconcludeerd wordt dat het nevengeulontwerp zoals dat in de studie wordt gehanteerd door de matige stroomsnelheden, het stabiele en fijnere substraat en de uitgestrekte glooiende taluds met micro-reliëf een grotere kans biedt op waterplanten en een uitbundigere oevervegetatie dan de relatief steile oevers van kribvakken en zandputten langs de boven-Waal. Daarbij kan nog worden aangetekend dat hoe kleiner de langdurige waterstandsfluctuaties zijn, hoe groter de kans is op waterplanten in de nevengeul. Dit zou bijvoorbeeld het geval zijn bij de meer bene-

denstroms gelegen lokaties.

Uit het onderzoek naar de relatie tussen nevengeulen en makro-evertebraten blijkt dat vele natuurlijke habitats van makro-evertebraten uit de Rijn zijn verdwenen. De oorzaken zijn terug te voeren naar de normalisatie van de rivier, de scheepvaart en het intensieve gebruik van het winterbed door de mens. Ook de voedselvoorziening voor makro-evertebraten is hierdoor sterk gewijzigd.

Het inrichten van nevengeulen moet daarom gericht zijn op de herstel van de natuurlijke habitats. Met name het van oorsprong in de Rijn zeer veel voorkomende habitat "snag" (dood en levend hout in het stroombed), zou in een nevengeul weer kunnen ontstaan. Het ontwerp zoals dit in deze case-studie wordt voorgesteld biedt hiervoor goede aanknopingspunten.

De morfologische studie valt uiteen in een onderdeel betreffende de ontwikkeling van de bodem van zowel nevengeul als hoofdgeul na de aanleg en de stabiliteit van de nevengeul op zich, gericht op meandering en oeverstabiliteit.

In het onderzoek is de bodemontwikkeling van genoemde geulen berekend afhankelijk van de horizontale en verticale afmetingen van de nevengeul en de grootte van het sedimenttransport door de geul. Duidelijk is dat deze grootheden een belangrijke invloed hebben op het resultaat. Vastgesteld is dat, als de breedte en de diepte van de nevengeul beperkt zijn en het sedimenttransport in zijn geheel door de hoofdgeul geleid kan worden, de aanleg van een nevengeul geen nadelige consequenties behoeft te hebben voor de bodemligging van de hoofdgeul. Tevens kan daarmee een snelle verlanding van de nevengeul worden voorkomen.

In het andere onderzoek is een literatuurrecherche uitgevoerd naar ontwerpcriteria voor nevengeulen in het licht van een gewenste mate van stabiliteit, uit zowel rivierkundige als ecologische overwegingen. Onderwerpen die aan de orde komen zijn het tracé, het verhang, het dwarsprofiel, de meandering en de in- en uitlaat. Het ontwerpen van een stabiele geul op grond van empirische formules blijkt omgeven door grote onzekerheden. Deze komen ondermeer voort uit de inhomogeniteit van het bodemmateriaal. Getracht is om met behulp van de zogenaamde regiemvergelijkingen tot eenduidige uitspraken hieromtrent te komen. Om een redelijke mate van stabiliteit te waarborgen is het aan te bevelen om een nevengeul uit te voeren in cohesief materiaal. Bij een ontwerp zal zoveel mogelijk gebruik gemaakt moeten worden van de kennis van lokale riviersystemen, toegepast op de beschikbare empirische formules. In een stroomschema is aangegeven welke weg bewandeld kan worden om tot een ontwerp te komen.

## SUMMARY

This report offers an over-all survey of the research that is being carried out by the Institute for Inland Water Management (R.I.Z.A.) into the hydraulic, morphological and ecological consequences of the construction of a side channel. Since the regulations of the large rivers side channels and their specific flora and fauna are not found anymore in the Netherlands. The (re)creation of side channels will enhance ecological diversity in our water-systems.

To examine the consequences of side channel construction a case-study has been set up, based on an existing river foreland in which a side channel could be constructed. To start with, a first design was made on account of hydraulic and morphological knowledge and ecological requirements. Thereupon the hydraulic, morphological and ecological effects of this design have been investigated to come to a number of more general conclusions and recommendations on the construction of side channels along the large Dutch rivers.

Starting-point was to lay the planned side channel in an outside bend of the river, to keep the slope in respect of the main channel as slight as possible. A second important requirement was that for at least to an average of 350 days per annum water flows through the side channel and that the channel banks are sloping to such a degree (1:30) that vegetation can develop to an optimum. Because of its width and length the 'Bemmelerwaard' - a foreland along an outer bend of the Waal river near Nijmegen - was considered to be the best location. The actual location together with the requirements mentioned before broadly outlined the channel plan and transverse profile. This so-called outline design has been at the basis of further research.

First of all the hydraulics have been examined for a number of situations. The indicative high water level standards (MHW's), the current velocities at different river discharges and alterations in main channel discharge have been determined by means of a 2-dimensional hydraulic model with a high-resolution counting-grid. The results of this have been the basis of a part of the further studies. These consist of an ecological and a morphological research.

The ecological research has on the one side concentrated itself on vegetation in and near side channels, on the other hand on the colonization by aquatic invertebrates.

From the vegetation research it appears that the occurrence of aquatic macrophytes is highly related to the extent of the water-level fluctuation caused by differences of discharge, the impact of (vertical and horizontal) waves resulting from shipping traffic, and the composition of the substrate.

In comparison to the main channel a side channel will have a positive influence on the last two habitat-factors. The water-level fluctuation, however, will hardly or not be affected. It is concluded that the side channel design investigated in this report, offers, because of its moderate current velocities, its stationary and finer substrate and its extensive gently sloping tali with micro-relief, a better chance for aquatic macrophytes and a more exuberant river-bank vegetation than the relatively steep banks of the

jetty-bays and sandpits along the upper Waal. Over and above that it can be annotated that the smaller the long-term water-level fluctuation is, the higher the probability of aquatic macrophyte establishment in the side channel. This for instance would be the case with locations situated more downstream.

From the investigation into the relation between side channels and aquatic invertebrates it becomes evident that many natural habitats of aquatic invertebrates have disappeared from the Rhine. The causes can be traced back to river regulation, shipping traffic and the intensive use of the winter-bed by man. This has also strongly altered the food-supply to aquatic invertebrates.

Therefore the design of side channels must be pointed at the rehabilitation of the natural habitats. Particularly the habitat "snag" (dead and live wood in the river channel) which originally was found in abundance in the Rhine, could develop again in a side channel. For this purpose the design as proposed in this case-study offers good starting-points.

The morphological study is subdivided in a part concerning the bed development of side channel as well as main channel after implementation of the design and a part concerning the lateral stability of the side channel, focused on meandering and bank-stability.

In the research the bed development of the channels mentioned is calculated, dependent on the horizontal and vertical dimensions of the side channel and the amount of sediment transported through. It is clear that these parameters have an important impact on the results. It is assessed that the construction of a side channel does not have to have detrimental consequences to the main channel bottom level, if the width and depth of the side channel are limited and the sediment supply can be guided in its entirety through the main channel. Under these conditions a quick silting-up of the side channel can be prevented as well.

In the other part of the morphological research a study of literature has been carried out for criteria concerning side channel design with regard to the degree of stability required from the hydraulic, morphological as well as the ecological point of view. Subjects that arise are channel plan form, slope, transverse profile, meandering and in- and outlet. Designing a stable channel by virtue of empirical formulae appears to be beset with uncertainties. These among others spring from the heterogeneity of the bed material. It is attempted to arrive to unambiguous pronouncements hereabouts with the help of so-called regime equations. To guarantee a reasonable degree of stability it is to be recommended to implement a side channel in cohesive material. In designing advantage must be taken of knowledge about local river systems, applied to the available empirical formulae. A flow diagram summarizes how to come to a side channel design.

## 1. INLEIDING

### 1.1 ALGEMEEN

Een van de meest wezenlijke doelstellingen voor watersystemen is een duurzaam functioneren ervan. Dit kan pas dan worden bereikt als de verwezenlijking ook op het ecologische vlak plaats vindt. Naast de waterkwaliteit is de structuur van een watersysteem een bepalende eigenschap voor het ecologisch functioneren. Met structuur worden de biologische en fysische kenmerken van het systeem bedoeld.

Door de normalisatie van het zomerbed en de intensieve benutting van uiterwaarden voor landbouw en zand- en kleiwinning is de structuur van het riviersysteem sterk uniform van karakter geworden. Een gevolg hiervan is, dat hetzelfde heeft plaats gevonden ten aanzien van de flora en fauna in deze riviersystemen: de soortenrijkdom is gereduceerd.

Herstel van complete en evenwichtig opgebouwde levensgemeenschappen eist, naast verbetering van de waterkwaliteit, een structuurverbetering. Hierbij kan gedacht worden aan maatregelen ten aanzien van oeverconstructies, de inrichting van oevers en uiterwaarden, de passeerbaarheid van kunstwerken voor vissen, het hydrologisch regiem, etc.

Eén van de maatregelen die tot een grotere structuurschakering leidt is de realisatie van een nevengeul door de uiterwaard, min of meer parallel aan de hoofdgeul. Met de normalisatie, zo rond de eeuwwisseling zijn de toen nog van oudsher aanwezige nevengeulen afgesloten, omdat deze civieltechnisch ongewenst waren in verband met achterloopsheid van kribben en de ongunstige beïnvloeding van water- en ijsafvoer. Deze gevaren kunnen zich nog steeds voordoen, tenzij de structuur van de nevengeul door, bijvoorbeeld de dimensionering, beheersbaar is. Dit stelt eisen aan het civieltechnisch ontwerp, waarbij aspecten als aanzanding c.q. uitschuring van hoofd- en nevengeul, oeverstabiliteit, meandering, afvoerverdeling, waterstandsveranderingen, etc. een rol spelen.

Nevengeul-biotopen zijn er langs de Nederlandse rivieren niet meer. Om deze reden is het niet geheel voorspelbaar hoe deze zich na realisatie van een nevengeul zal ontwikkelen. Veel organismen die in nevengeulen hun habitat hebben zijn thans verdwenen. Ook de rekolonisatie-mogelijkheden roepen vraagtekens op. Bij een eventuele aanleg van een nevengeul doet zich de situatie voor dat er wensen geformuleerd kunnen worden gericht op de ontwikkeling van bepaalde organismen of biotopen. Hierop kan in het ontwerp worden ingespeeld.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat:

- de realisatie van nevengeulen mogelijk een bijdrage kan leveren aan het herstel van de ecologische diversiteit van watersystemen;
- het ontwerp van een nevengeul zowel ecologische als civieltechnische vragen oproept;
- beide genoemde disciplines eisen stellen aan het ontwerp die op een aantal fronten conflicterend kunnen zijn;

- er nu nog geen geschikt modelinstrumentarium bestaat, waarmee de zich aandienende problemen kunnen worden aangepakt.

## 1.2 DOELSTELLING ONDERZOEK

De conclusies uit paragraaf 1.1 vormen de basis voor het onderhavige onderzoek. Dit bestaat uit zes pijlers:

- A) Onderzoek naar de ecologische relevantie van een nevengeul langs de Nederlandse rivieren.
- B) De ontwikkeling van wensen, eisen en voorwaarden gericht op de realisatie van de gewenste ecologische bioto(o)p(-en).
- C) Onderzoek naar de waterloopkundige consequenties van de aanleg van een nevengeul, in het bijzonder gericht op:
  - \* de Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW's) en
  - \* het stroomsnelheidspatroon in relatie tot de ecologische wensen en de erosie- en sedimentatieproblematiek in de gehele uiterwaard.
- D) Ontwikkeling van ontwerpeisen gericht op de morfologische consequenties voor de hoofdgeul.
- E) Onderzoek en de ontwikkeling van ontwerpeisen gericht op de stabiliteit van de nevengeul zelf.
- F) Ontwikkeling van en aanbevelingen voor een modelinstrumentarium gericht op het ontwerp en beheer van nevengeulen.

De onderhavige nota vormt de rapportage van wat in dit kader tot op heden is uitgevoerd. Hiermee is de doelstelling van het onderzoek nog niet bereikt. De studie wordt daarom voortgezet. Echter deze nota beoogt een handvat te bieden voor de stap naar "het veld". Het kennispeil biedt de mogelijkheden om tot een afgewogen ontwerp voor een nevengeul te komen. Daarbij kan gesteld worden dat de opzet, de monitoring en de evaluatie van een proefproject een waardevolle, zo niet essentiële bijdrage kan leveren aan de uiteindelijke realisatie van de genoemde doelstellingen.

## 1.3 OPZET ONDERZOEK

Het onderzoek kenmerkt zich door zijn grootte en het samengaan van de disciplines ecologie en civiele techniek. Om deze redenen is het onderzoek gesplitst in een aantal deelstudies die door verschillende afdelingen van het RIZA en door derden (in opdracht van het RIZA) uitgevoerd worden.

Als uitgangspunt voor het onderzoek is gekozen voor de uitwerking van een case-studie naar de aanleg van een nevengeul in combinatie met een globale inrichtingsvariant voor de betreffende uiterwaard. Om tot een zo realistisch mogelijke benadering van het nevengeulproject te komen, is een prototype-lokatie gekozen als onderzoeksgebied. In het licht van de doelstelling van de studie is, mede op rivierkundige gronden, gekozen voor de uiterwaard De Bemmelerwaard.

Als in deze nota verder over De Bemmelerwaard wordt gesproken, wordt het fictieve



onderzoeksgebied voor deze case-studie bedoeld.

De studie kent de volgende fasen:

- 1 - eerste schetsontwerp voor de inrichting van de uiterwaard, inclusief nevengeul, op grond van de meest aannemelijke, parate uitgangspunten;
- 2 - onderzoek naar de consequenties voor de waterbeweging (MHW's en stroomsnelheidspatroon);
- 3 - onderzoek naar de morfologische consequenties voor de hoofd- en de nevengeul, qua bodemligging;
  - onderzoek naar de stabiliteit van het dwarsprofiel en het tracé van de nevengeul;
  - onderzoek naar de ecologische relevantie en de te verwachten biotoop op basis van de a-biotische factoren;
- 4 - aanpassing van het nevengeul-ontwerp, op grond van de in fase 3 uitgevoerde studies; een aantal van de voorgaande studie-onderdelen worden opnieuw uitgevoerd;
- 5 - het, op grond van de uitgevoerde studie, opstellen van ontwerpcriteria en -randvoorwaarden die een vrij algemeen toepassingskader hebben voor de Nederlandse rivieren;
- 6 - eindrapportage.

De studie is gevorderd tot een deel van punt 4. Daarmee is het meest essentiële deel gereed. Deze nota moet gezien worden als een interim-rapportage op grond waarvan reeds de stap naar 'het veld' gemaakt zou kunnen worden.

Van vrijwel alle hierboven genoemde onderzoeks-delen zijn zelfstandige rapportages. Deze nota beoogt:

- een totaaloverzicht van het tot op heden uitgevoerd onderzoek te geven,
- tot een integratie te komen van de relevante conclusies, aanbevelingen en ontwerpcriteria en
- aanbevelingen te doen voor verder onderzoek en het te ontwikkelen modelinstrumentarium.

Vanzelfsprekend is voor deze nota intensief gebruik gemaakt van de andere rapportages. Hoewel deze nota op zich zelf te lezen is, is het voor een gedetailleerd inzicht in de deelstudies noodzakelijk de betreffende rapporten te raadplegen. In de literatuur-opgave zijn ze vermeld.

#### 1.4 PROJECT-ORGANISATIE

Ten behoeve van dit onderzoek is een projectgroep opgericht die, naast een vaste vertegenwoordiging, ook een aantal ad-hoc deelnemers kende. Deze laatste namen deel aan het overleg op het moment dat hun specifieke inbreng gewenst was.

De samenstelling van de vaste leden van de projectgroep waren:

Mw. ir. C. Bakker

ir. R.J. Cirkel

ir. A.W. de Haas (project-leider)  
drs. E.C.L. Martejn  
ir. M. Schropp  
drs. J. Vanhemelrijk (tot augustus 1990)

Verder zijn er bijdragen in de projectgroep geweest (voor zover het RWS-bijdragen betreft) van:

drs. A.L.M. van Broekhoven (thans Dir. Noord-Brabant),  
Mw. drs. J.M.H. Demon (Dir. Gelderland),  
ing. J.J.H.M. Mannaerts (Dir. Gelderland),  
ir. H. Smit en  
Drs. G. van Urk.

## 2 HET SCHETSONTWERP

Om een zo realistisch mogelijke benadering van het project te krijgen is gekozen voor de opzet van een case-studie met een prototype-locatie als onderzoeksgebied. Daarmee stond de projectgroep voor de vraag welk uiterwaardgebied hiervoor in aanmerking kwam. Omdat het om een case-studie ging is er een keuze gemaakt op alleen technische gronden. Bestemmingsplannen, eigendomsproblemen en andere juridische zaken zijn buiten beschouwing gelaten.

Om tot een locatie-keuze en een schetsontwerp te komen is in eerste instantie een voorstelling gemaakt wat "een nevengeul" dient te zijn.

Een nevengeul is gedefinieerd als een permanent met de hoofdgeul meestromende geul door de uiterwaard. De lengte wordt bepaald door het punt van aftakking en samenvloeiing met het zomerbed en de bochtigheid. Zowel de lengte als de bochtigheid worden in sterke mate bepaald, c.q. beperkt door het dwarsprofiel van de nevengeul en het tracé van het zomerbed en de bandijk.

Om tot een eerste ontwerp te komen zijn een aantal vergadersessies belegd waarin via brainstorming en discussie en ondermeer gebruik makend van [ref.1] de volgende wensen zijn geformuleerd:

- De geul dient praktisch altijd mee te stromen om het karakter van het nevengeulverschijnsel optimaal tot zijn recht te doen komen; als richtlijn kan worden aangehouden 350 dagen per jaar.
- Tijdens perioden met een zeer lage waterstand in het zomerbed zal er tenminste nog een halve meter water op het diepste punt van het dwarsprofiel van de nevengeul aanwezig moeten zijn, opdat ook de minder ambulante waterorganismen zo de mogelijkheid hebben laagwaterperioden te overleven.
- Tenminste één van de taluds van het dwarsprofiel dient een flauwe helling te hebben (orde 1:30) ter bevordering van de ontwikkeling van een rijke oeverbiotoop.
- De stroomsnelheden in de nevengeul mogen onder normale omstandigheden, in verband met de vegetatie niet hoger zijn dan ca. 0.5 m/s.
- De nevengeul dient in een uiterwaard te liggen waar behalve voor de nevengeul nog voldoende ruimte beschikbaar is voor andere natuur-inrichtingselementen, zoals geaccidenteerd terrein voor de ontwikkeling van zacht- en hardhout ooibos en bijvoorbeeld een stagnante waterpartij.
- Het debiet door de nevengeul moet beperkt zijn in verband met een anders optredende ontoelaatbare aanzanding in het zomerbed van de rivier; voor de scheepvaart betekent een aanzanding een vaardieptebeperking tijdens lage rivierafvoeren. Als eerste benadering is gesteld dat het debiet in de nevengeul in de orde van 5 à 8 % mag bedragen.
- Behalve door de vorm van het dwarsprofiel kan het debiet ondermeer beperkt worden door het verhang van de nevengeul zo gering mogelijk te maken. Dit pleit ervoor een nevengeul in de buitenbocht van de hoofdgeul te ontwerpen.
- Om economische redenen wordt er vooralsnog niet aan een inlaatconstructie gedacht. Het debiet door de nevengeul is daarmee direct afhankelijk van de waterstand in het zomerbed.

Als onderzoeksgebied voor de case-studie is gekozen voor de Bemmelerwaard (bijlage 1). Behalve de al genoemde wensen waaraan de lokatiekeuze voldoet is de keuze vrij arbitrair, alhoewel er bij de projectgroep een voorkeur voor een lokatie langs de Waal bestond. Deze voorkeur vloeide voort uit de grootte van de rivier en de in de historie, vooral in Waal aanwezige nevengeulen. De andere potentiële rivier voor deze case-studie is de IJssel.

Met de lokatiekeuze ligt tevens het dwarsprofiel in grote lijnen vast:

- \* de bodemligging ter plaatse van de bovenstroomse mond wordt bepaald door de waterstand in het zomerbed met een overschrijdingsfrequentie van 350 d/j, verminderd met een halve meter;
- \* 'de bankfull-diepte' ligt vast door het verschil tussen de bodemligging en het maaiveld ter plaatse;
- \* de minimale breedte bij bankfull-afvoer wordt bepaald door de diepte en de beide talud-hellingen waarvan de ene 1:30 is. Voor de andere is grofweg 1:8 aangehouden.

Het tracé wordt in grote lijnen bepaald door de nog beschikbare ruimte in de uiterwaard. Daarbij is er vanuit gegaan dat de daar aanwezige steenfabriek, een aantal vuilstortplaatsen en een oude strang niet doorsneden mogen worden.

Door verder de diepe putten te verondiepen en daarnaast een terrein glooiend vanuit het geultalud tot boven het hoogwaterniveau op te hogen - beide om ecologische redenen - wordt de lay-out van het onderzoeksgebied verkregen (bijlage 2).

Hierna volgen enkele cijfermatige kenmerken van de nevengeul:

ligging instroommond nevengeul : km. 878,3 langs de Waal

ligging uitstroomopening: km. 880,8

lengte: 3200 m

bodemverhang: ca.  $0.78 \cdot 10^{-4}$

hoogteligging van de uiterwaard: zie bijlage 4

maaiveldhoogte rond de nevengeul: ca. 9 à 10 m+NAP

bodemligging: ca. 4.5 à 5 m+NAP

Dit ontwerp is de basis voor de fases 2 en 3 van het onderzoek.

### 3 DE WATERBEWEGING

#### 3.1 INLEIDING/PROBLEEMSTELLING

Een belangrijke parameter voor de gewenste ecologische ontwikkeling in en om de nevengeul is de rivierdynamiek. Hiermee wordt bedoeld de horizontale en verticale waterbeweging in relatie tot de frequentie van voorkomen. Het stroomsnelheidspatroon is een belangrijke parameter voor de flora- en faunaontwikkeling, de sedimentatie en erosie van bodemmateriaal, etc. Deze waterbeweging is eveneens een essentiële randvoorwaarde voor de rivierkundige aspecten van de nevengeul zelf en voor de rivier als totaal.

Om de stabiliteit van de nevengeul, de eventuele aanzanding van het zomerbed, de beïnvloeding van de maatgevende waterstanden, etc. te bepalen, is kennis van de waterbeweging een voorwaarde.

Daartoe is besloten een gedetailleerd 2-dimensionaal waterbewegingsmodel te maken van het onderzoeksgebied. Het doel van dit onderdeel is:

- \* het verkrijgen van inzicht in het stroomsnelheidspatroon in en om de uiterwaard voor een aantal representatieve afvoeren van de Waal;
- \* het leveren van een gedetailleerd inzicht in het stroomsnelheidspatroon in de nevengeul ten behoeve van de toetsing van habitats-eisen;
- \* het vaststellen van de eventuele beïnvloeding van de MHW's door de inrichting van de gehele uiterwaard inclusief de nevengeul;
- \* het verkrijgen van inzicht in de debietsverdeling voor verschillende afvoeren van de Waal en
- \* nagaan of dit model, qua invoer, grid-keuze, presentatiemogelijkheden, etc. een geschikt instrument is voor de benadering van dergelijk soort problemen.

#### 3.2. ONDERZOEKSOPZET

Dit onderzoek is uitgevoerd door het waterloopkundig Laboratorium en gerapporteerd in [ref.2]. De hoofdlijnen worden hier weergegeven.

Voor de simulatie van de waterbeweging is gebruik gemaakt van de kromlijnige modelversie van WAQUA: het programmapakket RIVCUR.

Het gebied van de Bemmelerwaard tussen de kilometerraaien 876.2 en 882.75 is in het rekenmodel gemodelleerd. Daartoe is een rekenrooster gemaakt van 11000 rekenpunten. Een belangrijk uitgangspunt daarbij was dat de stroming in de nevengeul in perioden van lage rivierafvoer voldoende nauwkeurig kan worden gesimuleerd. Bij lage afvoeren is de breedte van de stroming in de nevengeul niet groter dan enkele tientallen meters. Dit heeft geleid tot een sterke verdichting van het rekenrooster rond de nevengeul, met een maaswijdte daar, dwars op de stroomrichting van ca. 5 meter (bijlage 3).

Als uitgangssituatie ( T<sub>0</sub> ) is de modelschematisatie aangehouden zoals die is gebruikt ten behoeve van de MHW-berekeningen van 1986. In de huidige situatie ligt het modelgebied er in grote lijnen nog gelijk bij zodat die schematisatie een goed te

gebruiken is als T0-situatie.

Voor de situatie met nevengeul is het model op tal van punten aangepast. Bijlage 4 geeft de hoogte ligging van het modelgebied voor beide situaties.

De modellering van het gebied is zo nauwkeurig mogelijk afgestemd op de ontworpen inrichtingsschets van de uiterwaard. In de nieuwe bodemligging is, naast de nevengeul, de verondieping van putten en de ophoging van het terrein grenzend aan de steenfabriek opgenomen. Verder is de voorziene begroeiing - ondermeer een oobos op het verhoogde terrein - tot uitdrukking gebracht in de ruwheidswaarden van het model.

Totaal zijn er 5 berekeningen uitgevoerd. Om de beïnvloeding van de MHW's zichtbaar te maken, is de T0-situatie vergeleken met de nieuwe situatie bij de vastgestelde maatgevende Rijnafvoer van 16.500 m<sup>3</sup>/s.

De andere berekeningen zijn alle uitgevoerd voor de situatie met nevengeul onder verschillende afvoersomstandigheden. Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde berekeningen.

tabel 1: overzicht rekenvarianten

nummer rekenvariant	Debiet Q (m <sup>3</sup> /s)		waterstand mond nevengeul	model-schematisatie
	Bovenrijn	Waal		
T0	16.500	10.370	15.75	huidige
T1	16.500	10.370	15.75	aangepaste
T2	8000	5300	12.67	aangepaste
T3	3275	2205	9.60	aangepaste
T4	1970	1356	7.75	aangepaste
T5	660	530	5.24	aangepaste

De keuze van de afvoeren is als volgt tot stand gekomen. Bij T0 en T1 wordt de Maatgevende afvoer gebruikt teneinde inzicht te krijgen in een eventuele verandering van de MHW's. Voorts is een zeer lage afvoer gekozen ( T5 ); overschrijdingspercentage 0,22 %. Dit heeft om ecologische redenen de voorkeur in verband met de wens een minimale diepte van 0,5 m. te handhaven en tevens om interpolatiemogelijkheden van de resultaten te krijgen. Vervolgens is daar een drietal afvoeren tussen gekozen: T4, een afvoer die min of meer de helft van de tijd wordt onderschreden; T3 kenmerkt zich door een bankfull-situatie voor de nevengeul (overschrijdingspercentage 12,6 %) en T2 is een relatief hoge afvoer die zo nu en dan nog voorkomt ( overschrijdingspercentage 0,27 % ).

### 3.3. RESULTATEN

#### Maatgevende Hoogwaterstanden

De beïnvloeding van de MHW's door de inrichting van de uiterwaard wordt duidelijk door een vergelijk van de waterstanden tussen de varianten T0 en T1. Uit de berekeningen blijkt dat er benedenstrooms van kilometerraai 879,5 - dit is ter hoogte van halverwege de nevengeul - geen sprake is van een significante verandering van de MHW's. Bovenstrooms van deze raai is een toename van de MHW's te zien die oploopt tot ca. 5 cm bij kilometerraai 875 om daarna geleidelijk weer uit te dempen.

#### Debietverdeling

De aanleg van de nevengeul heeft tot gevolg dat er meer water van de hoofdgeul door de uiterwaard stroomt. In de situaties T1 en T2 staat niet alleen de nevengeul, doch de gehele uiterwaard onder water. Teneinde inzage te krijgen in het effect van de nevengeul op de afvoerverdeling is voor een raai op km. 879,8 de afvoer over specifieke secties van het totale dwarsprofiel gesommeerd. Deze zijn weergegeven op tabel 2.

tabel 2: afvoerverdeling (Q in m<sup>3</sup>/s)

variant	Q totaal	Q hoofd-geul	Q uiterw. excl.geul	Q-nevengeul	Q(neveng)/Q(totaal)
TO	10.370	5800	3578	979	9.4%
T1	10.370	5258	2811	2306	22.2%
T2	5300	3303	904	1094	20.6%
T3	2205	1715	64	425	19.3%
T4	1356	1185	0	171	12.6%
T5	530	501	0	23	4.3%

#### Stroomsnelheden

De grootte van de stroomsnelheden is een belangrijk gegeven voor de beoordeling van morfologische en ecologische effecten die zich kunnen voordoen als gevolg van de aanleg van de nevengeul. In de figuren 5 t/m 9 zijn de resultaten van de berekeningen voor de 5 varianten met een nevengeul gepresenteerd. Ten behoeve hiervan is gebruik gemaakt van het presentatieprogramma UNIMAP.

In tabel 3 wordt voorts een overzicht gegeven van de gemiddelde snelheden in het zomerbed (hoofdgeul) en de nevengeul, voor elk van de afvoeren. De gemiddelden zijn berekend met behulp van het gesommeerde debiet en het natte oppervlak.

tabel 3: gemiddelde snelheid in hoofdgeul en nevengeul (m/s)

variant	HOOFD GEUL		NEVEN	GEUL
	Q (m <sup>3</sup> /s)	gem. snelheid	Q (m <sup>3</sup> /s)	gem. snelheid
T1	5258	1.15	2306	0.95
T2	3303	0.95	1094	0.63
T3	1715	0.82	425	0.48
T4	1185	0.84	169	0.38
T5	501	0.65	23	0.18

### 3.4. CONCLUSIES, DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Uit de analyse van de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1. Door de inrichtingskeuze van de uiterwaard (verondieping putten, een ophoging, aanleg nevengeul, ontwikkeling oobossen) nemen de MHW's, bovenstrooms van de aantakking van de nevengeul met ca. 5 cm toe.

De toename van de MHW's moet verklaard worden uit de grotere ruwheid die is ontstaan door de ontwikkeling van de oobossen. Opmerkelijk is dat het ontstane doorstroomprofiel van de nevengeul, de gevolgen van de ruwheidstoename niet geheel kan compenseren. Wel kan gesteld worden dat het hier om geringe verschillen gaat!

2. De hier ontworpen nevengeul onttrekt een debiet van de hoofdgeul dat toeneemt met de toename van de totaalafvoer. Onder gemiddelde afvoerstandigheden is de onttrekking ca. 12 %. Deze neemt af tot ca. 5 % bij zeer lage afvoeren en toe tot ongeveer 20 % tot een afvoer waarbij de uiterwaard nog juist niet instroomt. Bij nog hogere afvoeren blijft de verhouding min of meer gelijk.

De debieten door de nevengeul zijn groter dan het bij het schetsontwerp opgestelde wenspakket. Daar is als wens naar voren gebracht dat de debieten door de nevengeul 5 à 8 % zouden mogen bedragen. De reden hiervoor is de negatieve invloed van een relatief grote debietsonttrekking voor aanzanding in de hoofdgeul. Uit de verdere studie zal het negatieve gevolg ook blijken.

3. De gemiddelde snelheden in de nevengeul zijn gemiddeld gedurende 99 % van de tijd lager dan 0,6 m/s; voor 85 % van de tijd zijn ze lager dan 0,5 m/s. Voor de maxima zijn deze waarden respectievelijk 1.0 en 0.8 m/s; waarden die op het diepste punt van het dwarsprofiel optreden.



De snelheden voldoen in redelijke mate aan de gestelde eisen. Bedacht moet worden dat het bij de genoemde gemiddelde snelheden om één snelheid gaat als een gemiddelde over de gehele nevengeul. Ook de vermelde maxima zijn weliswaar de hoogste in de geul voorkomende snelheden, doch altijd nog diepte gemiddeld. Dit betekent dat de snelheden aan het oppervlak wat hoger en nabij de bodem wat lager zullen zijn.

## 4. DE ECOLOGIE

### 4.1. INLEIDING

Zoals reeds in de inleiding van dit rapport naar voren is gekomen, is de verruiming van het ecologisch functioneren van de grote rivieren de drijfveer van deze studie. Vanuit deze vakdiscipline zal de probleem- en de doelstelling geformuleerd worden, waarbij in het bijzonder ook de realisatie-mogelijkheden belicht worden.

Dit onderdeel van de studie is in twee delen gesplitst: de vegetatie en de makrofauna. Beide organismegroepen zijn sterk plaatsgebonden en kunnen daardoor in een eventueel proefproject relatief eenvoudig worden gevolgd (geschikt voor monitoring). De reden waarom daarnaast is gekozen voor deze groepen moge blijken uit de volgende overwegingen:

- vegetatie vormt veelal de basis van een ecosysteem en met name de watervegetatie ontbreekt in grote delen van de Nederlandse Rijntakken; het onderzoek naar de vegetatieontwikkeling in nevengeulen is daarom gewenst;
- macrofauna is een belangrijk voedselorganisme voor vis en vogels; met name de aan stromend water verbonden soorten zijn uit de Rijn verdwenen en worden in nevengeulen terug verwacht;
- vis in relatie tot nevengeulen dient ook onderzocht te worden, in het bijzonder omdat er ook nog relatief weinig bekend is over dit onderwerp; het belang van nevengeulen voor vis is groot; echter uit enkele publikaties blijkt dat de specifieke nevengeul-omstandigheden minder van belang zijn dan de aanwezigheid van met de rivier verbonden wateren in het algemeen;
- vogels hebben belang bij een grote diversiteit van het landschap; door de aanleg van een nevengeul wordt de landschapstructuur verrijkt, echter het effect of de meerwaarde van een specifieke nevengeul voor vogels zal waarschijnlijk moeilijk aantoonbaar zijn;
- voor zoogdieren tenslotte geldt in grote lijnen hetzelfde als voor vogels is beschreven.

Dit alles heeft, zoals al is verwoord, geleid tot onderzoek naar vegetatie- en makrofaunaontwikkeling in en rond nevengeulen.

Beide zijn opgedragen aan externe onderzoeksbureaus en gerapporteerd in respectievelijk [ref.4] en [ref.5].

Er is intensief gebruik gemaakt van de hoofdlijnen van beide rapporten, door ze al dan niet gecompriëerd, te integreren in de tekst van dit hoofdstuk.

## 4.2. VERANDERINGEN IN HET RIVIERENSYSTEEM

### Rivierkundig

De mens heeft zich vanaf ca. 1000 na Chr. ingezet om het riviereengebied beter bewoonbaar te maken. Aanvankelijk was alleen bewoning mogelijk op de oeverwallen die door kaden werden beschermd tegen het water. Bij afvoergolven stroomde het water via de lagere delen in de kommen waar rivierklei werd afgezet.

Vanaf ca. 1200 is de waterstaatszorg in groter verband met name in het westen georganiseerd. In de 13e en 14e eeuw heeft men zich ook in Brabant en Gelderland georganiseerd.

De onregelmatige kaden werden vanaf de 14e eeuw aangesloten tot een stelsel van bandijken. Daarmee werd het winterbed van de rivieren in grote lijnen vastgelegd. In de daaropvolgende eeuwen zijn de ooibossen gekapt en heeft men allerlei maatregelen genomen om de uiterwaarden zolang mogelijk droog te houden ten behoeve van de veeteelt en de kleiwinning. Dit leidde tot de aanleg of ophoging van zomerkaden. Ook werd riet en wilg aangeplant. In het zomerbed werden houten kribben aangelegd ten behoeve van de landwinning.

Dit alles had tot gevolg dat het water zowel in de zomer als in de winter ernstig in haar afstroming werd belemmerd en er veel dijkdoorbraken plaats vonden.

In 1798 werd het beheer van de Rijntakken onder het centrale bestuur van de Bataafse Republiek gebracht. Deze vaardigde in 1806 een rivierenwet uit waarin het werd verboden, behoudens een vergunning, werken aan te leggen tussen de bandijken die de vrije afstroming van het water konden belemmeren.

In deze tijd waren er nog veel eilanden aanwezig in de rivier. Tussen de eilanden en de oevers stroomden de hoofd- en nevengeulen. De hogere delen van deze eilanden bezaten nog ooibos of waren in gebruik als hooiland. De eilanden waren vooral in trek bij zalmvissers, die vermoedelijk door de geringe breedte en diepte van de nevengeul de zalm eenvoudiger konden bevissen dan de hoofdgeul.

Al naar gelang het erosie-sedimentatiepatroon rond de bewegende eilanden konden de nevengeulen permanent waterafvoerend zijn dan wel deels opgeslibt, waardoor ze alleen functioneerden bij hogere afvoeren.

In het begin van de 19e eeuw is een aanvang gemaakt met de eerste normalisatie, die beperkt is gebleven tot enkele plaatselijke stroomgeleidingen. Doel ervan was om op die manier stroombelemmeringen glad te strijken teneinde overstromingen te voorkomen. Voor de volgende normalisatie lagen er nog 31 eilanden in de rivier op het traject van Lobith tot Gorinchem. Bij de tweede normalisatie heeft men gestreefd naar een regelmatig zomerbed om de waterafvoerende functie veel sterker tot zijn recht te laten komen. Uit deze tijd stammen de meeste kribben en zijn alle eilanden met de oever verbonden door strekdammen. De breedte van het zomerbed was daarmee teruggebracht van 500 à 800 meter tot 310 à 360 meter.

Tenslotte is het begin van deze eeuw nog een derde normalisatie uitgevoerd, waardoor het zomerbed verder is versmald tot 260 meter op de Waal en de rivier haar huidige loop heeft gekregen. Met name bij deze laatste normalisatie nam ook de diepte van het zomerbed toe, wat een positief effect had voor de scheepvaart.

Met steeds verdergaande normalisatie werden ook de bandijken hoger en sterker

gemaakt, zodat overstromingen (van de bandijken) steeds minder voorkwamen. Tot voor de derde normalisatie traden nog wel eens overstromingen op tijdens ijsbezetting op de rivier. Na de laatste normalisatie behoort een doorbraak van de bandijk vrijwel tot het verleden.

Met deze veranderingen in het rivierengebied in de loop der eeuwen is de morfologie van het landschap en de hydrologie ervan drastisch veranderd. Vanzelfsprekend heeft dit zijn weerslag op de ecologie. Habitats (in relatie tot de stroming) zijn veranderd door de ingrepen in het rivierkundig systeem en door een ander maatschappelijk gebruik van het rivierengebied.

### **Wijzigingen in karakteristieke rivierhabitats**

#### **\* Habitat 'snag'**

Snag is levend en dood hout dat zich op of in het water bevindt, of takken en bomen die in de bodem begraven liggen. Door het kappen van de ooibossen is de natuurlijke aanvoer van dit materiaal als habitat verloren gegaan. Vervolgens heeft men vanwege de bevaarbaarheid het nog aanwezige hout uit de rivier verwijderd. De habitat snag herbergt een grote hoeveelheid van de totale dierlijke biomassa. De helft van de belangrijke vissoorten haalt tenminste 60% van hun voedsel uit de snaghabitat. Daarnaast is de habitat snag van groot belang als substraat voor makro evertrebraten en is van grote invloed op de bodemmorfologie. Door haar hoge weerstand bezinken er veel lichtere materialen tussen de snag, die in een geschoonde rivier in suspensie zouden blijven. Mede hierdoor en door anderzijds vanwege het geschikte oppervlak vormt in het water liggend hout het ideale substraat voor makro-evertrebraten. Indicatorsoorten voor deze habitat zijn: *Symposiocladius lignicola* (vedermug) en *Nevermannia maculata* (kriebelmug).

#### **\* Habitat van stabiele ondiepe zandige en slibbige oeverzones**

Een karakteristieke bewoner van deze habitat is de *Lipiniella arenicola*, een vedermug die leeft van algen waarvan het merendeel bentische algen (waarnemingen Klink). In het begin van deze eeuw was deze habitat langs de Rijntakken nog aanwezig. Sindsdien is door het verder versmallen van het dwarsprofiel een sterke erosie opgetreden in het zomerbed, waardoor de bodem van de Rijntakken tussen 1930 en 1960 met 1 meter is gedaald. Dit heeft geleid tot een uniforme diepte van meer dan 3 meter. De diepte waar nog voldoende licht doordringt voor de groei van primaire producenten ligt in de Rijntakken tussen de 70 en 90 cm, zodat de produktie van bentische algen nauwelijks meer van belang is.

#### **\* Habitat schuivend zand**

In deze habitat is ogenschijnlijk geen voedingsbron aanwezig voor de hierin levende fauna. Onder dit schuivend zand kan echter detritus begraven zijn. Tot een diepte van 70 cm in het zand kan de fauna nog in aanzienlijke hoeveelheden voorkomen. Op grond van de huidige inventarisatie in de Rijn moet worden aangenomen dat deze habitat, voor zover aanwezig, niet meer aan de eisen voldoet van haar karakteristieke bewoners, bijvoorbeeld: de *Ephoron virgo* (haft).

\* Habitat kleibanken

Indien een rivier zich insnijdt in oudere compacte kleiafzettingen ontstaat een habitat die uniek is voor de benedenloop van grote rivieren. Mede door het uitvlieggedrag van haar meest specifieke bewoner, de eendagsvlieg *Palingenia longicauda* of oeveraas (haft), weten we dat deze habitat vroeger in het Nederlandse gedeelte van de Rijn aanwezig was. Door de uitgevoerde normalisatiewerken kan de rivier zich niet meer zijwaarts insnijden in oudere afzettingen, waardoor deze habitat thans niet meer aanwezig is.

\* Waterplanten in het zomerbed

Waterplanten vormen op zich zelf een habitat voor bepaalde organismen, zoals bijvoorbeeld de *Pothamanthus luteus* (haft) en *Stenochironomus* (vedermug). In de huidige Rijn tot Gorinchem hebben waterplanten in het zomerbed geen betekenis en zijn de oevers vrijwel kaal. Op de lagere delen van de uiterwaard is hier en daar wel moerasvegetatie ontwikkeld. Vóór de vijftiger jaren kwam er in kribvakken langs de Boven-Waal waterplanten voor waar deze nu ontbreken. Ondanks het feit dat de oevervegetatie in het begin van deze eeuw al schaars moet zijn geweest is dit geen normale situatie. Op plaatsen met lage stroomsnelheden zouden drijvende en emergente waterplanten voor moeten komen. Een van de in de eerste helft van deze eeuw voorkomende planten langs de rivier, rivierfontijnkruid, wordt nu pas verder benedenstrooms in de beneden-Ijssel aangetroffen.

### 4.3. HUIDIGE SITUATIE

Uit de vorige paragraaf wordt al duidelijk wat de huidige ecologische situatie van de (stromende) rivier is. Het rivierkundig regiem, de infrastructuur en het gebruik hebben geleid tot een verandering van de watervegetatie en het verdwijnen van specifieke habitats. Nu treffen we het volgende beeld aan :

#### \* Habitat huidige oeverzones

De huidige oeverzones van het zomerbed van de Rijntakken (de kribvakken) bestaan, mede door de sterk toegenomen golfslag als gevolg van scheepvaart, uit zeer goed gesorteerd zand met nauwelijks enige bijmenging van organisch materiaal. Dichtheden aan diatomeeën op dit zand zijn verwaarloosbaar in vergelijking met stabiele zandige oevers waar de waterstand veel minder sterk wisselt. Dit heeft tot gevolg dat de huidige bodemfauna in de ondiepe oeverzone zeer soortennarm is en een lage biomassa heeft.

Door de relatief hoge stroomsnelheden in de kribvakken als gevolg van de normalisatie en de scheepvaart komen er nauwelijks waterplanten voor in de oeverzones.

#### \* Habitat zomerbedbodem

In tegenstelling tot de situatie vóór de normalisatie ligt de gehele zomerbedbodem van de Rijntakken nu beneden de euphotische zone, waardoor op de bodem geen primaire produktie meer plaats vindt. Door de toegenomen erosie in het bovenrivierengebied is deze bodem instabiel en zeer arm aan makro-evertebraten. De habitat van het schuivend zand, waarin nog organisch materiaal begraven lag is door een combinatie van versmalling van het zomerbed en scheepvaart waarschijnlijk overgegaan in een situatie waarin het zand wordt opgewerveld en het organisch materiaal wordt uitgespoeld.

De standplaatsfactoren licht, waterbeweging en substraat zijn van dien aard dat er geen waterplanten voorkomen op de rivierbodem.

#### \* Habitat kribben en stortsteen

Door de normalisatie is een nieuw habitat ontstaan van steen. Deze habitat wordt grotendeels bewoont door de organismen die vroeger op de snag en op de waterplanten hebben geleefd. Een beperkt aantal soorten is sterk in betekenis toegenomen met het ontstaan van deze habitat. Momenteel leeft tenminste 77% van de totale insektenfauna op de kribben en stortstenen, waarmee deze nieuwe habitat biologisch de belangrijkste plaats inneemt in de huidige Rijntakken.

#### 4.4. DOELSTELLING NEVENGEUL

Een (permanent meestromende) nevengeul met bijbehorende biotische en a-biotische condities bestaat in Nederland niet meer. Om verloren gegane habitats met haar bewoners en vegetatie terug te krijgen is de realisatie van een nevengeul langs de hoofdgeul één van de mogelijkheden. De onderhavige studie is hierop gericht.

Wat betreft de ecologie, is onderzoek uitgevoerd naar de vraag welke habitat, met haar flora en fauna (makro-evertebraten), na de realisatie van een dergelijke nevengeul, in de huidige omstandigheden zal ontstaan.

In de volgende paragrafen zullen de resultaten van de beide onderzoeken, zoals gerapporteerd in [ref.4] en [ref.5] kort worden weergegeven.

#### 4.5. DE VERWACHTE VEGETATIE

Voor het watertype 'stromend water' kunnen in principe inrichtings- en beheerseisen worden geformuleerd door:

1. inrichting en beheer van vergelijkbare watertypen elders te beschrijven. Bij deze benaderingswijze (de biotoopbenadering) moet het biotoop elders dat als 'model' wordt gebruikt, zich bevinden in een rivierecosysteem dat grosso modo met de (bovenstroomse) Rijntakken vergelijkbaar is;
2. de milieu- of biotoopeisen van de karakteristieke flora (en fauna) te inventariseren en deze te vertalen naar inrichtings- en beheersniveau. Deze benadering (de autecologische benadering) vereist ten eerste dat bekend is welke organismen karakteristiek zijn voor 'stromend water in een laaglandrivier met vergelijkbare kenmerken als de bovenstroomse Rijntakken' en ten tweede dat over deze organismen voldoende autecologische kennis voorhanden is;
3. in proefprojecten verschillende inrichtings- en beheersvarianten in de praktijk te beproeven en te beoordelen.

In het kader van deze studie komen alleen benaderingen 1 en 2 als te hanteren methoden in aanmerking. Beide benaderingen veronderstellen dat:

- a. bekend is welke abiotische en biotische factoren relevant zijn voor het voorkomen van de organismen;
- b. de relevante factoren afdoende gekwantificeerd kunnen worden. Bij planten worden deze factoren meestal betiteld als standplaatsfactoren.

#### **biotoopbenadering**

Een (permanent meestromende) nevengeul met vergelijkbare abiotische condities (zandbodem, vergelijkbaar afvoerregime, waterkwaliteit) bestaat in Nederland helaas niet. In een aantal buitenlandse rivieren zijn hier of daar wel nevengeulen aanwezig, maar qua hydrologische dynamiek zijn deze moeilijk vergelijkbaar met de boven-Waal.

Het ontbreken van van goed gedocumenteerde gegevens over stroomsnelheden, waterstandsfluctuaties e.d. in deze rivieren is hiervan een belangrijke oorzaak. In het algemeen blijkt echter dat de genoemde soorten weinig afwijken van de soorten die onderzoek naar de huidige Rijnbiotopen en historische Rijn-gegevens opleveren. Los van de vraag of stromende wateren met vergelijkbare peilfluctuaties te vinden zijn, is wel het een en ander af te leiden uit de vegetatie die voorkomt in habitats langs de bovenstroomse Rijntakken die in bepaalde opzichten met de nevengeul vergelijkbaar zijn, zoals:

- de huidige hoofdgeul en kribvakken;
- zandputten, grintgaten, strangen etc. met een open verbinding, en liefst zonder drempel (een drempel filtert als een stuw lage waterstanden uit).

Deze dienen zich te bevinden in de Rijn, de Waal of de IJssel (ongeveer de zelfde waterkwaliteit) op plaatsen die liefst qua waterstandsfluctuatie, substraat (zand?), substraatstabiliteit (waterbewegingsgradiënt van opening naar verst van opening verwijderde delen), talud etc. met de nevengeul vergelijkbaar zijn. In ieder geval kan uit de daar aanwezige soorten worden afgeleid welke soorten de grootste kans maken zich in de nevengeul te vestigen. Hoe groot die kans daadwerkelijk is, verschilt van jaar tot jaar en hangt af van de reële peilfluctuaties in een concreet jaar of reeks van jaren in samenspel met substraat(stabiliteit) en micro-klimaat.

In dit geval is een eerste inspectie uitgevoerd van de beschikbare gegevens voor zand- en kleiputten, strangen en de hoofdgeul van Boven-Rijn, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn (t/m Oosterbeek, km 890), IJssel (t/m Olst, km 956,8) en Waal (t/m Heerwaarden, km 923,2) met ongeveer gelijke waterstandsfluctuaties als in de nevengeul. Substraat en drempels zijn daarbij echter niet in beschouwing genomen, omdat gegevens daaromtrent ontbreken. De op deze lokaties voorkomende water- en oeverplanten soorten zijn geïnventariseerd. Gezien bijvoorbeeld de aanwezigheid van riet, zijn er monsterlocaties bij, die redelijk tot goed geïsoleerd zijn, zodat in deze 'selectie' waarschijnlijk meer soorten aanwezig zijn die onder hydrologisch dynamische condities weinig kans hebben.

#### **autecologische benadering**

In de literatuur is een algemeen overzicht te vinden van factoren die het voorkomen van water- en oeverplanten bepalen. Dit kan nog worden toegespitst op de standplaatsfactoren specifiek voor stromend water en de factoren die in de overgang water-oever-land een bepalende rol spelen. De belangrijkste standplaatsfactoren zijn:

1. Waterkwaliteit
2. Waterkwantiteit
3. Licht
4. Waterbeweging (stroming en golfslag)
5. Substraat c.q. bodem (samenstelling en stabiliteit)
6. Biotische factoren



Veel van deze (clusters van) factoren hangen onderling samen.

De belangrijkste conclusies met betrekking tot de standplaatsfactoren in de bovenstroomse Rijntakken zijn:

#### **1. Waterkwaliteit**

De (huidige) saliniteit lijkt gezien de verspreidingsgegevens voor verscheidene soorten een beperkende factor. Voor de meeste water- en oeverplanten is als gevolg van lozingen de saliniteit van het huidige Rijnwater hoger dan de waarde waarbij ze optimaal voorkomen. Exacte tolerantiegrenzen zijn echter niet bekend.

#### **2. Waterkwantiteit en 3. Licht**

De grote, onregelmatige waterstandsfluctuaties in combinatie met de geringe lichtdoorlatendheid van het water is voor alle waterplanten en veel oeverplanten een zeer belangrijke beperkende factor in de hoofdgeul van de bovenstroomse Rijntakken en de wateren die daarmee in open verbinding staan.

#### **4. Waterbeweging en 5. Substraatsamenstelling/stabiliteit**

Hoge stroomsnelheden en/of golfslag en zuigwerking zijn er de oorzaak van dat het hoofdzakelijk zandige substraat in de hoofdgeul en in kribvakken geen stabiel substraat vormt. Vestiging van waterplanten op dergelijk, vrijwel permanent bewogen substraat lijkt uitgesloten.

#### **6. Biotische factoren**

Ofschoon onbekend is of voldoende diasporen aanwezig zijn of worden aangevoerd, lijkt het voorsnog voorbarig de beschikbaarheid van diasporen als een beperkende factor op te voeren.

De factor vraat (door vee) mag echter niet worden onderschat. Vee vertrapt en vreet wilgen- en populieren-opslag en oeverplanten weg en heeft daardoor zowel invloed op de soortensamenstelling als indirect invloed op de stromingscondities bij hogere afvoeren, de substraatsamenstelling en de morfologie. Daar echter de vraatdruk overal langs de rivieren ongeveer even groot zal zijn, lijkt het onwaarschijnlijk dat vraat een verklaring vormt voor het verschillend voorkomen van water- en oeverplanten in zomer- en winterbed en in beneden- en bovenstroomse delen. Vraat vormt eventueel wel een extra stress-factor voor met name oeverplanten.

De grootste complicaties en hiaten in de beschrijving van de standplaatsfactoren liggen op het terrein van het complex waterstandsfluctuaties/lichtgebrek/zuurstofgebrek/watergebrek en het complex waterbeweging/substraatstabiliteit.

In de kennis omtrent de invloed op de vegetatie van de factoren afzonderlijk zowel als in samenspel zijn zeker nog hiaten aanwezig. Desondanks is tot op zekere hoogte een globale voorspelling mogelijk ten aanzien van de in de nevengeul te verwachten vegetatie.

Aangenomen wordt dat de waterkwaliteit en troebelheid gelijk zijn aan die in de Waal en dat diasporen en vraat niet beperkend zijn.

Bij de stroomsnelheden in de nevengeul bij lage en mediane afvoer, en deels zelfs bij

hoge afvoer (zie tabel 3) lijkt zandig substraat stabiel te zijn. De stroomsnelheden vormen derhalve meestal geen hindernis voor waterplanten of oeverplanten.

Op grond van de maximale waterstandsfluctuatie en de maximale saliniteit waarbij water- en oeverplanten aangetroffen zijn, is een selectie te maken van planten die met de grootste waarschijnlijkheid in de geul te verwachten zijn (zie [ref.4]).

### **conclusie**

De vegetaties die bij de biotoop- en de autecologische benadering zijn voorspeld, vertonen een grote overlap. Op bijlage 10 zijn deze soorten genoemd. Hierbij moet worden opgemerkt dat de gegevens zijn verzameld ongeacht de aanwezigheid van drempels en zonder vermelding van substraat-type. Aanvullend onderzoek hiernaar zou de genoemde lijst waarschijnlijk verkorten.

Beide werkwijzen voorspellen een set van planten die de grootste kans hebben zich in en om de nevengeul te vestigen. Sommigen zullen altijd en abundant aanwezig zijn, sommige vaak en sommige bijna nooit. Het voorkomen wordt elk seizoen opnieuw bepaald door de omstandigheden. Waar de omstandigheden constant zijn, dus voorspelbaar, levert een enigszins betrouwbare voorspelling daaromtrent geen problemen op. Indien de omstandigheden permanent (extreem) variabel zijn ook niet, omdat men dan alleen pioniersoorten hoeft te verwachten die o.a. door hun korte levenscyclus en wijze van verspreiding aan dergelijke, kortstondig gunstige milieus zijn aangepast. Echter, onder de waterplanten en 'natte' oeverplanten zijn weinig soorten te vinden met een korte levenscyclus (< 2-3 maanden). Bij deze planten zijn vooral de hydrologische omstandigheden in de vorm van de optredende waterstandsfluctuaties bepalend, en daar valt vermoedelijk geen peil op te trekken.

Vooralsnog lijkt alles er op te wijzen dat geen permanente waterplantenvegetatie in de geul te verwachten is. Daar de hydraulische, morfologische en substraatcondities beduidend gunstiger zijn dan langs de Waaloevers, is de kans veel groter dat waterplanten eventuele gunstige hydrologische condities vermogen uit te buiten. Schedefonteinkruid is dan de waterplant die naar verwachting het snelst zal profiteren.

Als gevolg van het glooiende talud zijn de 'diepte-zones' veel breder en is de kans op micro-reliëf veel groter dan op de steile oevers van Waal en zandputten. Door de lagere stroomsnelheden is een (bijmenging van) fijner substraat en - mede onder invloed van wilgenopslag - meer organische bestanddelen te verwachten, wat het vochtvasthoudend vermogen van de bodem ten goede komt. Oeverplanten die momenteel wegens vochtgebrek de Waaloevers mijden, zullen daarvan profiteren, althans voor zover hun inundatietolerantie dat toelaat.

Daarnaast worden abundant de inundatie- en droogte-tolerante oeverplanten en de één- en tweejarige pioniersoorten van zand en slik aangetroffen, die op 'normale' Waaloevers ook vertegenwoordigd zijn.

Wat betreft de hydraulische condities lijkt het schetsontwerp goed te voldoen. Het talud van de geul lijkt 't ontstaan van micro-reliëf (poelen, geulen waarin na peildaling lange tijd water achterblijft) te bevorderen, mogelijk een vereiste voor waterplanten en vochtminnende, maar niet echt inundatietolerante oeverplanten om drogere perioden

te overleven en 'in de zonering' te blijven.

De nevengeul biedt wel 'verzachte omstandigheden', maar geen oplossing voor het belangrijkste knelpunt in de bovenstroomse Rijntakken, de grillige peilfluctuaties. Een 'in loco' pseudo-oplossing zou zijn, af te zien van permanente stroming, en de in- en uitstroomopening van de geul te voorzien van drempels. In een vergelijkbaar geulontwerp verder benedenstrooms zou zich wèl met zekerheid waterplantenvegetatie in permanent stromend water vestigen.

#### 4.6. MAKRO-EVERTEBRATEN

##### **Habitat-ontwikkeling.**

De hoofdstructuur van een nevengeul wordt gevormd door een meanderende geul met zeer glooiende oevers, waardoor de mogelijkheid bestaat dat er meerdere geulen ontstaan binnen het nevengeulencomplex. Van belang is dat er diepe en ondiepe geulen ontstaan met een grote ruimtelijke variatie in stroomsnelheid. In de delen met een hoge stroomsnelheid zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van de levensgemeenschap van schuivend zand (de Ephoron habitat). In de minder snel stromende, ondiepe delen zullen benthische algen tot ontwikkeling komen en daarmee zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van de stabiele zand habitat (Lipiniella habitat).

Nadat deze hoofdstructuur is aangelegd zal op verschillende plaatsen in het nevengeul gebied de snaghabitat gestimuleerd moeten worden door het aanplanten van wilgen langs de waterlijn. Indien bestaande houtopslag aanwezig is kan deze daarvoor worden gebruikt. Naarmate deze bronnen zich verder ontwikkelen komt er meer hout onder water terecht, waarmee een eerste aanzet is gegeven voor de ontwikkeling van snag (Symposiocladius habitat).

De volgende stap is het selecteren van lokaties waar oeverplanten zich kunnen en mogen ontwikkelen (Potamanthus habitat), of waar het zelfs een noodzaak is om vegetatie aan te planten voor de stabilisatie van de oever. In het laatste geval zou bijvoorbeeld rietgras (*Phalaris arundinacea*) aangeplant kunnen worden. Deze plant groeit op de meest uiteenlopende bodems. Op grind met zand en een laag gehalte aan organische stof tot slibbige bodems met een hoog organisch stof gehalte. Tevens kan rietgras een langdurige inundatie verdragen (6-7 maanden) of slechts onder water staan bij afvoergolven. Deze opmerkelijke eigenschap kan worden gebruikt om de regeneratie en stabilisatie van oevers te bevorderen.

De vegetatie en de snag zullen de toevoer van grof organisch materiaal vergroten. Daarnaast zal er een differentiatie in stroomsnelheid optreden, waardoor de sedimentsamenstelling in de kleinschalige ruimte een gevarieerd karakter krijgt. In de luwten zijn de voorwaarden aanwezig voor de ontwikkeling van waterplanten. Op deze plaatsen kan het organische materiaal tot bezinking komen en zal ook zwevende stof worden ingevangen. Hierdoor zal op deze plaatsen een bodem ontstaan met een combinatie van bezonken zwevend materiaal en gevallen blad.

Binnen de geschetste hoofd- en nevenstructuren zal hydrologisch onderzoek de vraag moeten beantwoorden welke gemiddelde afvoer moet worden gehanteerd bij een bepaald beschikbaar oppervlak van het geulencomplex. Voorwaarde hierbij is dat de afvoer de natuurlijke afvoer van de Rijn moet volgen om natuurlijke processen zoveel mogelijk te stimuleren. Daarnaast moet de afvoer in het geulencomplex zodanig zijn dat een dynamiek ontstaat die overeenkomt met die in een natuurlijke grote rivier. Bij een te lage dynamiek zal het complex zich ontwikkelen naar een terrestrisch ecosysteem, terwijl bij een te hoge dynamiek de geul(-en) zich snel zullen verleggen en eventuele eilanden snel worden weggespoeld of aan de 'harde' oevers vastgroeien, waardoor de beoogde gradiënten in stroomsnelheid, bodemsamenstelling en bodemdiepte zullen verdwijnen. Iedere dynamiek van de scheepvaart is ongewenst omdat deze kortstondige verstoringen schade toebrengen aan de vegetatie. Het meest direct getroffen worden eieren van bijvoorbeeld vissen. Deze eieren kunnen geen kortstondige verdroging verdragen.

Bij de inrichting van dit nevengeulencomplex is vooralsnog voorbijgegaan aan de habitat van de kleibanken (*Palingenia* habitat). Deze habitat is specifiek afhankelijk van de bodemsamenstelling (klei) in het winterbed. Indien deze habitat eveneens binnen het nevengeulencomplex moet worden gerealiseerd dan zal hieraan voorafgaand een uitgebreid bodemonderzoek in het (niet afgetichelde) winterbed moeten plaatsvinden.

#### **Kolonisatie van het nevengeulencomplex.**

Voor de meeste soorten die momenteel in de Rijn aanwezig zijn zal de kolonisatie van het nevengeulencomplex geen problemen opleveren gezien het enorme verspreidingspotentieel van de meeste macro-evertebraten via de drift.

Een aantal habitatindicatoren zal echter niet in staat zijn om binnen enige jaren de nevengeul op eigen kracht te koloniseren. Dit geldt voor *Byssodon maculatum* en *Palingenia longicauda* die in west Europa bijna of helemaal zijn uitgestorven. *Ephoron virgo* en *Potamanthus luteus* zijn nog wel in de Rijn aanwezig maar worden ernstig bedreigd. Vermoedelijk hebben deze soorten momenteel geen omvangrijke populaties meer in de Rijn en lijkt een kolonisatie van het nevengeulencomplex binnen enkele jaren niet realistisch.

Van *Symposiocladius lignicola* is, mede door de recente beschrijving van de soort, nog onvoldoende bekend om het verspreidingsgebied vast te stellen. Zeker is dat de soort in Nederland aanwezig is op tenminste één vindplaats in een Limburgse beek. Verder is de soort uit allerlei soorten hout verzameld in Engeland, Duitsland, Scandinavië, Roemenië en Rusland.

Voor deze habitat indicatoren zal eventueel herintroductie overwogen kunnen worden. Voor een programma daartoe zou per soort onderzocht moeten worden waar zich een grote populatie bevindt en welk stadium (ei, larve of volwassen) het meest in aanmerking komt voor een succesvolle rekolonisatie.

#### **Conclusie.**

De veranderingen in de morfologie van het bed van de Rijn en de daarmee samenhangende verandering van habitats, hebben geleid tot een sterke verandering van de

insectenfauna in de Rijn, zoals is gebleken uit palaeolimnologisch onderzoek. Daarnaast is het aanbod van particuliere organische koolstof eenzijdiger geworden. Dit heeft geleid tot een riviersysteem waar omgevingsheterogeniteit en substraat stabiliteit zijn verdwenen. Dit zijn de twee belangrijkste omgevingsfactoren.

Deze factoren dienen als aanknopingspunt te worden gebruikt voor het inrichten van een nevengeulencomplex. Dit houdt in dat bij de inrichting, een hoofdstructuur aangelegd zou moeten worden, waarin de substraat-heterogeniteit wordt bevorderd door het aanbieden van een gedifferentieerd patroon van stroomsnelheden en voedselbronnen. Aan de andere kant dient door de realisatie van de demping van de scheepvaartinvloeden de stabiliteit te worden gewaarborgd van het aanwezige substraat.

## 5. DE MORFOLOGIE VAN DE GEULEN

### 5.1 INLEIDING

De Nederlandse grote rivieren zijn allemaal genormaliseerd. Dat wil zeggen dat de stroomgeul ook bij lage afvoeren is gefixeerd, bijvoorbeeld door kribben. Indertijd is dit gedaan om geulverlegging en de daarmee optredende obstakels te vermijden teneinde het overstromingsgevaar tegen te gaan. Door de genormaliseerde geul in beginsel van constante breedte te kiezen wordt tevens een bepaalde bodemligging aan de rivier opgelegd. Hoewel deze nog door de lokale situatie wordt beïnvloed (bochten, geometrie van de uiterwaarden, etc.) kan er toch, wat de Waal betreft, over een min of meer constante diepte worden gesproken in longitudinale zin, vanzelfsprekend afhankelijk van de afvoer.

Verandering van de normaalbreedte zal in beginsel een verandering van de bodemligging van de rivier daar ter plekke ten gevolge hebben. Een verbreding zal tot een verondieping leiden en omgekeerd. Bij lage afvoeren is de rivierdiepte een uiterst belangrijke maat voor de scheepvaart. Immers de schepen worden dan afgeladen op deze diepte. Duidelijk moge zijn dat daarbij het ondiepste punt van het te bevaren traject maatgevend is.

De aanwezigheid van een nevengeul, die onder vrijwel alle omstandigheden meestroomt, betekent in feite voor de rivier een vergroting van de normaalbreedte, tenzij de hoofdgeul is aangepast.

Vandaar dat de aanleg van een nevengeul consequenties voor de scheepvaart kan hebben. Onderzoek naar de verandering van de bodemligging afhankelijk van de vormgeving van de nevengeul is dan ook noodzakelijk om ongewenste effecten van de aanleg te vermijden.

Onderzoek in dit kader is uitgevoerd en gerapporteerd in [ref.6]. Dit hoofdstuk gaat in op de hoofdlijnen ervan en moet gezien worden als een bijdrage in het opvullen van kennisleemten die op het gebied van nevengeulen bestaan vanuit een morfologische invalshoek. Als onderzoeksbenadering is eveneens de case-study "Bemmelerwaard" gekozen.

## 5.2 BESCHRIJVING NEVENGEUL BEMMELERWAARD

Voor het bepalen van het morfologisch gedrag is in eerste instantie uitgegaan van het nevengeulontwerp zoals dat is gepresenteerd in hoofdstuk 2. Hiervan zijn de belangrijkste karakteristieken de volgende:

- Splitsingspunt op km. 878.3,
- Samenvloeiingspunt op km. 880.6,
- Diepste punt nevengeul bij instroming op 5.00 m + NAP,
- Diepste punt nevengeul bij uitstroming op 4.75 m + NAP,
- Oeverhellingen van resp. 1:8 en 1:30, met de thalweg meanderend in het bed.
- Een niet-cohesieve bodem.

In bijlage 2 is een schets gegeven van de ontworpen nevengeul in de Bemmelerwaard. Uit bovenstaande karakteristieken kan worden afgeleid dat de nevengeul een diepte-breedte verhouding kent van 1:38. Bij een nadere beschouwing van de uiteindelijke schematisatie, zoals die is gebruikt voor de berekeningen (bijlage 2) blijkt de diepte-breedteverhouding ca. 1:47 te zijn. Om een goede vergelijking van resultaten mogelijk te maken is hiervan waar nodig ook gebruik gemaakt.

### 5.3 SCHEMATISERING VAN MODELGROOTHEDEN

Bij het opstellen van een morfologisch model voor een nevengeul in de Bemmelerwaard, kan vruchtbaar gebruik gemaakt worden van het voor alle Rijntakken tezamen gebouwde morfologisch model RIJNMOR.

Het modelgebied beslaat het traject Pannerdense Kop - Tiel. Als uitgangssituatie is daarbij gekozen voor de bodemligging uit 1988. De waarden voor de ruwheid en de korreldiameters zijn voor wat betreft de hoofdgeul ontleend aan RIJNMOR. Voorts is geredeneerd dat de ruwheid en de korreldiameter in de nevengeul ongeveer dezelfde waarde zullen hebben als in de hoofdgeul ter plaatse. Voor zowel hoofdgeul als nevengeul is de sedimenttransportformule van Engelund-Hansen gebruikt, evenals in RIJNMOR gecorrigeerd met een factor  $\frac{1}{2}$ .

Als afvoerrandvoorwaarde bij de Pannerdense Kop is de 70%-onderschrijdingshydrograaf van maandgemiddelde afvoeren daar ter plaatse gebruikt [ref.7]. Deze hydrograaf blijkt eenzelfde bodemontwikkeling tot gevolg te hebben als de werkelijk opgetreden afvoeren in periode 1971 - 1982.

De benedenstroomse waterstandsrandvoorwaarde is ontleend aan de betrekkinglijnen. Er is geen rekening gehouden met uiterwaardstroming; ten eerste omdat dit bij deze grootte van afvoeren een ondergeschikte rol speelt en ten tweede omdat dit aanleiding bleek te geven tot instabiliteiten in het rekenproces.

De bovenstroomse randvoorwaarde voor het sedimenttransport is berekend met behulp van RIJNMOR. Na het opleggen van de 70%-onderschrijdingshydrograaf te Lobith is gekeken hoe groot de bijbehorende sedimentinstroom op de Waal was. Deze waarden zijn vervolgens als randvoorwaarde aan het nevengeulmodel opgelegd.

Teneinde een tweedimensionaal probleem als een stelsel van hoofdgeul en nevengeul te benaderen met het ééndimensionale programmapakket RIVMOR, dienen enkele vereenvoudigingen uitgevoerd te worden. De belangrijkste daarvan is het omrekenen van het trapeziumvormig dwarsprofiel in het prototype van de nevengeul naar een rechthoekig dwarsprofiel in het model. Daarbij zijn bij een vergelijking van de nevengeul met het trapeziumvormig dwarsprofiel en die met het rechthoekig dwarsprofiel de volgende eisen worden gesteld:

- Bij gegeven waterstanden op splitsingspunt en samenvloeiingspunt moet door beide typen geul het debiet gelijk zijn.
- Bij een gegeven afvoer moet ook in beide typen geul het sedimenttransport gelijk zijn.

De vereenvoudiging leidt uiteindelijk tot waterstanden (H) en schattingen voor de breedtes (B) en dieptes (a) en bodemliggingen (z) zoals weergegeven in tabel 4.



tabel 4: omrekening van trapeziumvormig naar rechthoekig dwarsprofiel.

Berekening	Q-Waal (m <sup>3</sup> /s)	a <sub>0</sub> (m)	B <sub>0</sub> (m)	H-splitsing (m+NAP)	a <sub>1</sub> (m)	B <sub>1</sub> (m)	Z <sub>B</sub> (m+NAP)
T0	10370	11.25	--	16.25	--	--	--
T1	10370	11.25	--	16.25	--	--	--
T2	5300	8.20	--	13.20	--	--	--
T5	2205	5.04	237	10.04	3.60	157	6.44
T3	1356	3.25	153	8.25	2.32	101	5.93
T4	530	1.25	59	6.25	0.89	39	5.36

Omdat bij het omrekenen van een trapeziumvormig in een rechthoekig dwarsprofiel de waterspiegel als referentievlak wordt gebruikt, hoort bij elke Waalafvoer een andere waarde voor de breedte en de bodemligging. Om nu toch te kunnen werken met eenduidige afmetingen voor het dwarsprofiel, moet uitgegaan worden van een constante gemiddelde afvoer die morfologisch gezien hetzelfde bewerkstelligd als een in de tijd variërende waalafvoer. Dit staat bekend als de dominante afvoer die met behulp van een waterstand-onderschrijdingskromme is vast te stellen op ca. 1663 m<sup>3</sup>/s. Door middel van interpolatie in tabel 4 levert dat een bodemhoogte van de nevengeul ter plaatse van het splitsingspunt van 6.11 m + NAP en een breedte van 121 m worden bepaald. De afmetingen van de nevengeul welke als startwaarden in RIVMOR ingevoerd moeten worden zijn dan, afgerond:

bodemhoogte splitsingspunt..... 6.10 m + NAP  
 bodemhoogte samenvloeiingspunt..... 5.85 m + NAP  
 breedte nevengeul..... 120 m.

Met behulp van de RIVMOR-berekeningen zal de mate van invloed van diverse parameters op de snelheid van aanzanding en uitschuring worden afgeschat. De breedte en bodemhoogte van de nevengeul zijn twee parameters die gevarieerd zullen worden. De bodemhelling van de nevengeul blijft daarbij constant.

Een variabele die eveneens een grote rol speelt in de morfologische ontwikkeling van een stelsel van nevengeul en hoofdgeul is de verdeling van sediment op het splitsingspunt. Ongelukkigerwijs is juist hiervan erg weinig bekend, zodat het onderzoek zich met name zal toespitsen op de gevoeligheid van het proces voor deze parameter. De uitersten zijn dan dat het volledige sedimentaanbod via de hoofdgeul danwel via de nevengeul geleid wordt. Ook een verdeling van het sediment naar rato van de verdeling van de afvoer wordt onderzocht.

De lengte van beide geulen tussen splitsingspunt en samenvloeiingspunt is ook een parameter. Gebaseerd op het geulontwerp voor de WAQUA-berekeningen en

aansluitend op de RIJNMOR-schematisatie van de Waal, is van de volgende waarden uitgegaan:

lengte hoofdgeul..... 2230 m  
lengte nevengeul..... 3000 m

Gezien de topografie van de Bemmelerwaard mag niet verwacht worden dat in deze lengtes veel variatie mogelijk is. De lengtes van hoofdgeul en nevengeul zijn daarom tijdens de berekeningen constant gehouden.

Samenvattend is van drie parameters hun invloed op de morfologische processen onderzocht. Deze zijn:

- 1- De sedimentverdeling over het splitsingspunt.
- 2- De breedte van de nevengeul.
- 3- De bodemhoogte van de nevengeul, uitgaande van een constante bodemhelling.

De resultaten van de berekeningen zullen in de volgende paragraaf aan de orde komen.

## 5.4. RESULTATEN

In tabel 5 is een totaaloverzicht gegeven van de uitgevoerde berekeningen. De te variëren parameters zijn respectievelijk de sedimentinstroom, breedte en de bodemhoogte van de nevengeul op het splitsingspunt. De simulatieperiode is telkens 25 jaar; T-max is de periode dat de berekening feitelijk heeft geduurd.

Tabel 5: overzicht berekeningen.

Run ID	Sedimentinstroom		Breedte (m)	Bodemhoogte (m + NAP)	T-max (jaar)
	hoofd (%)	neven (%)			
100	als Q	als Q	120	6.10	< 5
101	100	0	120	6.10	25
102	0	100	120	6.10	< 1
103	50	50	120	6.10	< 1
104	25	75	120	6.10	< 1
105	75	25	120	6.10	< 2
110	100	0	50	6.10	25
111	100	0	75	6.10	25
112	100	0	100	6.10	25
113	100	0	150	6.10	< 24
114	100	0	175	6.10	< 21
120	100	0	120	6.50	25
121	100	0	120	6.00	25
122	100	0	120	5.50	< 18
130	100	0	50	6.50	25
131	100	0	100	6.50	25

Hieronder volgt een beschouwing over de invloed van elk van de drie parameters. Voor een gedetailleerd inzicht in de resultaten wordt verwezen naar [ref.6].

### - Sedimentverdeling

Bij de gegeven breedte en bodemligging van de nevengeul blijkt de verdeling van het sediment over het splitsingspunt een cruciale rol te spelen (bijlage 11). Alleen wanneer het volledige aanbod aan sediment via de hoofdgeul geleid wordt, treedt op korte termijn geen verzanding van de nevengeul op. Alle andere berekeningen laten zien dat zich direct benedenstreams van het splitsingspunt in de nevengeul een drempel ontwikkelt zodat bij lage afvoeren de stroming geblokkeerd wordt.

#### - Breedte

Een te brede nevengeul levert gevaar van verzanding voor de hoofdgeul op (bijlage 12). Het volledige sedimentaanbod moet via de hoofdgeul afgevoerd worden terwijl het debiet hierlangs juist afneemt bij toenemende breedte van de nevengeul. Bij een geul met een breedte van 150 m kan niet de volledige simulatieperiode van 25 jaar worden doorlopen. Hierbij dient echter bedacht te worden dat ook bij kleinere breedten reeds voordien een aanzienlijke aanzanding in de hoofdgeul optreedt wat vooral uit het oogpunt van de scheepvaart onacceptabel geacht moet worden.

#### - Bodemhoogte

Ook een te lage bodemligging van de nevengeul veroorzaakt verzanding van de hoofdgeul (bijlage 13). Een hoge initiële bodemligging is echter geen afdoende oplossing, aangezien deze binnen enkele jaren door uitschuring op een aanzienlijk lager niveau ligt.

Op basis van bovenstaande bevindingen zijn nog eens twee berekeningen uitgevoerd. Hierin is uitgegaan van smalle nevengeulen met een hoge initiële bodemligging. Zoals verwacht vertonen deze berekeningen een zeer stabiel verloop.

Een andere wijze om naar de stabiliteit van een stelsel van hoofdgeul en nevengeul te beoordelen, is te kijken naar het verloop van de afvoerverdeling in de tijd. De resultaten hiervan zijn gegeven in bijlage 14. Hieruit blijkt eveneens dat hoe breder en dieper de nevengeul, hoe sneller het percentage van de afvoer door de nevengeul toeneemt en hoe sneller verzanding van de hoofdgeul plaatsvindt. Een percentage van de afvoer door de nevengeul van kleiner dan 10% lijkt een redelijke grootte voor een, morfologisch gezien, goed functionerende geul. Omdat dit minder is dan het afvoeraandeel dat in het basisontwerp door de nevengeul stroomt, zal een inlaatconstructie toegepast moeten worden wanneer wordt vastgehouden aan het basisontwerp van de nevengeul. Bij het niet toepassen van een inlaatconstructie zal het doorstroomprofiel verkleind moeten worden door een hogere bodemligging en/of steilere oeverhellingen hetgeen in strijd komt met de oorspronkelijke ontwerpeisen. Een andere mogelijkheid is het groter maken van de lengteverhouding nevengeul/hoofdgeul. Deze optie is echter voor de Bemmelerwaard nauwelijks van belang.

Door onderhoudsbaggerwerk is het proces van aanzanding en uitschuring te beïnvloeden.

## 5.5. CONCLUSIES

1. Er vanuit gaande dat het leeuwendeel van het sedimenttransport door de hoofdgeul blijft gaan, zal het schetsontwerp van de nevengeul zoals dat in hoofdstuk 2 is gegeven, morfologisch gezien grote problemen opleveren (run ID 101). Door uitschuring van de nevengeul zal het afvoerpercentage steeds groter worden.
2. Een versmalling van de nevengeul of een verondieping ervan ten opzichte van de ontwerpgeul levert aanzienlijk betere resultaten in het licht van de bodemontwikkeling van zowel hoofd- als nevengeul.
3. De combinatie van een smallere en ondiepere geul, zoals gesimuleerd in berekening ID 130 en ID 131, bieden goede perspectieven voor de realisatie van een nevengeul in de praktijksituatie.
4. Door een afgewogen keuze van afmetingen van een nevengeul en de zorg voor een minimaal sedimenttransport door die geul moet het mogelijk en reëel geacht worden om een voortdurend meestromende nevengeul langs de Waal aan te leggen, zodanig dat diepteligging van de hoofdgeul slechts minimaal wordt beïnvloed en de nevengeul gedurende een relatief lange tijd voor verlanden blijft bespaard.

## 6. DE STABILITEIT VAN EEN NEVENGEUL

### 6.1. INLEIDING

Bij de realisatie van een nevengeul speelt de stabiliteit een belangrijke rol. Immers zij bepaald of de nevengeul ook een nevengeul blijft: aanzanding of eenzijdige afsluiting van de hoofdgeul doet het ware karakter van de nevengeul teniet. Daarnaast kan het nodig zijn in te grijpen in de ontwikkeling van het tracé of het dwarsprofiel van de nevengeul, bijvoorbeeld doordat de ligging of de grootte van het dwarsprofiel zich zodanig wijzigt dat er rivierkundige bezwaren ontstaan die een ingreep nodig maken. Het is dan denkbaar dat door zo'n wijziging het ecologisch functioneren afneemt of het ecologisch belang wordt geschaad.

Concluderend: een sterk instabiele nevengeul kan het uiteindelijke doel ervan teniet doen en/of tot ernstige financiële consequenties leiden. Om deze reden is het noodzakelijk voordat ergens een nevengeul wordt gerealiseerd zich een beeld van de te verwachten stabiliteit ervan te vormen.

De vraag doet zich dan voor waar naar gekeken moet worden en wat er tevoren voorspeld kan worden, gezien de mate van details die gewenst en de marges die beschikbaar zijn.

Door het R.I.Z.A. is aan het Waterloopkundig Laboratorium een opdracht verleend om een studie te verrichten naar het stabiliteitsgedrag van nevengeulen, hoofdzakelijk gebaseerd op literatuuronderzoek en gericht op mogelijke nevengeulen langs de grote Nederlandse rivieren.

Daarin is aandacht besteed aan de volgende onderwerpen:

- het tracé van de geul en het gedrag daarvan in de tijd;
- het type geul (meanderend of vlechtend);
- de stabiliteit van het dwarsprofiel;
- de stabiliteit van de oevers;
- de stabiliteit van de in- en uitlaat van de geul.

In [ref.3] is hierover gerapporteerd. De grote lijnen van het rapport zullen in de volgende paragrafen aan de orde worden gesteld.

## 6.2. LANGS- EN DWARSPROFIEL

De morfologische processen -en daarmee de stabiliteit- van een rivier kunnen worden beschreven door 9 variabelen. Naast de variabelen plaats en tijd, zijn dit: de ruwheid, de waterafvoer, het sedimenttransport, de korreldiameter van het bodemmateriaal, de rivierbreedte, de waterdiepte en het bodemverhang.

Voor de beschrijving van de processen zijn 4 basis-vergelijkingen beschikbaar:

- de bewegingsvergelijking voor het water;
- de continuïteitsvergelijking voor het water;
- de continuïteitsvergelijking voor het sediment;
- een sedimenttransportvergelijking.

Gezien de 9 variabelen en de vier vergelijkingen dienen er dus 5 variabelen bekend te zijn per richting, om de processen te kunnen beschrijven.

Een probleem is veelal dat er onvoldoende variabelen bekend zijn. De oorzaak schuilt in het feit dat ze vaak moeilijk zijn te meten, ondermeer doordat een aantal variabelen sterk afvoer- en/of voorgeschiedenis-afhankelijk zijn.

Om met behulp van de vergelijkingen met de enkele beschikbare, doch veelal geschatte variabelen voorspellingen te doen, ten aanzien van het toekomstige langs- en dwarsprofiel van een geul in evenwicht is een complexe en theoretische zaak.

Om toch tot dergelijke voorspellingen te komen zijn op grond van empirie de zogenaamde "regiemvergelijkingen" opgesteld. Deze geven het verband weer tussen het dwars- en langsprofiel van een geul, onderworpen aan een bepaald afvoerregime, in relatie tot die afvoer. Hoewel deze regiemvergelijkingen oorspronkelijk voor irrigatiekanalen zijn ontworpen zijn ze later gemodificeerd voor rivieren -dus met wisselende afvoeren- door extra variabelen in te voeren.

Naast de invloed van de afvoer zullen ook het bodem- en oevermateriaal, het sedimenttransport, de oevervegetatie en het verhang van invloed zijn.

Door deze variabiliteit zijn er nu verschillende regiemvergelijkingen voor zowel zand- als grindrivieren in gebruik, die alle wat verschillende uitkomsten geven.

Een nadere beschouwing van een aantal van deze regiemvergelijkingen leidt tot de conclusie dat:

- regiemvergelijkingen sterk gebiedsafhankelijk zijn;
- de oevervegetatie van grote invloed is voor de vergelijkingen van de grindrivieren;
- de exponenten in de vergelijkingen redelijk overeenkomen;
- de coëfficiënten in de vergelijkingen kunnen aanzienlijke verschillen vertonen;

Dit betekent dat de toe te passen regiemvergelijkingen geijkt dienen te worden met behulp van een geul uit een vergelijkbaar gebied. Daarna dienen een aantal parameters gecontroleerd te worden op hun grootte die een reële waarde moet hebben.

### Analytische methoden

Naast de sterk empirische regiemvergelijkingen is het probleem van een stabiel dwarsprofiel ook met andere methoden benaderd. Daarbij ligt de nadruk meer op de

fysica, dan op de empirie.

Er zijn door verschillende onderzoekers vergelijkingen afgeleid voor veelal het dwarsprofiel in relatie tot een groot aantal verschillende parameters.

Echter ook van deze sets van vergelijkingen moet gezegd worden, dat deze, evenals de regiemvergelijkingen, geen eenduidige methode opleveren voor de bepaling van het dwarsprofiel in een stabiele geul. Ook hier speelt de oevervegetatie een belangrijke invloed, die nog nader onderzoek vereist.



### 6.3. RIVIERTYPEN

In de natuur kunnen de volgende riviertypen worden onderscheiden:

- rechte rivieren
- sinusvormige rivieren
- meanderende rivieren
- vlechtende rivieren
- 'anastomosing' rivieren (rivier met stabiele eilanden).

Welk riviertype zal optreden in een bepaalde situatie is afhankelijk van ondermeer breedte/diepte-verhouding, de grootte en het soort sedimenttransport, het bodemverhang, de erodeerbaarheid van het bodem- en oevermateriaal en de afvoer. Door verscheidene onderzoekers zijn relaties opgesteld tussen verschillende parameters waaruit het riviertype af te leiden zou zijn. Daarbij ligt vooral de nadruk op het vlechtend dan wel meanderend karakter van een rivier.

Af te leiden is dat een meanderende geul aanzienlijk stabiel is dan een vlechtende en daarmee interessanter voor een nevengeul in Nederlandse omstandigheden. Om deze reden is verder uitgegaan van een meanderende geul. Ontwerpgrafieken hiertoe zijn beschikbaar.

Uit ecologisch oogpunt is een licht meanderende geul aantrekkelijker dan een sterk stabiele geul. Overwogen zou daarom kunnen worden om de geulkenmerken zodanig te ontwerpen dat een bepaalde mate van meandering plaats vindt.

Meandering treedt in beginsel op wanneer de erodeerbaarheid van de oevers kleiner (gemakkelijker erodeert) of gelijk is aan die van de bodem. Dit verklaart waarom cohesief oevermateriaal in een meestal zandige rivier het voorkomen van een meanderende geul bevordert. Een meanderende geul kenmerkt zich door:

- een dwarsverhang in bochten door de spiraal-stroming, en daardoor:
- een 'pointbar', zijnde een meestal zandige afzetting (bodemverhoging) in de binnenbochten;
- een 'pool', zijnde een sterke verdieping in de buitenbocht als gevolg van de erosie;
- een min of meer recht deel tussen twee bochten, waar langs de oevers sprake is van relatief grof bodemmateriaal en lage stroomsnelheden in tegenstelling tot in het centrum van de geul;
- 'cut-offs', zijnde bochtafsnijdingen als gevolg van het meanderingsproces.

Er zijn tal van relaties opgesteld voor de meanderlengte, de meanderbreedte, de kronkeligheid (verhouding van de lengte van het geultracé en bijbehorende hemelsbrede afstand), bochtstraal, de booglengte en de mate van stabiliteit waaronder de migratie van het meanderpatroon.

Deze relaties tussen de zogenaamde meanderkenmerken maken het mogelijk, het ontwerp van een nevengeul langs de grote rivieren zodanig te maken dat de gewenste mate van meandering redelijk is op te leggen. Echter ook hier levert een vergelijking tussen de formules en de veldmetingen vaak een aanzienlijke spreiding op.

#### 6.4. OEVERSTABILITEIT

De stabiliteit van een oever is afhankelijk van de krachten die op de oever werken en de weerstand van die oever tegen erosie en afschuiving. Door de grote diversiteit in samenstelling van het bodemmateriaal, waardoor de weerstand van de bodem tegen erosie over korte afstand sterk kan variëren is het nauwelijks mogelijk goede voorspellingen te doen over de mate van oevererosie. Er is veel onderzoek uitgevoerd naar de oeverstabiliteit onder uniforme omstandigheden, waardoor de erosie-mechanismen goed kunnen worden beschreven. Doch de daar opgedane kennis is slechts beperkt toepasbaar in de praktijk. Dit geldt ook voor de meer empirisch opgestelde relaties ten aanzien van oevererosie door de grote diversiteit van de bodem waarvoor de relatie is opgesteld en de diversiteit voor de te beschouwen oever.

Duidelijk is dat cohesief materiaal een grotere weerstand tegen erosie heeft dan niet-cohesief materiaal, zodat de stroomsnelheden hoger moeten zijn om in cohesief materiaal grote erosie van oevers te vinden. Grote erosie leidt tot een snelle en aanzienlijke verlegging van de geul. Dit is ongewenst in verband met de eventuele aantasting van waterkeringen en worteleinden van kribben, etc. Om een grote mate van instabiliteit van de oevers tegen te gaan, is het ook om deze reden van belang dat een nevengeul in cohesief materiaal wordt aangelegd.

Ongewenste instabiliteit van de oever kan worden beperkt door toepassing van oeverbescherming en/of geleiding van de stroming. De voorkeur gaat hierbij uit naar natuurlijke oeverbescherming met vegetatie. Op dit gebied is al veel literatuur beschikbaar, maar het rekening houden met vegetatie in berekeningen moet nog uitgebreid worden onderzocht. Voor geleiding van de stroming kan gedacht worden aan ingegraven grindbanken.

## 6.5. IN- EN UITLAAT

De in- en uitlaat zijn van groot belang bij het ontwerp van een nevengeul. De plaats van een nevengeul dient vast te liggen. Verder heeft een niet-regelbare constructie uit oogpunt van financiën en het natuurlijk karakter de voorkeur. Echter een regelbare inlaat, die de mogelijkheid heeft om de nevengeul in bepaalde gevallen ook af te sluiten kan voordelig zijn ten tijde van calamiteiten. Als daarbij de uitlaat ook nog afsluitbaar zou zijn kan ten allen tijde droogstand, als gevolg van extreem lage rivierafvoeren, worden voorkomen.

Voor een stabiele geul is, zoals al eerder is opgemerkt, een bepaald sedimenttransport vereist. Indien bij de inlaat teveel wordt aangevoerd, zal in de geul aanzanding optreden, terwijl een tekort aan sediment tot erosie zal leiden. Vooral aanzanding in een geul is niet wenselijk, tenzij het proces zich zeer langzaam voltrekt. Een nevengeul dient niet binnen 15 a 20 jaar dicht te zanden.

Met de vormgeving en de situatie van de mond van de nevengeul is het sedimenttransport te beïnvloeden.

Vastleggen van de uitlaat van de nevengeul is niet direct vereist en verdient in het kader van natuurontwikkeling dan ook niet de voorkeur. Een vaste uitlaat bij een meanderende geul kan bovendien leiden tot een instabiel gedrag van de geul waarbij de amplitudes van de meanderbochten toenemen en de bochten tegen vaste randen aan gaan liggen.

Een nevengeul zal veelal uitstromen tussen twee kribben. Het is hierbij van belang, dat de geul de worteleinden van de kribben niet aantast. De meanderbandbreedte moet dus kleiner zijn dan de afstand tussen de kribben. bovendien is het nog verstandig om een veiligheidsmarge aan te houden. Indien de mogelijkheid bestaat dat de geul toch vlak bij een krib komt te liggen is geleiding van de geul vereist. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door de aanplant van vegetatiestroken of door het storten van grind in gegraven geulen. Deze weer toegedekte grindbanken voorkomen dat de geul de krib aantast.

## 6.6. HET TRACÉ VAN DE GEUL

Bij de bepaling van het tracé van een nevengeul, dient rekening te worden gehouden dat:

- de geul voldoende stroming trekt om de gewenste stroomsnelheden te verkrijgen; daarmee wordt tevens het sedimenteren van mogelijk verontreinigd slib tegen gegaan;
- er voldoende zandig materiaal door de geul stroomt om aanzanding van de hoofdgeul tegen te gaan (zie ook hoofdstuk 4).

Wat dit laatste punt betreft moet opgemerkt worden dat een teveel aan sediment in de nevengeul kan leiden tot een snelle dichtslibbing/-zanding. In de literatuur zijn methoden beschikbaar om de snelheid van sedimentatie in nevengeulen te voorspellen. De sedimentatie begint aan het bovenstroomse zijde, juist benedenstrooms van de inlaat. De snelheid waarmee de nevengeul aanzandt is afhankelijk van de sedimentaanvoer, de hoek tussen de as van de nevengeul en de hoofdgeul ter plaatse van het splitsingspunt, de verhouding tussen lengte van de hoofdgeul en de nevengeul en het verschil in bodemhoogten tussen hoofdgeul en nevengeul ter plaatse van de inlaat.

Uit de relaties blijkt dat:

- \* een kleine concentratie van het suspensief bodemmateriaal,
- \* een groot bodemhoogte-verschil tussen de nevengeul en de hoofdgeul,
- \* een kleine diepte van de hoofdgeul,...

leidt tot een relatief geringe mate van sedimentatie in de nevengeul.

Verder is een reductie van de sedimentatie te realiseren door:

- de inlaat van de nevengeul in de buitenbocht van de hoofdgeul te situeren;
- de hoek tussen de aantakking en de hoofdgeul, aan bovenstroomse zijde van het splitsingspunt, rond de 120° te doen zijn.

Wat dit eerste punt betreft is er nog een bijkomend voordeel, dat er dan beschikt kan worden over een relatief groot verval tussen inlaat en uitmonding van de nevengeul. Zodoende bestaat de mogelijkheid om een wat bochtig tracé te kiezen zonder dat het bodemverhang voor de nevengeul te gering dreigt te worden.

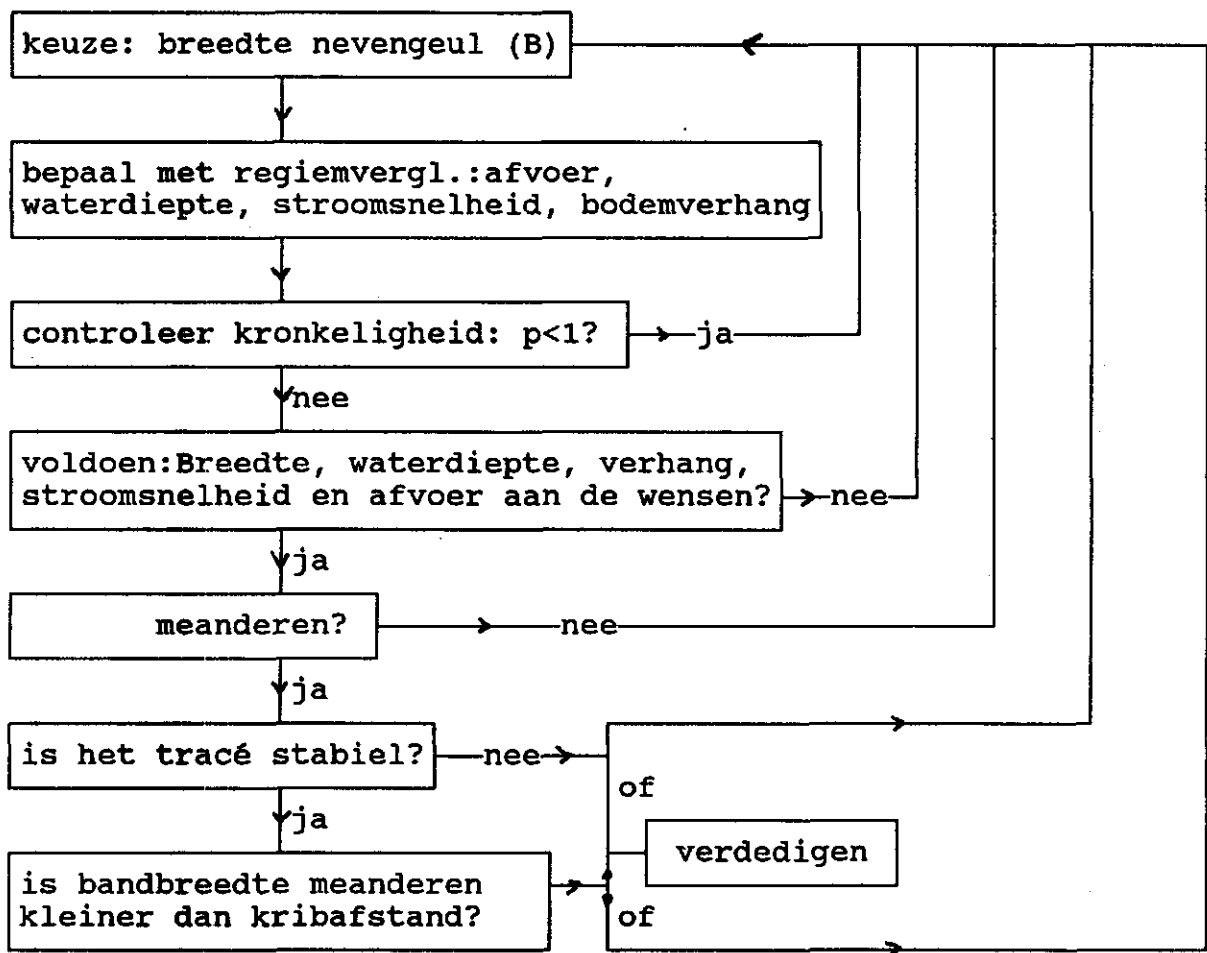
## 6.7. RIVIERKUNDIG ONTWERP GEUL-DIMENSIES

Op grond van de inzichten zoals op hoofdlijnen weergegeven in de voorgaande paragrafen kan een soort van stroomschema worden opgesteld langs welke weg een nevengeul gedimensioneerd zou kunnen worden. Bij een ontwerp dient het langsprofiel, het dwarsprofiel en het tracé vastgesteld te worden. Factoren die hierbij een rol spelen zijn de afvoer, het inkomend sediment, de bodemsamenstelling en het verhang van de uiterwaard. Daarnaast zullen eisen gesteld moeten worden aan stabiliteit van de geul.

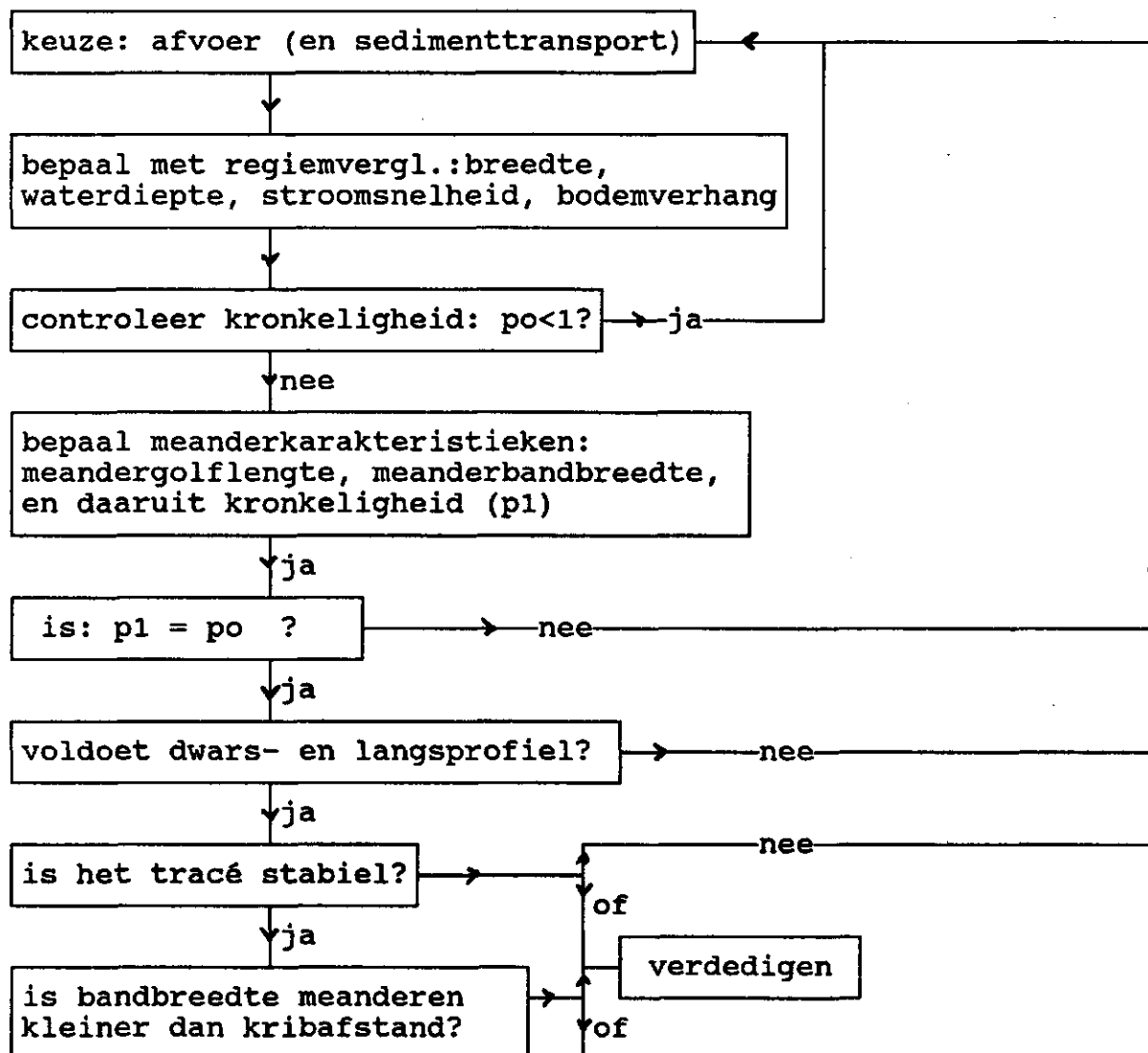
Voorop staan vanzelfsprekend de eisen/wensen die vanuit de ecologie aan het dwarsprofiel, het langsprofiel en het tracé worden gesteld.

In [ref.3] is een tweetal stroomschema's gegeven, waarbij steeds de samenstelling van het bodemmateriaal ( $D_{50}$ ) en het bodemverhang van de uiterwaard ( $i_u$ ) als bekend worden verondersteld.

### Mogelijkheid 1.



## Mogelijkheid 2.



Indien een methode tot een bevredigend resultaat heeft geleid, is het mogelijk om eenvoudig met de chezy-formule of een ruwheidsvoorspeller enkele gevonden waarden te controleren.

Indien de verschillen tussen de volgens het stroomschema gevonden grootheden en de volgens de Chezy-formule berekende grootheden erg groot zijn, moet worden nagegaan of de gebruikte empirische formules wel juist zijn of misschien nog beter geijkt moeten worden op de omstandigheden. Dit is bijvoorbeeld mogelijk met gegevens van vergelijkbare geulen.

## 6.8. CONCLUSIE

Uit de vorige paragrafen is wel gebleken dat het ontwerpen van een nevengeul omgeven is door veel en grote onzekerheden. Zelfs al is de bodemgesteldheid in de uiterwaard homogeen en het materiaal langs de oever van de geul gelijk aan dat van de bodem en het profiel rechthoekig, dan nog zijn er geen eenduidige relaties beschikbaar voor de breedte en de diepte van de geul in relatie tot een ontwerp-afvoer. Ter illustratie zijn uit de in [3] gepresenteerde regiem-vergelijkingen voor zandrivieren de volgende relaties afgeleid:

(Simons, Albertson):  $B/h = 5.3 \cdot Q^{0.14}$

(Lindley):  $B = 3.8 \cdot h^{1.61}$

(Lacey):  $B/h = 5.4 \cdot Q^{0.17}$

(Blench):  $B/h = 1.35 \cdot Q^{0.17}$

Hierin is: B = geulbreedte [ft], h = waterdiepte [ft] en Q = afvoer [cfs].

Uit deze relaties blijken de grote ontwerp margins. De vraag is welke waarde deze regiemvergelijkingen hebben bij een ontwerp van een nevengeul als er geen bestaande geul in de buurt aanwezig is, waaraan de relaties geijkt kunnen worden. Als dat het geval is zal het ontwerp voort moeten komen uit een verstandige combinatie van de Chezy-formule, een transportformule, regiemvergelijkingen en ervaring. Van belang is dan dat de morfologische ontwikkeling van een eenmaal aangelegde geul volgens bepaalde ontwerpuitgangspunten nauwlettend gevolgd. Mogelijk biedt dat uitgangspunten om een set regiemvergelijkingen af te regelen, zodat deze voor een andere gelegenheid met vergelijkbare omstandigheden toegepast kunnen worden.

## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- A). Een nevengeul dient bij voorkeur in een buitenbocht van de hoofdgeul gesitueerd te worden in verband met een beperking van de sedimentatie in de nevengeul en een optimaal gebruik van het beschikbare bodemverhang.
- B). Zowel om rivierkundige als om ecologische redenen is een nevengeul met een zeer beperkte meandering aantrekkelijk. Grote meandersnelheden leiden tot snelle ingrepen die geld kosten en verstoring c.q. verwoesting van een biotoop ten gevolge hebben.  
Om dit te bereiken wordt aanbevolen een nevengeul in sterk cohesieve grond aan te leggen.
- C). De lengte van een nevengeul zal grotendeels worden bepaald door de beschikbare ruimte in de betreffende uiterwaard. Het dwarsprofiel wordt veelal op ecologische gronden vastgelegd.  
Als voor een vrijwel steeds meestromende geul wordt gekozen, ook bij zeer lage hoofdgeul-afvoeren ligt de bodemligging (talweg) min of meer vast. Als men vervolgens de gewenste hellingen van de taluds opgeeft ligt het dwarsprofiel in grote lijnen vast.
- D). De grootte van het water- en het materiaaltransport door de nevengeul is zowel om rivierkundige als om ecologische redenen een belangrijke parameter. Enerzijds wordt het erosie- en sedimentatiegedrag van de hoofd- en nevengeul daardoor bepaald; anderzijds zijn de grootten van de stroomsnelheden van direct belang voor de ontwikkeling van flora en fauna in de nevengeul.
- E). Het moet zeer wel mogelijk geacht worden om een (permanent meestromende) nevengeul aan te leggen, zodanig dat de bodemligging van de hoofdgeul nauwelijks wordt beïnvloed en dat verlanding van de nevengeul, gedurende een relatief lange tijd wordt voorkomen. Een inlaatconstructie zal dan in veel gevallen noodzakelijk zijn.
- F). Om een nevengeul zoals onder E) genoemd te ontwerpen dienen strenge eisen te worden gesteld aan de breedte, de bodemligging t.o.v. de hoofdgeul en het materiaaltransport door de nevengeul.
- G). Omdat de gewenste grootte van de afvoer en het materiaaltransport, in het in deze nota gepresenteerde schetsontwerp, niet zal aansluiten bij het gewenste doorstroomprofiel zal een starre inlaatconstructie in dit geval noodzakelijk zijn. De vorm dient zodanig te zijn dat bij elke waterstand de transporten in grote lijnen aan de eisen voldoen.
- H). De kans dat er zich watervegetatie in de nevengeul zelf zal ontwikkelen is vrij klein, door met name de grote waterstandsverschillen die kunnen optreden. De vegetatie zal zich in het bijzonder vestigen op de oevers. Hier zullen



biotopen ontstaan die elders in Nederland nauwelijks meer zijn aan te treffen.

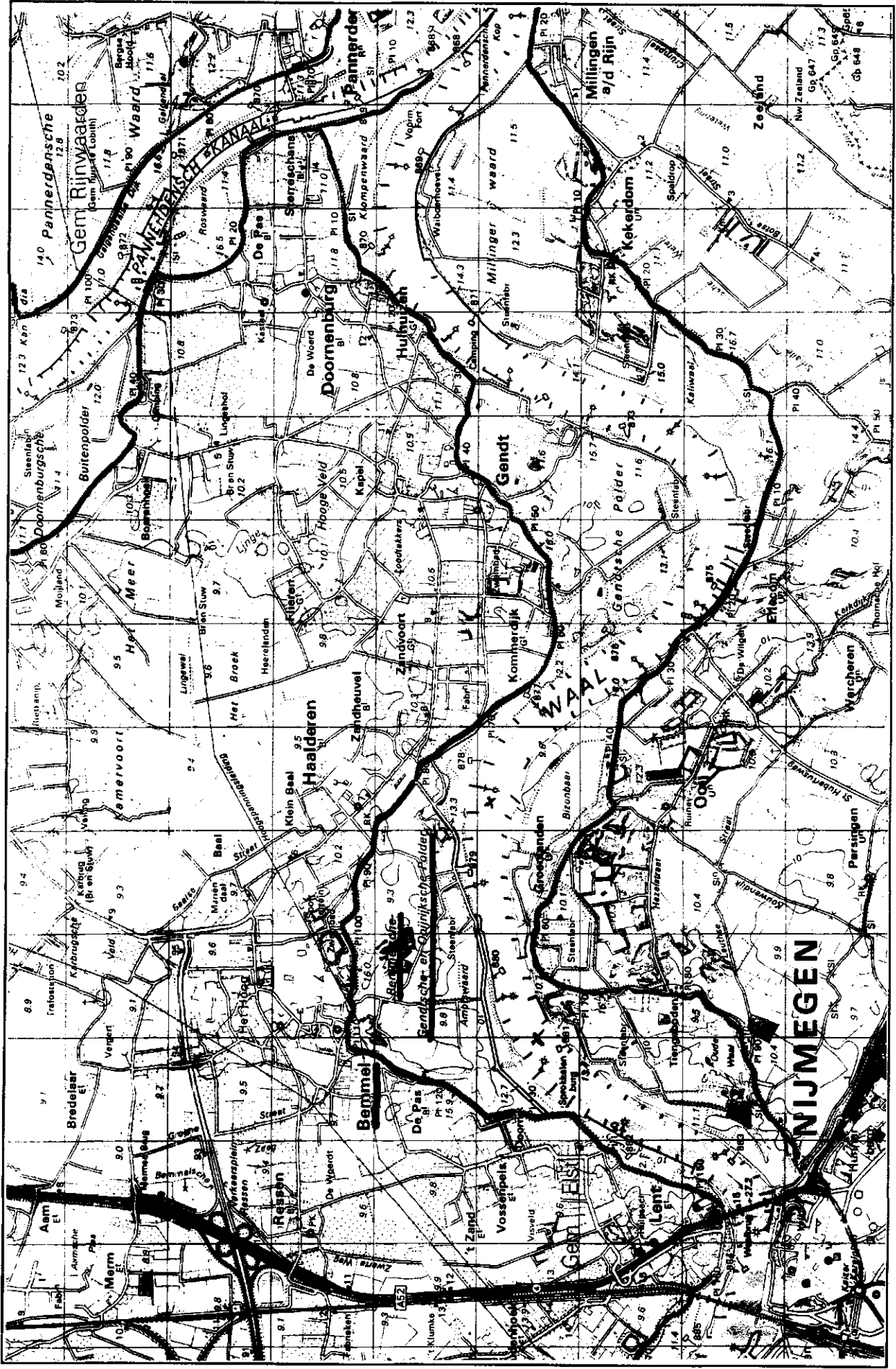
- I). De aanleg van nevengeulen langs de grote rivieren zal de terugkeer van verdwenen habitats ten gevolge hebben, waardoor ook een terugkeer van makro-evertebraten zal kunnen plaatsvinden; overigens is dit mede afhankelijk van de waterkwaliteit en de aanvoer van organismen.
- J). Ten behoeve van de ontwikkeling van bepaalde habitats dienen de invloeden van de scheepvaart zoveel mogelijk gedempt te worden, teneinde plotselinge stroomsnelheidsfluctuaties tegen te gaan.
- K). De genoemde ontwikkelingen van flora en fauna zullen leiden tot de vestiging van hogere soorten uit de voedselketen (bijv. vissen, vogels, amfibieën).
- L). De ontwerpformules voor nevengeulen zijn in grote mate behept met onzekerheden op grond van de bodemsamenstelling, de homogeniteit van de bodem, het niet-permanente karakter van de afvoer, etc. Dit pleit voor de ontwikkeling van een proefproject.
- M). Een ontwerp voor een nevengeul dient gemaakt te worden op grond van het optimaal rivierkundige inzicht, in het besef dat de praktijk wel eens wat anders uit kan pakken. Monitoring van de morfologie en ecologische parameters in relatie tot een aantal fysische parameters is dan ook na aanleg uiterst gewenst in verband met het opdoen van ervaring voor de toekomst.

## REFERENTIES:

1. Smit, H. en Van Urk, G.; "Het herstel van de ecologische waarden van de Rijn: over de zalm en ecologische doelstellingen"; H2O, 20, 1987
2. Wijbenga, J.H.A., Waterloopkundig Laboratorium; "Ecologisch Herstel van de Rijn - case studie nevengeul Bemmelerwaard, de twee-dimensionale waterbeweging"; januari 1990; Q921
3. Waterloopkundig Laboratorium; "Geulen in uiterwaarden - fase 1: literatuuronderzoek" ; juli 1990; Q1163
4. Vanhemelrijk, drs. J.A.M.; "Inrichting van stromend water in het riviereengebied - Standplaatsfactoren van water en oeverplanten"; december 1990
5. Hydrobiologisch Adviesburo Klink BV; "Relevante ecologische factoren bij het inrichten van een nevengeul in de Rijn"; december 1990
6. Rijkswaterstaat, R.I.Z.A., "Morfologische aspecten bij het ontwerpen van nevengeulen", NOTA nr. 91.022, januari 1991
7. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, "Begin- en randvoorwaarden voor RIJNMOR- en ZWENDL-berekeningen bij onderzoek naar Waalbochtverbeteringen bij Nijmegen", werkdocument nr. 90.042X, maart 1990.

**BIJLAGEN:**

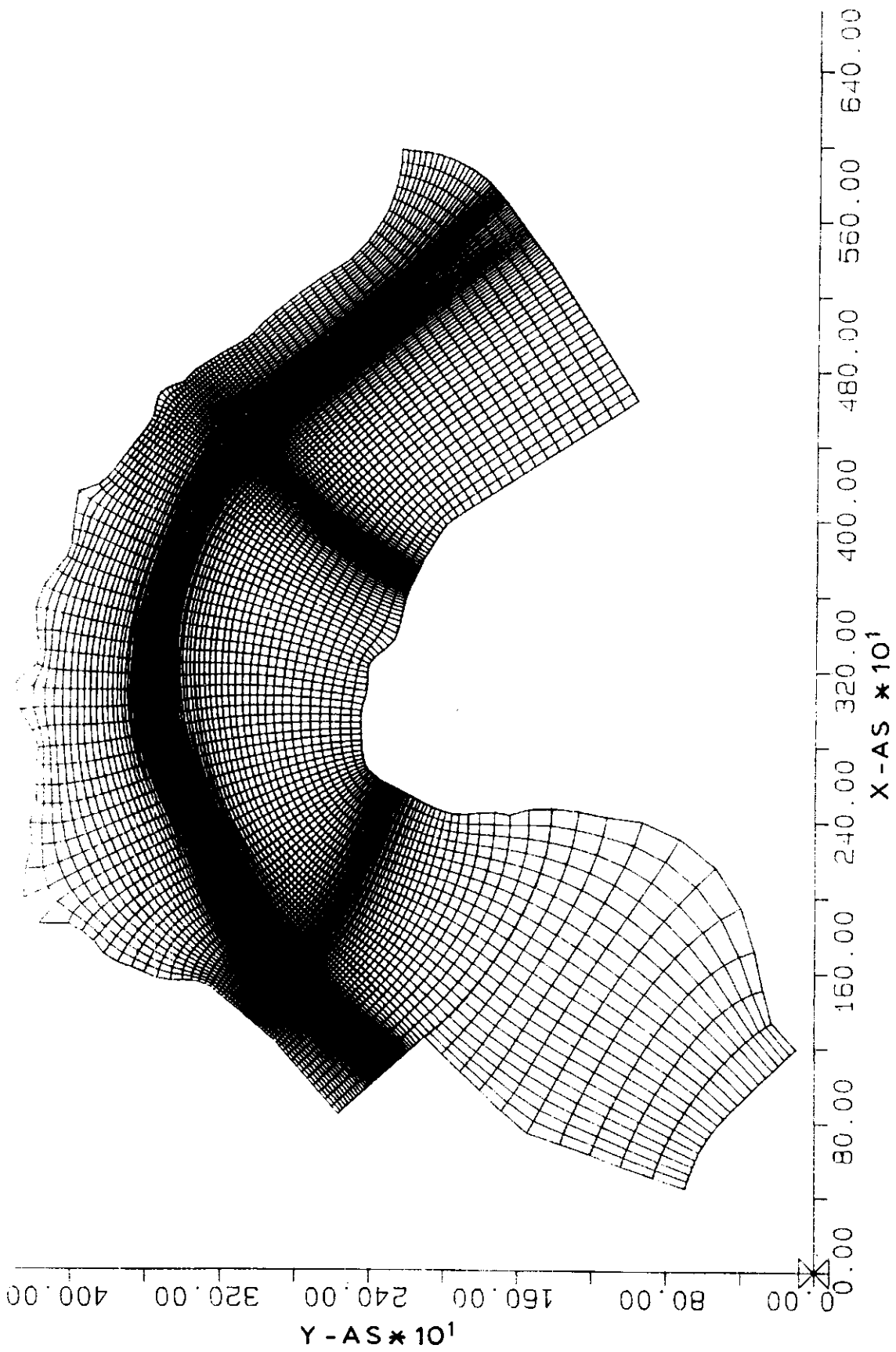
- 1 overzichtskaart Gelderse Poort
- 2 lay-out Bermelse Waard met nevengeul
- 3 rekenrooster RIVCUR
- 4 hoogteligging modelgebied - huidige en nieuwe situatie
- 5 stroomsnelheidsgrootten voor  $Q$  Waal = 10370 m<sup>3</sup>/s
- 6 idem voor  $Q$  Waal = 5300 m<sup>3</sup>/s
- 7 idem voor  $Q$  Waal = 2205 m<sup>3</sup>/s
- 8 idem voor  $Q$  Waal = 1356 m<sup>3</sup>/s
- 9 idem voor  $Q$  Waal = 530 m<sup>3</sup>/s
- 10 kanshebbende plantensoorten in en langs nevengeulen
- 11 invloed sedimentinstroom op bodemontwikkeling geulen
- 12 invloed breedte op de bodemontwikkeling geulen
- 13 invloed bodemligging nevengeul op bodemontwikkeling geulen
- 14 procentuele afvoer door nevengeul voor verschillende varianten



bijlage 1: overzichtskaart Gelderse Poort



bijlage 2: lay-out Bemmelse Waard met nevengeul

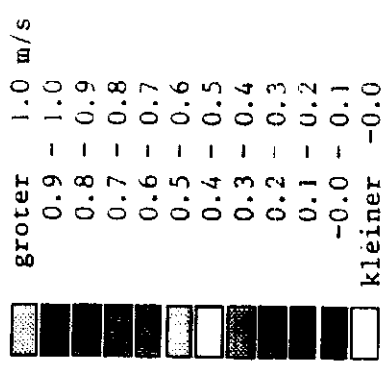


bijlage 3: rekenrooster RIVCUR



bijlage 4: hoogteligging modelgebied vòòr en na aanleg nevengeul

$$Q_w = 10370 \text{ m}^3/\text{s}$$



bijlage 5: stroomsnelheidsgrootten bij Waalafvoer van 10370 m<sup>3</sup>/s

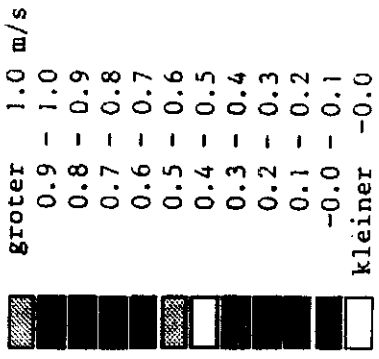


$$Q_w = 5300 \text{ m}^3/\text{s}$$



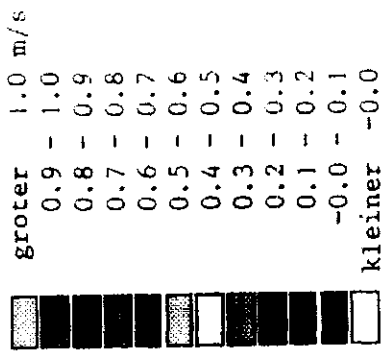
bijlage 6: stroomsnelheidsgrootten bij Waalafvoer van 5300 m<sup>3</sup>/s

$$Q_w = 2205 \text{ m}^3/\text{s}$$



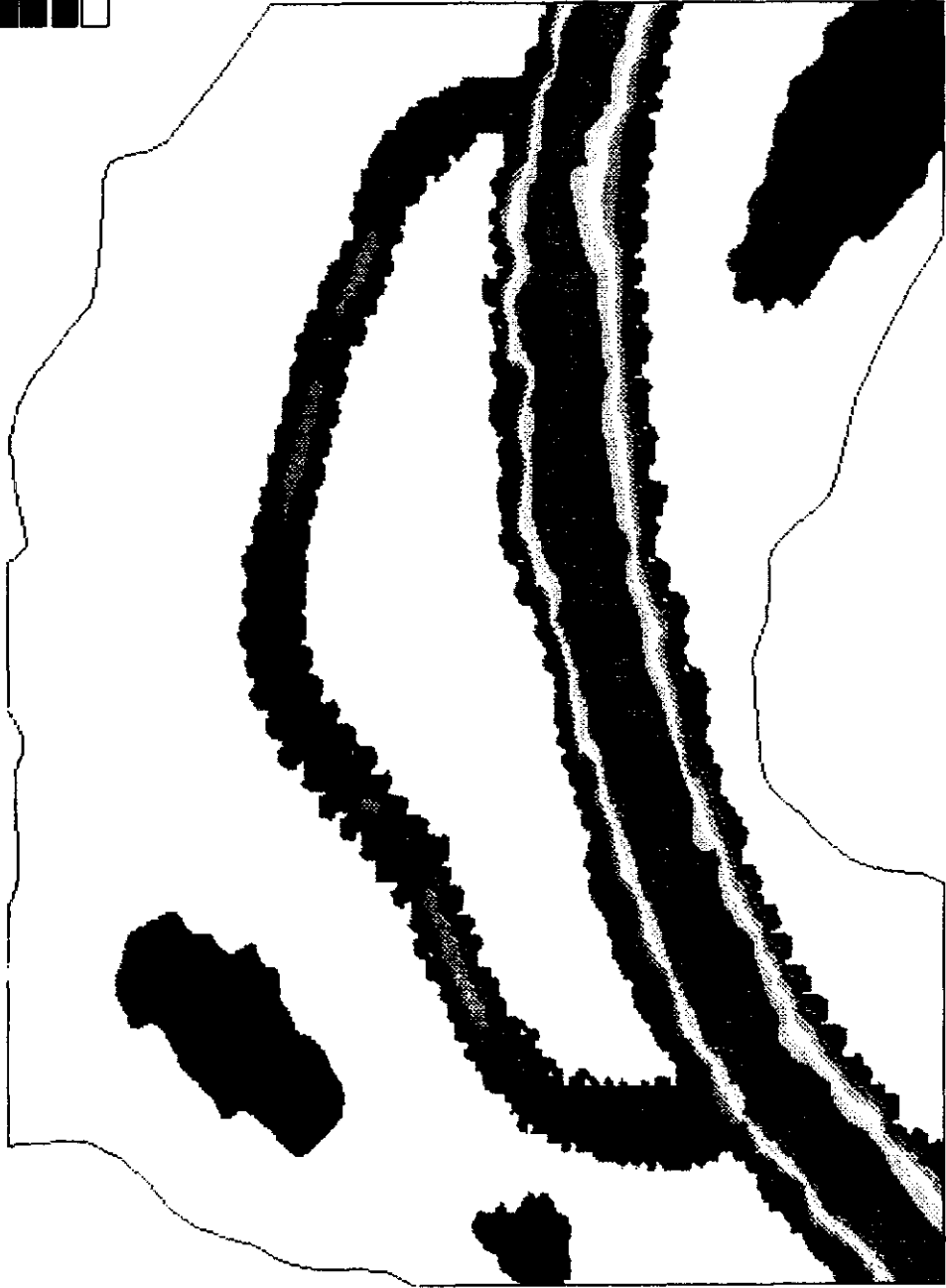
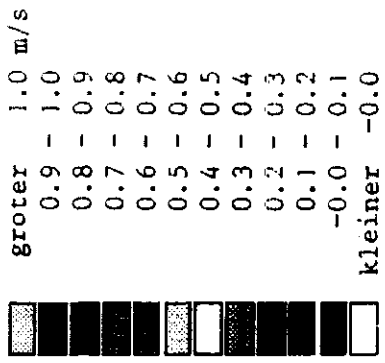
bijlage 7: stroomsnelheidsgrootten bij Waalafvoer van 2205 m<sup>3</sup>/s

$$Q_v = 1356 \text{ m}^3/\text{s}$$



bijlage 8: stroomsnelheidsgrootten bij Waalafvoer van 1356 m<sup>3</sup>/s

$$Q_w = 530 \text{ m}^3/\text{s}$$

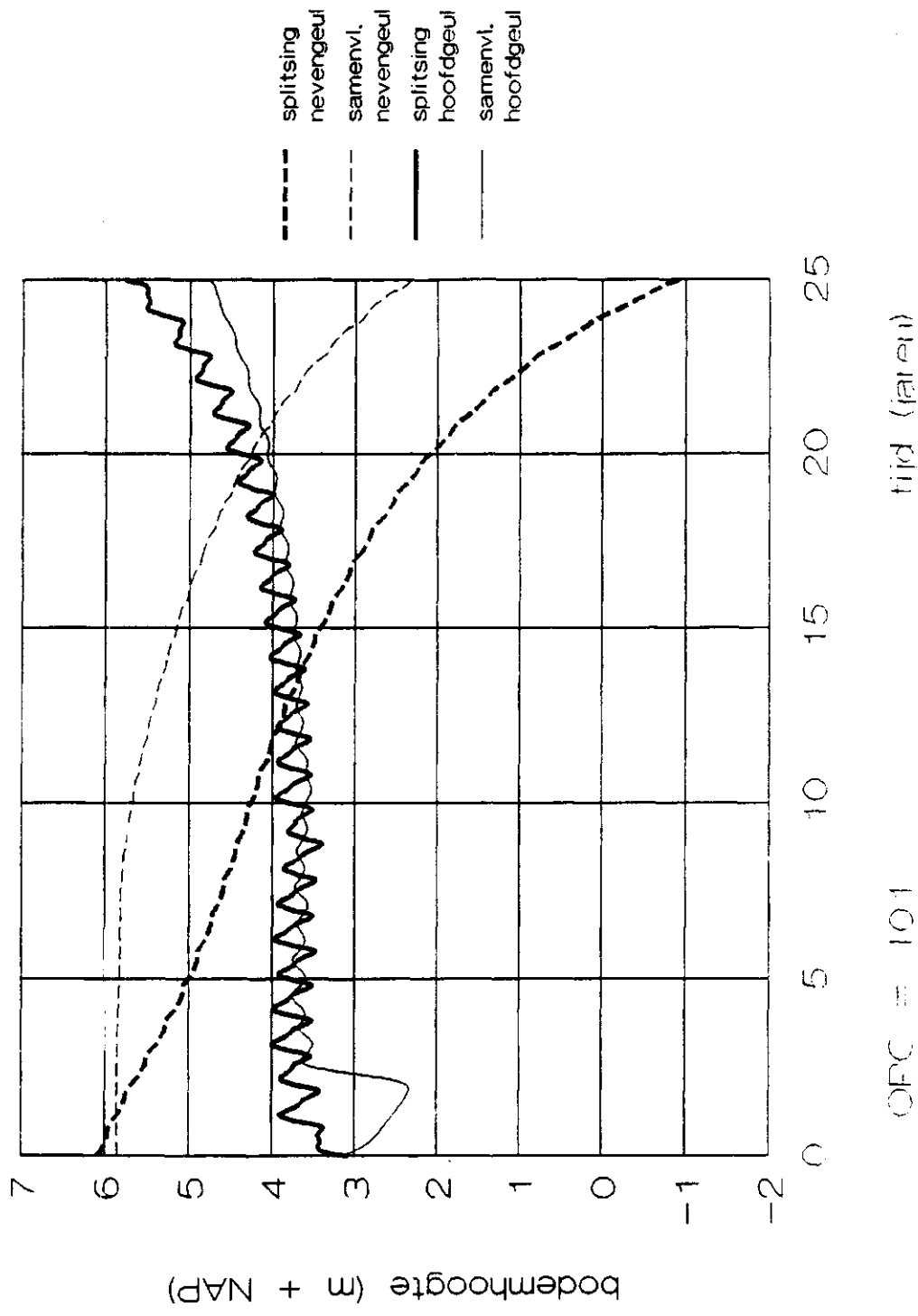


bijlage 9: stroomsnelheidsgrootten bij Waalafvoer van 530 m<sup>3</sup>/s

Soorten biotoopbenadering		Soorten autoecologische benadering
Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam
<i>Alisma lanceolatum</i>	Middelste waterweegbree	<i>Carex acuta</i>
( <i>Amaranthus blitum</i> )	Kleine majer	<i>Eleocharis palustris</i>
( <i>Amaranthus retroflexus</i> )	Papegaaiekruid	<i>Iris pseudacorus</i>
<i>Butomus umbellatus</i>	Zwanebloem	<i>Lycopus europaeus</i>
<i>Callitriche spec.</i>	Sterrekroos	<i>Lythrum salicaria</i>
<i>Carex acuta</i>	Scherpe zegge	<i>Myosotis palustris</i>
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Gedoornd hoornblad	<i>Phalaris arundinacea</i>
<i>Eleocharis acicularis</i>	Naaldwaterbies	<i>Potamogeton pectinatus</i>
<i>Eleocharis palustris</i>	Gewone waterbies	
<i>Elodea nutallii</i>	Smalle waterpest	<i>Acorus calamus</i>
<i>Equisetum palustre</i>	Lidrus	<i>Callitriche platycarpa</i>
<i>Glyceria maxima</i>	Liesgras	<i>Ceratophyllum demersum</i>
<i>Inula britannica</i>	Engelse alant	<i>Epilobium hirsutum</i>
<i>Iris pseudacorus</i>	Gele lis	<i>Galium palustris</i>
<i>Juncus bufonius</i>	Greppelrus	<i>Lysimachia vulgaris</i>
<i>Juncus compressus</i>	Platte rus	<i>Myriophyllum specatum</i>
<i>Lemna gibba</i>	Bultkroos	<i>Nuphar lutea</i>
<i>Lemna minor</i>	Klein kroos	<i>Oenanthe aquatica</i>
<i>Limosella aquatica</i>	Slijkgroen	<i>Phragmites australis</i>
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfsplot	<i>Rumex conglomeratus</i>
<i>Lysimachia nummularia</i>	Penningkruid	<i>Rumex hydrolapathum</i>
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Wederik	<i>Scirpus sylvaticus</i>
<i>Lythrum salicaria</i>	Kattestaart	<i>Scutellaria galericulata</i>
<i>Mentha aquatica</i>	Watermunt	<i>Senecio congestus</i>
<i>Mentha longifolia</i>	Herfstmunt	<i>Senecio paludosus</i>
<i>Myosotis laxa</i>	Zomp-vergeet-mij-nietje	<i>Typha angustifolia</i>
<i>Myosotis palustris</i>	Moeras-vergeet-mij-nietje	<i>Veronica beccabunga</i>
<i>Myosoton aquaticum</i>	Watermuur	<i>Zannichellia palustris</i>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Aarvederkruid	<i>Butomus umbellatus</i>
<i>Nuphar lutea</i>	Gele plomp	<i>Juncus bufonius</i>
<i>Nymphoides peltata</i>	Watergentiaan	<i>Lemna minor</i>
<i>Oenanthe aquatica</i>	Watertorkruid	<i>Mentha aquatica</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>	Rietgras	<i>Polygonum amphibium</i>
<i>Phragmites australis</i>	Riet	<i>Rorippa amphibia</i>
<i>Polygonum amphibium</i>	Veenwortel	<i>Scirpus maritimus</i>
<i>Polygonum cuspidatum</i>	Japane duizendknoop	<i>Thalictrum flavum</i>
<i>Polygonum hydropiper</i>	Waterpeper	<i>Veronica catenata</i>
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Schedefonteinkruid	<i>Elodea nutallii</i>
<i>Potamogeton pusillus</i>	Tenger fonteinkruid	<i>Glyceria maxima</i>
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Blaartrekkende boterbloem	<i>Potamogeton crispus</i>
<i>Rorippa amphibia</i>	Gele waterkers	<i>Potamogeton pusillus</i>
<i>Rorippa austriaca</i>	Oostenrijkse waterkers	<i>Sagittaria sagittifolia</i>
<i>Rorippa palustris</i>	Moeraskers	<i>Scirpus lacustris</i>
<i>Rorippa sylvestris</i>	Akkerkers	<i>Sparganium emersum</i>
<i>Rumex hydrolapathum</i>	Waterzuring	
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	Pijlkruid	
<i>Scirpus maritimus</i>	Zeebies	
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Bosbies	
<i>Scutellaria galericulata</i>	Blauw glidkruid	
<i>Senecio congestus</i>	Moerasandijvie	
<i>Senecio paludosus</i>	Moeraskruiskruid	
<i>Sparganium emersum</i>	Kleine egelskop	
<i>Spirodela polyrhiza</i>	Veelwortelige kroos	
<i>Stachys palustris</i>	Moerasandoorn	
<i>Thalictrum flavum</i>	Poelruit	
<i>Valeriana officinalis</i>	Echte valeriaan	
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	Blauwe water-ereprijs	
<i>Veronica beccabunga</i>	Beekpunge	
<i>Veronica catenata</i>	Rode waterereprijs	
<i>Veronica perigrina</i>	Vreemde ereprijs	
<i>Zannichellia palustris</i>	Zannichellia	

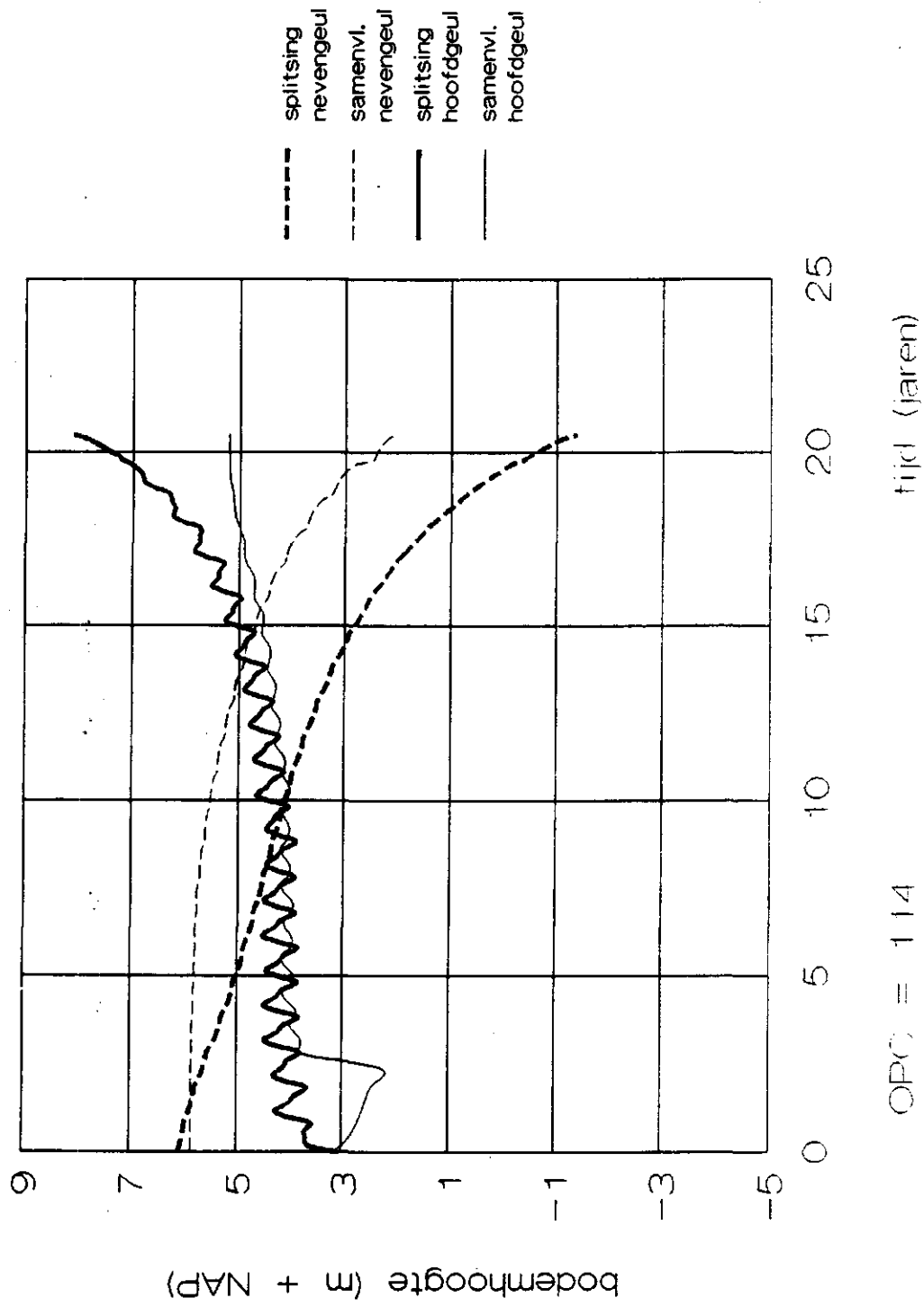
bijlage 10: kanshebbende plantensoorten in en langs nevengeulen

Bodemontwikkeling hoofdgeul en nevengeul  
 bij splitsingspunt en samenvloeiingspunt



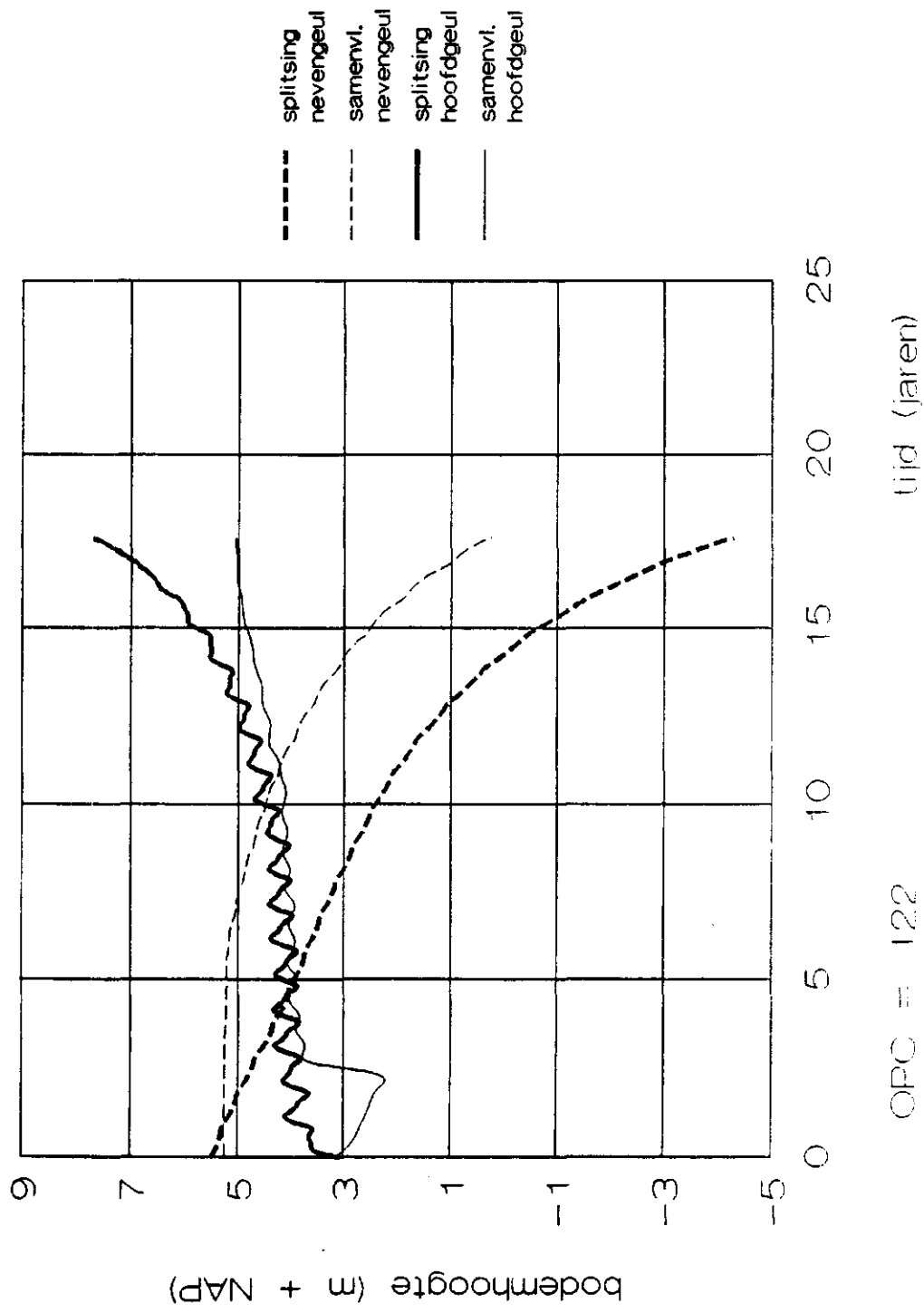
bijlage 11: invloed sediment-instroom op bodemontwikkeling geulen

Bodemontwikkeling hoofdgeul en nevengeul  
bij splitsingspunt en samenvloeiingspunt



bijlage 12: invloed breedte op de bodemontwikkeling geulen

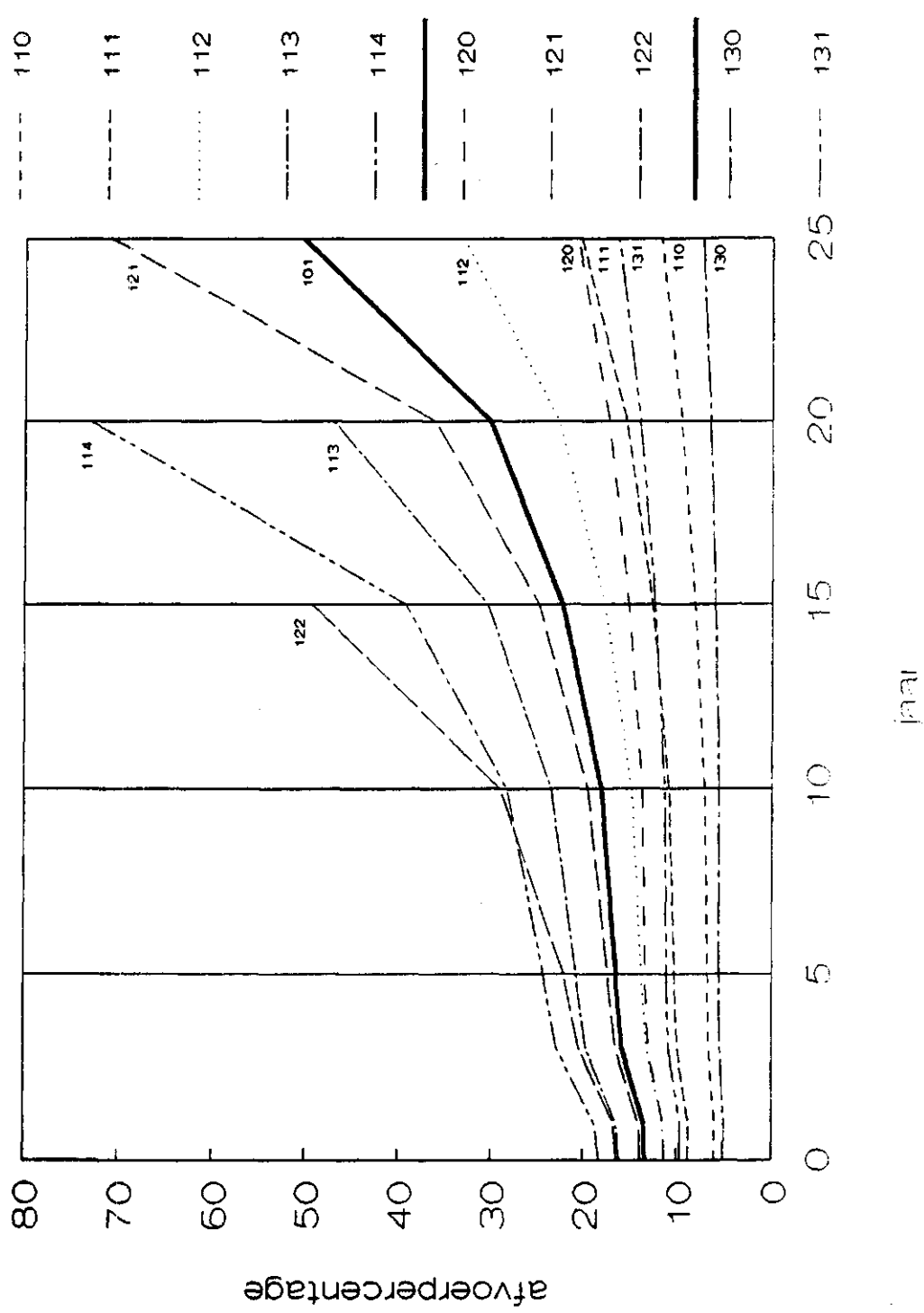
Bodemontwikkeling hoofdgeul en nevengeul  
 bij splitsingspunt en samenvloeiingspunt



bijlage 13: invloed bodemligging nevengeul op bodemontwikkeling geulen



Procentuele afvoer door de nevengeul bij  
 een Waalafvoer van 1958 m<sup>3</sup>/s



bijlage 14: procentuele afvoer door nevengeul voor verschillende varianten

PUBLICATIES EN RAPPORTEN VAN HET PROJECT "ECOLOGISCH HERSTEL RIJN"

- no. 1 - 1988 Ecological rehabilitation of the river Rhine: a proposal for a Netherlands research programme. (DBW, RIVM, RIVO).
- no. 2 - 1988 Fish and their environment in large european river ecosystems; the Dutch part of the river Rhine. W.G. Cazemier, Science de l'Eau 7, 95-114 (1988). (RIVO).
- no. 3 - 1988 High rates of denitrification in a storage reservoir fed with water of the river Rhine. W. Admiraal en J.C. van der Vlugt, Arch. Hydrobiol. 113, 593-605 (1988). (RIVM)
- no. 4 - 1988 Impact of biological activity on detritus transported in the lower river Rhine: an exercise in ecosystem analysis. W. Admiraal en B. van Zanten, Freshwater Biology 20, 215-225 (1988). (RIVM).
- no. 5 - 1988 Continue signalering van toxische stoffen in het aquatische milieu met behulp van biologische bewakingssystemen - literatuurstudie. J. Botterweg, 31 pp., Den Haag (1988). (DBW).
- no. 6 - 1988 Environmental stress in five aquatic ecosystems in the floodplain of the river Rhine. W. Admiraal, E.D. de Ruyter van Steveninck en H.A.M. de Kruijf, The Science of the Total Environment 78, 59-75 (1988). (RIVM).
- no. 7 - 1989 Bioaccumulation in yellow eel (*Anguilla anguilla*) and perch (*Perca fluviatilis*) from the Dutch branches of the Rhine-mercury, organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons. F. van der Valk, H. Pieters en R.C.C. Wegman. (RIVO).
- no. 8 - 1989 Beoordeling en evaluatie van biologische alarmeringsystemen op het meatstation Lobith. Bio-alarm project fase I. J. Botterweg. (DBW)
- no. 9 - 1989 Ecologisch herstel Rijn - beleid en onderzoek. Symposium-verslag 26 mei, E.C.L. Martelijn (red.) (DBW).
- no. 10 - 1989 Summary of results and conclusions from the first phase (1988-1989) of the Netherlands research programme "Ecological Rehabilitation Rhine". J.A.W. de Wit, W. Admiraal, C. van der Guchte and W.G. Cazemier. (DBW).
- no. 11 - 1989 Literature survey into the possibility of restocking the River Rhine and its tributaries with Atlantic salmon (*Salmo salar*). S.J. de Groot. (RIVO).
- no. 12 - 1989 Literature survey into the possibility of restocking the River Rhine and its tributaries with sea trout (*Salmo trutta trutta*). S.J. de Groot. (RIVO).
- no. 13 - 1989 Water- en oeverplanten in het zomerbed van de Nederlandse grote rivieren in 1988. Hun voorkomen en relatie met algemene fysische en chemische parameters. M.M.J. Maenen. (DBW).
- no. 14 - 1989 Ecologisch herstel van de Rijnmakrofauna. B. van Dessel. (DBW).
- no. 15 - 1989 Comparison of nitrification rates in three branches of the lower river Rhine. Biogeochemistry 8, 135-151. W. Admiraal and Y.J.H. Botermans. (RIVM).
- no. 16 - 1990 Vegetatie in de uiterwaarden: de invloed van hydrologie, beheer en substraat. M.C.C. de Graaf, H.M. van de Steeg, L.A.C.J. Voensenek en C.N.P.M. Blom. (DBW).
- no. 17 - 1990 Chemicals affecting the spawning migration of anadromous fish by causing avoidance responses or orientation disability, with special reference to concentrations in the River Rhine. T.C. van Drummelen. (DBW)
- no. 18 - 1990 Biomonitoring met de larven van Chironomiden en kokerjuffers. F. Heinis en T. Krommentuijn. (DBW)
- no. 19 - 1990 Changes in plankton communities in regulated reaches of the lower River Rhine. E.D. de Ruyter van Steveninck, W. Admiraal and B. van Zanten. (RIVM)
- no. 20 - 1990 Fixation of dissolved silicate and sedimentation of biogenic silicate in the lower River Rhine during diatom blooms. W. Admiraal, P. Breugem, D.M.L.H.A. Jacobs and E.D. de Ruyter van Steveninck. (RIVM)
- no. 21 - 1990 On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: an example from the River Rhine. I. Bongers and J. van de Haar. (RIVM)
- no. 22 - 1990 Monitoring the toxicity of organic compounds dissolved in Rhine water. D. de Zwart and A.J. Folkerts. (RIVM)
- no. 23 - 1990 The kinetics of the degradation of chloroform and benzene in anaerobic sediment from the River Rhine. P. van Beelen and F. van Keulen. (RIVM)
- no. 24 - 1990 Phases in the development of riverine plankton: examples from the rivers Rhine and Meuse. E.D. de Ruyter van Steveninck, B. van Zanten and W. Admiraal. (RIVM)
- no. 25 - 1990 Typologie en waardering van stagnante wateren langs de grote rivieren in Nederland, op grond van waterplanten, plankton en macrofauna, in relatie tot fysisch-chemische parameters. F.W.B. van den Brink. (DBW)
- no. 26 - 1990 Ecologische ontwikkelingsrichting Grote rivieren. Aanzet tot kwantitatieve uitwerking van ecologische doelstellingen voor de grote rivieren in Nederland. J.A.M. Vanhemelrijk en A.L.M. van Broekhoven. (DBW)
- no. 27 - 1991 Monitoring macroinvertebrates in the River Rhine. Results of a study made in 1988 in the Dutch part. A. bij de Vaate and M. Greijdanus-Klaas. (DBW)
- no. 28 - 1991 Voedsel-ecologie van vissen in de Nederlandse Rijnakken. P.J.M. Bergers. (DBW)
- no. 29 - 1991 Natuurontwikkeling in uiterwaarden. Perspectieven voor het vergroten van rivierdynamiek en het ontwikkelen van oobossen in de uiterwaarden van de Rijn. H. Ducl. (DBW)
- no. 30 - 1991 Phytoplankton in the river Rhine. 1989. Comparison between Lobith and Maassluis. R. Bijkerk. (RIVM)
- no. 31 - 1991 Inventarisatie van en verbeteringsplanning voor de fysieke belemeringen voor de migratie van vis op de grote Nederlandse rivieren. A.W. de Haas (DBW)
- no. 32 - 1991 Visinbrekmooglijkheden in de Rijn in Nederland. J.A.M. Vanhemelrijk (DBW)
- no. 33 - 1991 Nevengeulen - onderzoek naar de mogelijkheden, de consequenties en de te stellen eisen bij de aanleg van nevengeulen in de uiterwaarden. A.W. de Haas (DBW)
- no. 34 - 1991 The Asiatic clam, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), a new immigrant in the River Rhine. A. bij de Vaate (ed.) (DBW).
- Aanvragen/requests:  
 (DBW): Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, P.O. Box 17, 8200 AA Lelystad, The Netherlands.  
 (RIVM): National Institute for Public Health and Environmental Protection, P.O. Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands.  
 (RIVO): Netherlands Institute for Fishery Investigations, P.O. Box 68, 1970 AB IJmuiden, The Netherlands.