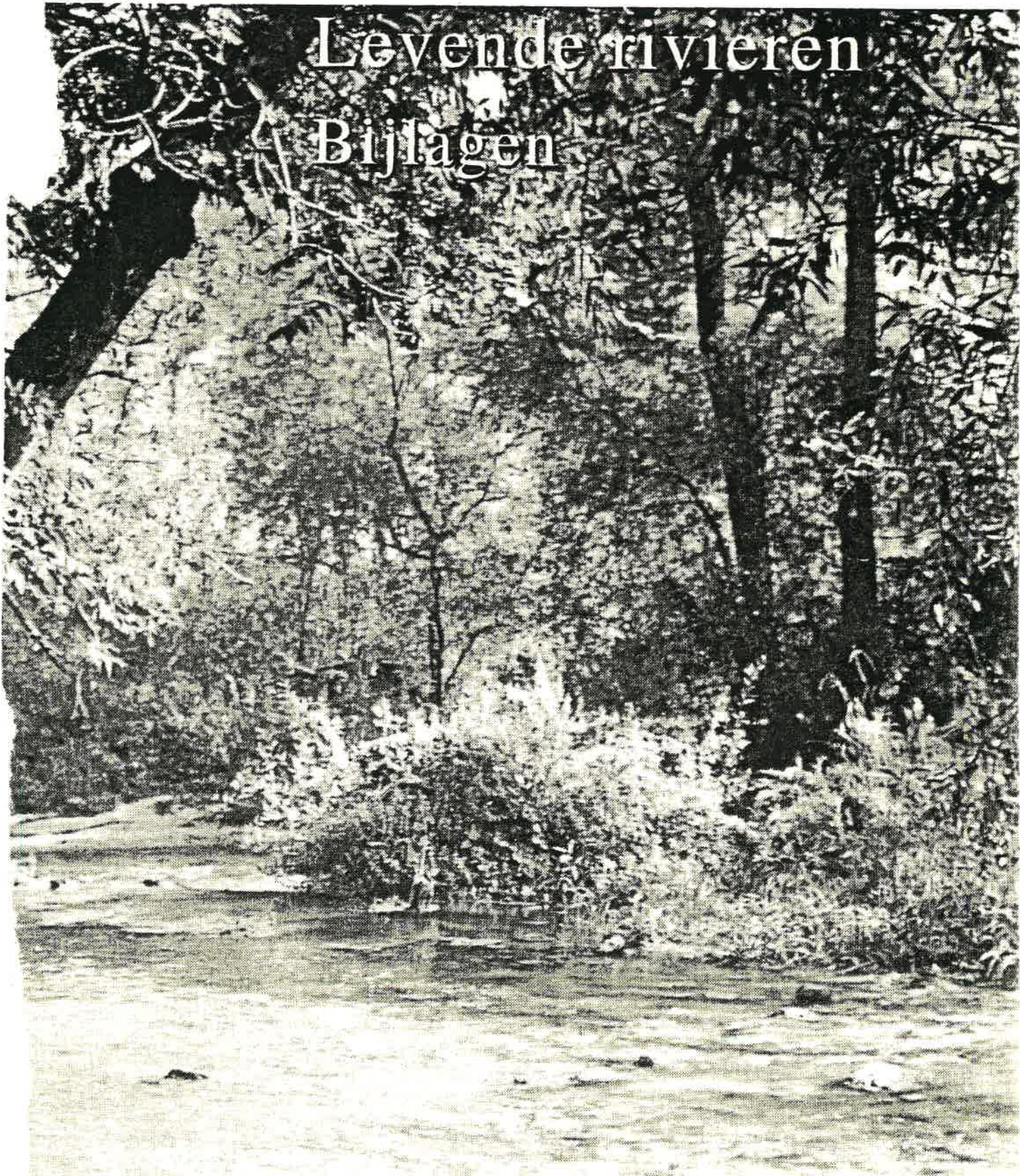




Wereld Natuur Fonds

Levende rivieren Bijlagen



Levende rivieren

BIJLAGEN

Studies in opdracht van het Wereld Natuur Fonds

**De Rijn, een broodmager ecosysteem
met meer dan genoeg voedsel**

Alexander Klink

De Waal en de Winssense Waard

Willem Overmars

**Rivierkundige aspecten van op grote schaal
meestromende nevengeulen**

Hermjan Barneveld

Nevengeulen langs de Nederlandse rivieren

Willem Overmars

7 NOVEMBER 1992

Inleiding

In het hoofdrapport *Levende Rivieren* zijn de resultaten van een aantal studies samengevat. In deze bijlagen zijn deze studies in hun geheel opgenomen.

In de studie *'De Rijn, een broodmager ecosysteem met meer dan genoeg voedsel'* vertelt Alexander Klink, dat de primaire produktie in de rivier, de bodembewonende en de zwevende algen, als voedsel onbereikbaar geworden zijn voor het ecosysteem dat in de Rijn thuishoort. Hij geeft aan, op welke manieren deze gebroken schakel hersteld kan worden.

In de studie *'De Waal en de Winssense Waard'* onderzoekt Willem Overmars de ontstaansgeschiedenis van de uiterwaarden, om daarin aanknopingspunten te vinden voor de toekomstige ontwikkelingen. Deze studie mondt uit in een principe-ontwerp met een stromende nevengeul en verlaging van de uiterwaarden, waarin de aanwijzingen uit de ecologische studie van Alexander Klink worden opgevolgd.

Dit principe-ontwerp voor de uiterwaarden, met de Winssense Waard als voorbeeld wordt in de studie *'Rivierkundige aspecten van op grote schaal meestromende nevengeulen'* van Hermjan Barneveld bekeken op de konsekwenties voor het rivierbeheer. De studie geeft aan, dat er goede mogelijkheden zijn voor de verlaging van de uiterwaarden en de aanleg van nevengeulen. Daarbij kunnen ook voordelen behaald worden voor andere aspecten van het rivierbeheer: de afvoer van water en de scheepvaart. Het is van belang dat de maatregelen niet plaatselijk, maar per riviertak en liefst zelfs voor alle rivieren samen worden uitgevoerd.

Tenslotte wordt in de studie *'Nevengeulen langs de Nederlandse rivieren'* bekeken op welke schaal er langs de verschillende rivieren mogelijkheden zijn om stromende nevengeulen aan te leggen. Daarbij wordt duidelijk, dat er in de uiterwaarden voldoende zich vernieuwende kleivorraden aanwezig zijn, om de gehele Nederlandse baksteenindustrie blijvend van grondstoffen te voorzien.

Levende rivieren

**De Rijn, een broodmager ecosysteem
met meer dan genoeg voedsel**

**Alexander Klink
Hydrobiologisch Adviesburo Klink b.v.**

7 NOVEMBER 1992

studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds

Inhoud

1	De Verstoorde levensgemeenschap	5
1.1	Voedselverliezen	5
1.2	Uitsterven	5
1.3	Ontbrekende habitats	6
1.4	Algen als basisvoedsel	6
1.5	Oplossingsrichting	6
2	Bodembewonende algen en Filteraars	7
2.1	Bodembewonende algen	7
2.2	Filteraars	7
2.3	Habitats in de huidige Rijn	7
3	De Rijn in een (pre)historisch perspectief	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Natuurlijke habitats	10
3.3	De grote verarming	12
3.4	Perspectief	13
4	Ecologische betekenis van filteraars	14
4.1	Mosselbanken	14
4.2	Kriebelmuggen	15
5	Herinrichting van de Rijntakken	17
5.1	Winterbed met nevengeulen	17
5.2	Herinrichting van het zomerbed van de Rijntakken	19
6	Onderzoek en het aanleggen van een kennisreservoir	21
7	De Rijn als refugium	22
8	Literatuur	24

Samenvatting

In dit onderdeel van het plan "Levende Rivieren" wordt ingegaan op het rivierecosysteem zoals dat in de huidige Rijn funktioneert en hoe dat in vroeger tijden is geweest.

De Rijn voert grote hoeveelheden voedsel aan, maar dit voedsel wordt momenteel nauwelijks meer omgezet in leven in en langs de rivier omdat twee essentiële schakels verdwenen zijn. Deze schakels zijn de bodembewonende algen en filterende diertjes die zwevende algen uit het water vangen.

In vroeger tijd overheersten de bodembewonende algen over de zwevende. Tegenwoordig is het omgekeerde het geval. Oorzaken hiervoor zijn het verdwijnen van vestigingsmogelijkheden van bodembewonende algen enerzijds en het ontbreken van structuren in het huidige zomerbed waarop filteraars zich hechten om de zwevende algen in te vangen. Het resultaat is dat het aangevoerde voedsel momenteel ongebruikt bezinkt in het benedenrivierengebied en de Noordzee, waar het voor de nodige problemen zorgt.

In dit gedeelte van het plan wordt voorgesteld om de twee ontbrekende schakels weer te herstellen en daarmee de voedselketen weer een evenwichtige basis te geven.

Hierbij wordt de vestiging van bodembewonende algen gestimuleerd door in het zomerbed stroomluwe ondieptes te creëren. Met behulp van snag (dood en levend hout in de rivier) in de kribvakken worden filterende makro-evertebraten in staat gesteld de zwevende algen uit de golfslagzone te verwijderen.

Om te komen tot een totaal herstel van het rivierecosysteem biedt het zomerbed echter te weinig mogelijkheden vanwege de drukke scheepvaart. Daarom zullen in de uiterwaarden nevengeulen worden aangelegd met behulp van reliëfvolgende ontkleining, waardoor de oude morfologie weer aan de oppervlakte komt. In deze nevengeulen met hun asymmetrisch profiel ontstaan weer steile en glooiende oevers in respectievelijk buiten- en binnenbocht. Langs de oevers ontstaat ooibos dat de natuurlijke aanvoer van de snag garandeert. Op deze snag zullen de uitgestorven filteraars van de stromende Rijn weer terugkeren, waarmee de zwevende algen in het stromende water weer ten goede komen aan de voedselketen. Door het asymmetrische profiel ontstaan grote ondiepe delen waarop de bodembewonende algen zich zullen vestigen. Op deze wijze worden de verbroken schakels in de voedselketen weer hersteld.

Bezien in Europees verband kan worden vastgesteld dat de Rijn steeds schoner wordt, terwijl andere rivieren helaas nog een verdere aantasting voor de boeg hebben. Alleen om die reden is het van belang grote voortvarendheid te betrachten met de uitvoering van het plan "Levende Rivieren", opdat kwetsbare levensgemeenschappen die elders nog voorkomen de gelegenheid krijgen om de Rijn te koloniseren. Van essentieel belang hierbij is dat niet alleen in Nederland de rivieren worden heringericht, maar dat dit plan op het niveau van stroomgebied wordt uitgewerkt, met als doel om van de Rijn een groot Europees refugium te maken van waaruit de kwetsbare levensgemeenschappen in de toekomst weer kunnen uitwaaiëren naar de rivieren waar ze in de nabije toekomst mogelijk zullen uitsterven.

1 De Verstoorde levensgemeenschap

1.1 Voedselverliezen

De levensgemeenschap in de Rijn ondervindt een fundamenteel probleem, waardoor het ecologische herstel ook bij een verbeterde water- en slibkwaliteit zal stagneren. Dit probleem uit zich in het feit dat het voedsel dat met het water wordt aangevoerd niet wordt benut door de levensgemeenschap.

In de huidige Rijn blijkt jaarlijks ca. 75 miljoen kg koolstof te worden geproduceerd door zwevende algen. Dit betekent een produktie van bijna 300 g koolstof /m² rivier (Admiraal en van Zanten, 1988).

Met een dergelijke primaire produktie zou een zeer gevarieerde en produktieve levensgemeenschap van voedsel kunnen worden voorzien.

De realiteit is echter dat dit voedsel niet door de levensgemeenschap in de stromende Rijn wordt benut, maar bezinkt in de Noordzee (ca. 42%) en in het benedenrivierengebied (ca. 58%). In de Noordzee leveren de algen bij afbraak een bijdrage aan de belasting van stikstof en fosfaat. In het benedenrivierengebied wordt dit voedsel, tesamen met het anorganische materiaal, om nautische redenen weggebaggerd. De oorzaak voor deze verspilling ligt in het feit dat er geen soorten meer aanwezig zijn die de meegevoerde algen uit het stromende water verwijderen.

1.2 Uitsterven

Zelfs bij een volledig herstel van het Rijnsysteem is niet te verwachten dat alle soorten op eigen kracht terugkeren, omdat ze als uitgestorven worden beschouwd. Een voorbeeld hiervan is de steenvlieg *Marthamea selysii*, die alleen voorkwam in de Benedenrijn, Moesel en Maas (Illies, 1978) en waarvan de laatste vondst in Nederland dateert van 1918 (Maas bij Maasbracht (Geyskes, 1948)). Andere voorbeelden zijn de eendagsvliegen *Prosopistoma foliaceum* en *Palingenia longicauda*, die vroeger in de West-Europese rivieren voorkwamen, maar daar zijn uitgestorven (Landa en Soldan, 1985). *Palingenia longicauda*, de grootste Europese eendagsvlieg, vormde in de Donau een belangrijke voedingsbron voor steuren en barbelen (Rubsov, 1987). Deze eendagsvlieg vervulde in de Rijn ongetwijfeld een soortgelijke rol voor de atlantische steur (*Acipenser sturio*).

1.3 Ontbrekende habitats

Dankzij een sterk verbeterde waterkwaliteit van de Rijn zijn sedert medio jaren 70 veel andere makro-evertebraten in de Rijn teruggekomen die daaruit mede vanwege de verontreiniging in de daaraan voorafgaande periode zijn verdwenen. Momenteel treedt echter stagnatie op in het herstel van de typische rivierfauna.

Voor de meeste riviersoorten die momenteel in de Rijn ontbreken is niet langer de waterkwaliteit de beperkende factor. Voor hen vormt de afwezigheid van een geschikte habitat en/of geschikt voedsel, waarschijnlijk nu al of anders in de nabije toekomst, de voornaamste beperking.

Om deze beperking op te heffen moet de aandacht worden gericht op de wijze waarop het meegevoerde voedsel ten goede kan komen aan een meer gevarieerde levensgemeenschap.

1.4 Algen als basisvoedsel

De basis van het voedselnetwerk in een rivier wordt gevormd door zwevende en bodembewonende algen. Ten opzichte van het verleden heeft een fundamentele verschuiving plaatsgevonden tussen deze beide groepen. Was in het verleden de groep bodembewoners dominant, tegenwoordig zijn de zwevende algen ver in de meerderheid (Klink, 1991).

De oorzaken van deze verschuiving zijn niet zozeer gelegen in de huidige hoge gehalten aan voedingsstoffen, maar aan de veranderingen in de morfologie van de rivier en de daarin voorkomende habitats.

Bodembewonende algen ondervinden een gebrek aan stabiele ondiepe bodems waarop ze zich kunnen vasthechten.

Zwevende algen worden niet meer uit het water gefilterd, omdat filterende makro-evertebraten geen geschikte aanhechtingsplaatsen meer kunnen vinden.

De voedselvoorziening van het gehele rivierecosysteem is dus in het ongereede, met als gevolg dat een deel van het voedsel als het ware wordt doorgedraaid (gebaggerd) in het benedenriviereengebied, terwijl de rest een belasting vormt voor de Noordzee.

1.5 Oplossingsrichting

De sleutel voor de oplossing van dit probleem moet worden gezocht in een betere benutting van het basisvoedsel in de rivier. Vanzelfsprekend dient de verbetering van de waterkwaliteit onverminderd voortgang te vinden.

Een betere benutting van het basisvoedsel kan worden bereikt door:

- propageren van bodembewonende algen
- propageren van makro-evertebraten die de zwevende algen uit het water filteren.

Via beide opties zal een proces in gang worden gezet waarbij het voedselweb een evenwichtiger basis krijgt en waarmee het herstel van het gehele ecosysteem wordt ingeluid.

2 Bodembewonende algen en Filteraars

2.1 Bodembewonende algen

Het aandeel van de bodembewonende algen kan worden vergroot door hun habitat te vergroten. Hun habitat bestaat uit een ondiepe stabiele zandbodem waar het licht tot op de bodem kan doordringen. Door het geschikte areaal voor deze algen uit te breiden wordt de retentie van de aangevoerde voedingsstoffen al vergroot. Deze bodembewonende algen hechten zich met een kleverige substantie op het zand waardoor tevens de zandbodem zelf stabiel wordt. De bodembewonende algen vormen de belangrijkste peiler van het ecosysteem in ondiepe delen van estuaria en ondiepe zeeën (McIntire en Amspoker, 1986). Dergelijke systemen worden om die reden gekenmerkt door hoge dichtheden van steltlopers, die zich te goed doen aan de makro-evertebraten die op hun beurt de bodembewonende algen afgrazen. Ook in de Rijn zijn dergelijke situaties algemeen geweest, getuige het verslag van Lauterborn (1918), die opmerkt dat de zandbodem in de stroomluwten is bedekt met een laag kiezelalgen. In die periode was de breedte van de Rijn al teruggebracht van 500 - 800 m naar ca. 300 m. De huidige kribben liggen er dan al en de eilanden zijn met de oevers verbonden (van Til, 1976).

2.2 Filteraars

De tweede poot wordt gevormd door het creëren van aanhechtingsplaatsen voor makro-evertebraten die de zwevende algen uit de stroming filteren. Om een voorstelling te maken van een ecosysteem met een dergelijke voedselbenutting spreekt een koraalrif misschien wel het meest tot de verbeelding. De basis van de voedselketen bestaat hier uit zwevende algen en ander organisch materiaal, dat wordt gefilterd. De afvalprodukten van deze filteraars vormen weer een voedingsbron voor andere levensvormen in het rif. In natuurlijke rivieren treedt een identiek proces op, alleen de dieren zijn anders en het substraat bestaat vooral uit dood en levend hout in de rivier (snag).

In de huidige Rijn zijn beide peilers goeddeels onder het ecosysteem weggefallen. Een korte beschrijving van de huidige Rijn maakt duidelijk wat hiervan de oorzaak is.

2.3 Habitats in de huidige Rijn

- Ten behoeve van de scheepvaart ligt de bodem van het zomerbed op een uniforme diepte van enige meters. Het bed ligt te diep voor bodembewonende algen omdat er geen licht tot de bodem kan door-

dringen. Op de zandige oevers kan wel licht tot op de bodem doordringen, maar hierop vindt geen vestiging plaats van bodemalgen omdat het zand na iedere scheepspassage wordt opgetild en elders wordt neergesmaakt.

- Aanhechtingsplaatsen voor makro-evertebraten om het langsstromende water te filteren zijn er na de algehele verwijdering van snag alleen op de kribkoppen, waaraan het water met een sterk wisselende snelheid voorbijstroomt (en na een scheepspassage zelfs terugstroomt). De stroomsnelheden zijn in het samengeperste zomerbed vele malen hoger dan die van nature zijn geweest.

Kortom, in de huidige Rijn zijn nauwelijks mogelijkheden om de natuurlijke processen te bestuderen van het afgrazen van bodemalgen en het filteren van het stromende water.

Bestudering van deze natuurlijke processen is echter nog wel mogelijk in meer natuurlijke riviersystemen, maar vooral door de Rijn in haar (pre)historisch perspectief te beschouwen.

3 De Rijn in een (pre)historisch perspectief

3.1 Inleiding

De processen van grazen en filteren laten zich in enkele, snel kleiner wordende, refugia in Europa nog bestuderen. Een voorbeeld van een beboste rivier met veel hout in de hoofdbedding en nevengeulen is de Donau tussen Tsjechoslowakije en Hongarije. Dit gebied heeft echter al te lijden van ernstige waterverontreiniging, waardoor het leven in de rivier zèlf goeddeels is verdwenen. Daarnaast is recent ca. 30% van het rivierbos opgeofferd aan de omstreden waterkrachtcentrale en de omleiding van de Donau door het Tsjechische lateraalkanaal. Een goed alternatief is het bestuderen van de Nederlandse Rijn in zijn (pre)historisch perspectief. Historische informatie is af te lezen van oude kaarten en andere dokumenten. Dit verschaft inzicht in de natuurlijke riviermorfologie (zie Overmars in deze band). Ten aanzien van het ecosysteem onder water biedt dit echter geen rechtstreekse informatie. Gelukkig verkeren we in de situatie dat we in het sedimentatiegebied van de Rijn wel over een geweldig uitgebreid archief beschikken dat zich onder het huidige maaiveld bevindt. Mede door de opslibbing van klei ten gevolge van het aanleggen van zomerdijken zijn onder dit pakket keurig de resten opgeslagen van makro-evertebraten, zwevende en bodembewonende algen, plantezaden en andere overblijfselen die duidelijk maken hoe de (pre)historische Nederlandse Rijn heeft gefunctioneerd en welke structuren deel uitmaakten van het rivierbed. Op grond van de sortsamenstelling van de aangetroffen resten van de makro-evertebraten kan worden vastgesteld welke habitats in de natuurlijke Rijn van belang zijn geweest voor de makro-evertebraten.

3.2 Natuurlijke habitats

In tabel 1 is een vergelijking gemaakt tussen het belang van de verschillende habitats in de Rijn anno 1745 en de huidige situatie.

Tabel 1. Procentuele verdeling van de insectenfauna over de verschillende habitats in de Rijn (Klink, 1991).

Habitat	1745	1985
Snag	67	0
Vegetatie	9	1
Zandige bodem	11	6
Slibbige bodem	14	4
Stortstenen	0	77
niet habitat gebonden	0	12
Totaal	100	100

De verschillen tussen 1745 en 1985 weerspiegelen de fundamentele veranderingen in samenstelling van de habitats in de Rijn over een periode van 240 jaar. De habitats worden hieronder puntsgewijze belicht.

SNAG

Snag (Engels voor levend en dood hout in de rivier) in het zomerbed en de daarop levende insectenfauna is volledig verdwenen en heeft plaats gemaakt voor een vervangingsfauna die momenteel is aan te treffen op de bestorte oevers en kribben. Het voorkomen van snag in een rivier verdient enige toelichting omdat dit, zeker in Europa en Noord-Amerika, een uitstervende habitat is. In een natuurlijke rivier op onze breedtegraad ontwikkelt zich loofbos op de oevers. Wanneer de rivier zich insnijdt in de buitenbochten, of zelfs geheel haar loop verlegt, komen deze bomen in het rivierbed terecht, waar ze veelal verankerd blijven met hun wortelstelsel of met de vertakkingen van hun kroon. Al in de middeleeuwen is het rivierbegeleidende bos gekapt en zijn de uiterwaarden omgevormd tot grienden, wei- en hooiland (De Bruin et al., 1987). Vanaf deze periode is de natuurlijke toevoer van snag aan de rivier van weinig belang meer. Er lag echter nog wel veel snag in het stroombed. Dit was een doorn in het oog van de groeiende scheepvaart, zodat het uit de rivier werd verwijderd. Dit resulteerde in de tweede helft van de vorige eeuw, tijdens de grote normalisatie, tot de situatie dat er in de Rijn geen snag meer aanwezig was (Van Urk en Smit, 1989). Ook in Noord-Amerika is vanaf het begin van de vorige eeuw op grootschalige wijze snag verwijderd uit de rivieren. In een aantal Amerikaanse rivieren zijn deze werkzaamheden gestaakt met de opkomst van het vervoer over het spoor (Jackson et al., 1984; Triska, 1984). In Rusland is pas in het begin van deze

eeuw het stroombed van de grote rivieren ontdaan van snag (Behning, 1932). De betekenis van snag voor de voedselvoorziening in de rivier wordt in het onderstaande nog nader uitgewerkt.

VEGETATIE

In de huidige Rijn tot Gorkum hebben waterplanten in het zomerbed geen betekenis en zijn de oevers kaal (Van Urk en Smit, 1989). Dit is het gevolg van golfslag en het ontbreken van stroomluwtes (Vermaat en van Vierssen, 1990). Deze situatie was al gesignaleerd door Lauterborn (1918). Dat dit een uitzonderlijke situatie is blijkt uit het voorkomen van waterplanten in veel andere grote rivieren. Daar staan wel waterplanten, zij het dat deze beperkt zijn tot de stroomluwten (bv. Anderson en Vinikour, 1984 (Mississippi); Behning, 1928 (Wolga); Ekzertzev, 1979 (Wolga vóór kanalisatie); Horvath, 1966 (Tisza vóór normalisatie); Mackey, 1976, 1977 (Thames); Mischa en Borlee, 1979 (Maas 1910); Russev en Naidenov, 1973 (Donau in niet gestuwde gedeelten); Sambugar, 1981 (Po); Vincent, 1983 (St. Lawrence River); Wasson e.a., 1984 (Saône)). De insecten die als larve aangewezen zijn op water- en oevervegetatie zijn eveneens sterk achteruit gegaan.

ZANDIGE BODEM

De fauna van de zandbodems is procentueel gehalveerd. Dit lijkt slechts een marginale verandering. De soortsamenvestelling van de huidige zandbodems wijkt echter fundamenteel af van die in het verleden. In de huidige rivier worden de zandbodems bewoont door insectenlarven die primair zijn aangewezen op bezonken organisch materiaal (zwevende algen). In de situatie van 1745 waren dit voor een belangrijk deel soorten die de bodembewonende algen afgraasden.

SLIBBIGE BODEM

De slibbige bodems herbergen momenteel een insectenfauna die niet sterk afwijkt van die in het verleden. Het procentuele aandeel van deze fauna is echter ook sterk teruggelopen.

STORTSTENEN

Van de totale insectenfauna leeft momenteel meer dan driekwart op de stortstenen en kribben. De oppervlakte aan stortstenen in de rivier is slechts een fractie van de oppervlakte van het zomerbed. Het feit dat driekwart van de insectenfauna op de stortstenen leeft, geeft aan hoe ongeschikt de huidige bodem is voor de levensgemeenschap in de rivier.

NIET HABITAT GEBONDEN INSEKTENLARVEN

Opvallend is verder dat in de huidige rivier een belangrijk percentage van de insektenfauna niet kritisch is ten opzichte van zijn habitat. Deze soorten zijn in oude afzettingen niet teruggevonden en enkele ervan hebben hun hoofdverspreiding in zuidelijkere delen van Europa (Klink, 1989). Het is niet uit te sluiten dat deze soorten kans hebben gezien om de Rijn in Nederland te koloniseren als gevolg van, met name de warmere watertemperatuur in de winter. Waar in de 18e eeuw ijsgang nog een vrijwel jaarlijks terugkerend verschijnsel was, wordt dit vanaf de zestiger jaren van deze eeuw een zeldzaamheid (Jansen, 1983).

3.3 De grote verarming

Van de vier belangrijkste natuurlijke habitats voor insekten (en andere rivierbewoners) is vrijwel niets meer over. We zien in de Rijn een vervangingsgemeenschap die nog slechts een schim is van de vroegere verscheidenheid. Uit een oriënterend onderzoek naar de oorspronkelijke soortenrijkdom kan worden ingeschat dat tussen de 1000 en 1500 soorten makro-evertebraten vroeger hun leefgebied hadden in het gebied tussen de winterdijken van de Rijn.

In het huidige zomerbed zijn naar schatting slechts 300 soorten aanwezig, terwijl in het winterbed wellicht een even groot aantal te vinden is. Een groot aantal van deze soorten komt alleen voor in grote rivieren. Juist de soorten van het permanent stromende water worden ernstig met uitsterven bedreigd. Voor de Rijn is het ergste achter de rug. Veel andere Europese rivieren zijn echter nog steeds op hun retour, zoals de Tsjechisch-Hongaarse Donau.

Uit palaeolimnologisch onderzoek blijkt dat maar liefst $\frac{2}{3}$ van de insektenfauna van weleer leefde op snag (zie tabel 1). Een deel van deze soorten leefde van aangroei op de snag (mossen en vastzittende algen). Een zeer groot aandeel in de insektenfauna bestond echter uit soorten die in staat zijn om de zwevende algen uit het langsstromende water te filteren en daarmee dezelfde voedingsstrategie volgen als de koralen op het rif. Alhoewel er een grote verscheidenheid aan filteraars in een rivier aanwezig is, is slechts een beperkte groep van hen in staat om deze voedingsbron te benutten. De oorzaak hiervoor is de maaswijdte van het filtermechanisme. Veel soorten filteren te grof om zwevende algen (range van grofweg 5 - 50 μ m) in te vangen. De belangrijkste soorten die hiertoe wel in staat zijn en voorkomen in de huidige Nederlandse rivieren zijn: de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) en de slijkgarnaal (*Corophium curvispinum*). Een derde groep die geheel uit de grote Nederlandse rivieren verdwenen is, zijn de kriebelmuggen (*Simuliidae*). Uit tabel 2 blijkt hoe groot hun aandeel geweest is in de totale insektenfauna in de rivier.

Tabel 2. Percentage Simuliidae in de totale insektenfauna van de Rijn (exuviae zijn lege huidjes van uitgevlogen insektenpoppen)

Lokatie	jaar	% Simuliidae	onderzoek
Nw. Merwede	5140BP	18	oude afzettingen
Schenkenschans	1745	25	oude afzettingen
Nederrijn	1880	6	oude afzettingen
Nederrijn	1983	0	exuviae

3.4 Perspektief

Uit de tabel blijkt dat in een kleine 240 jaar een wezenlijke nivellerings is opgetreden in de soortsaamenstelling en de daarbij afgenomen benutting van het voedsel. Daarnaast wordt, uit de basisgegevens die ten grondslag liggen aan deze tabel, duidelijk dat in deze 240 jaar meer veranderd is in de rivier dan de 5000 jaar daaraan voorafgaand. Dit geeft de hoop dat herstel van de Rijn op het niveau van rond de 17e eeuw, in hoge mate overeenkomstig is met de werkelijke natuurlijke situatie. Deze konstatering is van belang omdat in deze periode al veel nauwkeurige rivierkaarten zijn gemaakt, waardoor het mogelijk is de toen aanwezige morfologie als uitgangspunt te kiezen bij herinrichting van het rivierengebied.

4 Ecologische betekenis van filteraars

4.1 Mosselbanken

Wat filteraars van zwevende algen voor de produktiviteit van een rivier kunnen betekenen kan op zeer lokale schaal ook heden ten dage nog worden vastgesteld in het Nederlandse riviersysteem en wel in de mosselbanken van de driehoeksmossel op de bodem van het Hollands Diep en Haringvliet. Op de bodem met mosselbanken is de geschatte jaarproduktie van de driehoeksmossel alleen al ca. 270 g asvrij drooggewicht per m². De overige bodemfauna produceert ca. 130 g/m²jaar. Deze totale jaarproduktie van 400 g/m² overtreft zowel hoog produktieve stilstaande als stromende wateren die in de orde van 50 - 100 g/m² produceren (Benke, 1984). Slechts wanneer sprake is van een verhoogde toevoer van organisch materiaal wordt vergelijkbaar geproduceerd als in deze mosselbanken (Lazim en Learner, 1986). Op bodems zonder mosselbanken is de produktie niet veel hoger dan 20 g/m²jaar en in de meeste gevallen nog beduidend lager (Klink, in voorbereiding). Dit betekent dat op bodems met mosselbanken maar liefst ²/₃ van de totale jaarlijkse produktie van de zwevende algen wordt omgezet in produktie van de bodemfauna. In het Hollandsch Diep en Haringvliet zijn in slechts enkele gebiedsdelen mosselbanken aanwezig (Dudok van Heel et al., 1992). Ondanks dat is de driehoeksmossel in dit gebied verantwoordelijk voor 55% van de totale produktie van de bodemfauna. De driehoeksmossel zelf vormt het stapelvoedsel van duikeenden en de overige bodemfauna vormt voedsel voor vissen, die op hun beurt weer ten prooi vallen aan visetende vogels.

De oorzaak van een hoge produktie in mosselbanken is gelegen in de mate waarin het aanwezige voedsel benut kan worden. Op diepe bodems dringt geen licht door zodat geen voedsel in de vorm van bodembewonende algen of waterplanten beschikbaar is. Op deze bodems worden bij de aanwezigheid van mosselbanken de zwevende algen wel benut. Bij afwezigheid van mosselbanken worden de zwevende algen niet benut. De mosselen kunnen deze bron wel benutten, de overige bodemfauna niet. De overige bodemfauna in de mosselbanken krijgt echter hoogwaardig voedsel aangevoerd met de uitwerpselen van de mosselen (Smit et al., 1991). De bodemfauna op plaatsen zonder driehoeksmosselen moet zich tevreden stellen met het organisch materiaal dat met het overige sediment bezinkt. De analogie tussen mosselbanken en koraalriffen ligt ook hier voor de hand. Om een betere benutting van het zwevende materiaal in het bovenstrooms gelegen deel van de Rijn te bewerkstelligen bieden de drie-

hoeksmossel en de slijkgarnaal slechts beperkte mogelijkheden. Momenteel zijn ze beperkt tot de stenen op de oevers en de kribben. Ook indien de habitat snag wordt hersteld zal dit slechts in de stroomluwten geschikt zijn voor de kolonisatie van driehoeksmosselen en slijkgarnalen (resp. Smit et al., 1991; Behning, 1928).

4.2 Kriebelmuggen

De grootste inbreng om het stromende water te ontdoen van zwevende algen is te verwachten van de kriebelmuggen. Deze dieren, die 25% van de totale insectenfauna in de Rijn uitmaakten (tabel 2) leven op vast substraat, dat vroeger in de vorm van snag in het stroombed aanwezig was. De tegenwoordige kribkoppen bieden vermoedelijk geen geschikte habitat omdat deze dieren zeer gevoelig zijn voor kortstondige wisselingen in de stroomsnelheid (Bird en Hynes, 1981), die daar optreden bij iedere scheepspassage. Deze gevoeligheid voor wisselingen in stroomsnelheid kan in verband worden gebracht met de afhankelijkheid van kriebelmuggen voor zeer specifieke hydraulische omstandigheden. De larven hebben intrekbare waaiers op hun kop waarmee ze het water filteren. Buiten de kop, die op de stroming georiënteerd is, bevindt de rest van het lichaam zich in de grenslaag (boundary layer) tussen het vaste substraat en de eigenlijke stroming. In de grenslaag heerst een betrekkelijke stroomluwte, terwijl het transport van de zwevende algen plaatsvindt in de stroming. Bij toenemende stroomsnelheid wordt deze grenslaag dunner en neigen de larven steeds verder naar het vaste substraat. Wordt de stroomsnelheid te hoog dan drukken ze zich plat tegen het substraat en stopt het filteren. Bij afname van de stroomsnelheid neemt de dikte van de grenslaag toe. Deze kan zo dik worden dat de waaiers de stroming niet meer kunnen bereiken. Aangezien bij iedere verandering van de stroomsnelheid gezocht wordt naar een andere oriëntatie om optimaal te kunnen filteren, wordt er tijdens deze heroriëntatie niet gefilterd en stagneert de voedselvoorziening (Craig en Galloway, 1987). Indien deze wisselingen maar vaak genoeg optreden kan een rivier van grote populaties van deze dieren worden ontdaan (Howell et al., 1981). Stroomsnelheden waarbij deze dieren zijn aangetroffen variëren van ca. 20 - 100 cm/s (ref. in Klink, 1986). Deze grote range is hoofdzakelijk het gevolg van de grote verscheidenheid aan stromende wateren waar deze larven voorkomen (Crosskey, 1990). De weinige metingen in het laboratorium op de plaats van de waaiers indiceren stroomsnelheden in de orde van 20 - 30 cm (Craig en Galloway, 1987; Braimah, 1987). Welke stroomsnelheden worden geprefereerd door de soorten die in de Rijn thuishoren is niet achterhaald. Dit is mede een gevolg van het feit dat de specifieke soorten van grote rivieren (en niet in kleine rivieren en beken) in geheel Europa zeer schaars geworden zijn. Duidelijk is echter dat de natuurlijke stroomsnelheden in de Rijn aanzienlijk lager waren dan de huidige stroomsnelheden als gevolg van het sterk versmalde zomerbed en de vele bochtafsnijdingen

(van Urk en Smit, 1989). Deze toename van de stroomsnelheid was in de vorige eeuw van dien aard dat de scheepvaart er ernstige hinder van ondervond (de Graaff, 1977).

5 Herinrichting van de Rijntakken

5.1 Winterbed met nevengeulen

Om de hervestiging van bodembewonende algen te stimuleren en aanhechtingsplaatsen te creeëren voor kriebelmuggen die de zwevende algen uit het stromende water filteren zijn een aantal aanpassingen nodig aan het bed van de rivier. Met de scheepvaart als uitgangspunt en de aanname dat de hierdoor ontstane wisselingen in stroomsnelheid hervestiging van kriebelmuggen verhinderen, zijn er in het huidige zomerbed voor deze dieren weinig kansen. Deze kansen zijn er wel in beperkte mate voor de andere filteraars, de driehoeksmossel en de slijkgarnaal. Hiervoor kan bij de herinrichting van kribvakken een belangrijke areaaluitbreiding worden gerealiseerd. Op dit aspect wordt later teruggekomen (§ 5.2). Om voorwaarden te scheppen voor kriebelmuggen zullen gebieden in de huidige uiterwaarden op zodanige wijze heringericht moeten worden dat er nevengeulen ontstaan die een zo getrouw mogelijke benadering vormen van de natuurlijke rivier. Het uitgangspunt voor het herstel van natuurlijke habitats wordt gedikteerd door de rivierbewonende organismen die in honderden miljoenen jaren zijn geëvolueerd in samenhang met natuurlijke riviersystemen. In de huidige rivieren zien ze zich gekonfronteerd met een totaal gewijzigde situatie waarin veel soorten zich niet kunnen handhaven om de simpele reden dat hun habitat verdwenen is en de fysische omstandigheden gewijzigd zijn.

De konstruktie van dergelijke natuurlijk funktionerende riviersystemen kan vorm worden gegeven in nevengeulen. Dit zijn, net zoals in een natuurlijke rivier, de geulen die van de hoofdstroom gescheiden zijn door eilanden of middelzanden die vroeger zeer talrijk waren in de Rijn. De vroegere nevengeulen konden droogvallen bij laag water. Bij een aantal van de te konstrueren nevengeulen is dit uitdrukkelijk niet de bedoeling, omdat de levensgemeenschap van de hoofdgeul (die altijd water voert!) hier in al haar facetten tot ontwikkeling moet komen. In deze nevengeulen dient de golfslag van de scheepvaart tot het absolute minimum te worden beperkt. Dit om de reden dat fluktuaties in stroomsnelheid niet alleen een remmend effect hebben op de hervestiging van kriebelmuggen, maar ook omdat ze een aanslag doen op de oevers en daarmee de vestiging van bodembewonende algen kunnen verhinderen. In een dergelijke nevengeulenkomplex dienen de morfologische randvoorwaarden van een natuurlijk riviersysteem tot ontwikkeling te komen. Deze randvoorwaarden laten zich als volgt samenvatten:

- Natuurlijke stromingspatronen. Het stromingspatroon in een natuurlijke rivier is gevarieerder door het van nature voorkomende asymmetrische profiel. Daarnaast zorgt de aanwezigheid van snag voor een verdere variatie.
- Natuurlijke diepten. Door het driehoekige asymmetrische profiel zijn bij verschillende waterstanden grote ondiepe delen in de geulen aanwezig. Deze zandige ondiepten zijn van essentieel belang voor de bodembewonende algen.
- Natuurlijke afvoerfluctuaties die slechts afhankelijk zijn van het klimaat en niet het momentane karakter hebben zoals dat zich voordoet in een gestuwde rivier.
- Natuurlijke variatie in oevers met een binnenbocht (zwak talud) en buitenbocht (stijlwand)
- Eilanden
- Ondieptes en droogvallende zandplaten in de nevengeulen
- Kleibanken en steile buitenbochten, bestaande uit gekonsolideerde klei
- Ooibos als natuurlijke leverancier van snag

Met het aanbrengen van een profiel dat overgedimensioneerd is naar de huidige maten van de Rijn gerekend, zullen zandbanken, ondieptes en eilanden en de verschillende oevervormen waarschijnlijk vanzelf ontstaan. Om te komen tot de juiste dimensionering vormen oude rivierkaarten een uitstekend uitgangspunt. Door de snag uit het ooibos ontstaat een afwisselend kleinschalig stromingspatroon, waarop de kriebelmuggen zich kunnen vestigen in de sneller doorstroomde delen. Deze snag vormt tevens een ideale broed- en kraamkamer voor riviervis, zoals de steur (Behning, 1928). Door de hoge ruwheidscoëfficiënt van snag wordt tevens het grovere organische materiaal zoals bladeren en andere plantaardige produkten uit het ooibos veel beter in het systeem vastgehouden (Conchou en Pautou, 1987; Wallace en Benke, 1984). Dit materiaal vormt in de stroomluwten het voedsel voor een grote verscheidenheid aan soorten die hiervan afhankelijk zijn. Dit grove organische materiaal is schaars in de huidige rivieren. In de eerste plaats stagneert de natuurlijke aanvoer door het gebrek aan rivierbegeleidende bossen en moerassen, anderzijds is de huidige Rijn een snelstromende goot, waarin de ruwheid veel te gering is om dit materiaal vast te houden. De habitat van de kleibanken is te herstellen door oude rivierlopen uit te pellen die met hun buitenbocht een kleibank hebben aangesneden. Deze oude kleibanken kunnen door bodemonderzoek worden opgespoord. Gezien het vroegere massale voorkomen van de karakteristieke bewoner van kleibanken, het oeveraas *Palingenia longicauda* (Swammerdam, 1752) moeten dergelijke kleibanken nog zeer talrijk in de ondergrond aanwezig zijn. Vooral in de Waal zijn bij laag water restanten van kleibanken zichtbaar, die als eilandjes boven de zandbodem van de kribvakken uitsteken.

Door oude beddingvormen te volgen, wordt tevens aangesloten op de karakteristieke variatie in bodemsamenstelling, die behoort bij een rivier die niet in een keurslijf is geperst. De nevengeul zelf zal hieraan verder vorm geven door in de binnenbochten zand af te zetten, dat uit een vorige buitenbocht is geërodeerd. In de buitenbochten ontstaan stijlranden als broedbiotoop voor de ijsvogel en oeverzwaluw. De eilanden zijn uitgelezen plaatsen voor sterns.

In deze geulen met een natuurlijke riviermorfologie zijn grote ondiepe delen aanwezig die grootschalige hervestiging van bodembewonende algen mogelijk maken. Deze algen kunnen zich vestigen indien het zand stabiel is (geen golfslag) en de bodemdiepte niet meer dan 80 - 100 cm bedraagt. Dit is de huidige diepte waarop nog licht kan doordringen (van Urk, 1984; Vermaat en van Viersen, 1990). Ook vanuit het oogpunt van de bodembewonende algen is het van groot belang om over een ruim profiel te beschikken omdat bij verschillende afvoeren andere delen van de geulen kunnen worden gekoloniseerd. Sommige ondiepe nevengeulen zullen maar een gedeelte van het jaar meestromen en bij droge zomers opdrogen. Andere geultjes zullen alleen bij hoog water overstroomd worden en al tijdens het late voorjaar uitdrogen. Dit zijn de uitgelezen plaatsen voor de voortplanting van amphibiën (Creemers, 1991). Door reliëfvolgende ontkleining zal in het gehele complex een variatie in bodemhoogte ontstaan die ook van nature in een rivier als de Rijn aanwezig was. Hierdoor ontstaan bij iedere afvoer andere habitats. Het resultaat is dat het gehele jaar een grote verscheidenheid van habitats continue beschikbaar is voor de levensgemeenschap. De jaarlijkse variatie in afvoer wordt dan gecompenseerd door de ruimtelijke verscheidenheid. Op de oevers komt bos tot ontwikkeling dat binnen 10 jaar de natuurlijke aanvoer van snag zal garanderen. Water- moeras- en oevervegetatie zal zich ontwikkelen en zorgt tesamen met de bladval uit het bos voor een verdere variatie van het voedsel voor de primaire konsumenten.

Met deze ingrediënten zal een ecosysteem in de nevengeulen tot ontwikkeling komen met voedselweb dat gedragen wordt door een evenwichtige basis. In een dergelijk systeem wordt het beschikbare voedsel weer benut. De mate waarin de retentie van het zwevende materiaal invloed heeft op de gehalten aan zwevende stof in de Rijn is in principe slechts afhankelijk van de hoeveelheid gebied die hiervoor kan worden ingezet. Het is een kwestie van iedere hectare is er één. Hiervoor is het tevens van groot belang om ook in het zomerbed een herinrichting uit te voeren die gericht is op het filteren van de zwevende algen enerzijds en het stimuleren van de bodembewonende algen anderzijds.

5.2 Herinrichting van het zomerbed van de Rijntakken

In het zomerbed wordt het twee-sporenbeleid vorm gegeven door het aanbrengen van snag in de kribvakken als habitat voor driehoeksmosselen en slijkgarnalen. Achter deze snaggordel ontstaat al een zekere luwte omdat de snag de golfslag afzwakt. Strategische plaatsing en verankering van snag kan eilandvorming in de kribvakken stimuleren.

Indien de golfslag voldoende kan worden gebroken zullen zich bodembewonende algen vestigen op de ondiepe oevers van de eilanden en de rivier zelf. Boven water zal ook hier bosvorming plaatsvinden. Momenteel bestaan er plannen om het zomerbed te versmallen met strekdammen. Dit om de aflaaddiepte voor de scheepvaart te verhogen en compensatie te vinden voor de waterstandsdeling ten gevolge van onttrekking van water door de nevengeulen. Overwogen kan worden om hiervoor niet de gebruikelijke, systeemvreemde, stortsteen als konstruktiemateriaal te gebruiken, maar experimenten uit te voeren met het natuurlijke konstruktiemateriaal, de dode bomen uit het ooibos, of met grof grind zoals in Duitsland in de Emmericherward reeds op kleine schaal is gebeurd.

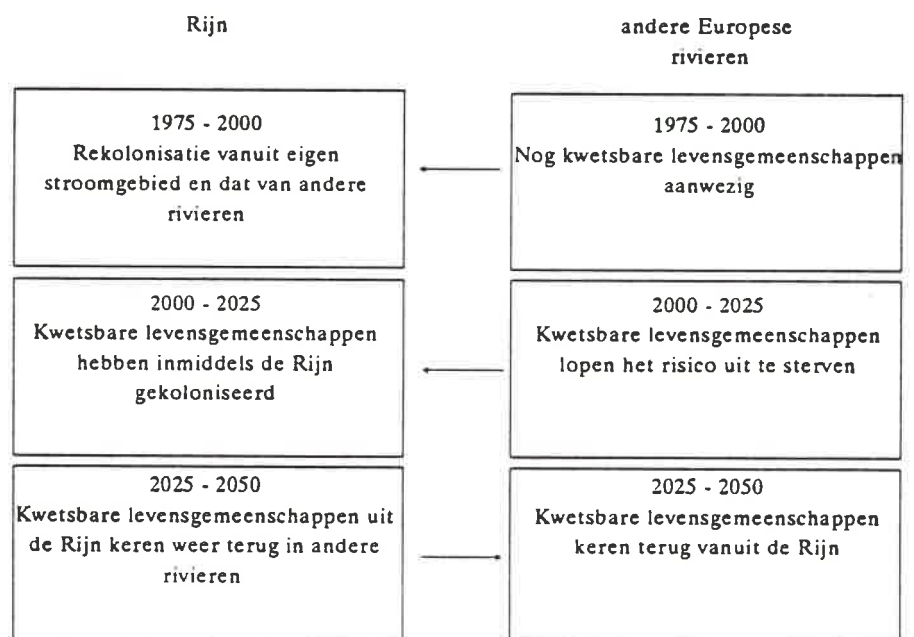
6 Onderzoek en het aanleggen van een kennisreservoir

De hier geschetste aanpak, vanuit de voedselketen geredeneerd, legt de nadruk op het filteren van zwevende algen (te vergelijken met een koraalrif) en het stimuleren van bodembewonende algen (te vergelijken met de Waddenzee). Dit zal leiden tot een meer volledige en evenwichtige benutting van het aanwezige voedsel in het riviersysteem. Essentieel hiervoor zijn het herstel van de habitat in relatie tot de natuurlijke morfologie. Indien dit op aanzienlijke schaal kan worden gerealiseerd, dan valt te verwachten dat het ecosysteem zich in een snel tempo zal herstellen. De wijze waarop dit gebeurt wordt vastgesteld met een monitoringsprogramma. Indien aan bovengenoemde randvoorwaarden is voldaan zullen veel soorten weer terugkeren omdat in de nevengeul hun habitat ontstaat. Van soorten die niet terug komen moet onderzocht worden of hun habitat nog niet in de nevengeul tot ontwikkeling is gekomen en wat hiervan de oorzaken zijn. Daarnaast zal duidelijk moeten worden of de waterkwaliteit ten tijde van de grootschalige aanleg van nevengeulen nog beperkingen oplegt en welke dit dan zijn. In beide gevallen ontstaat een groot reservoir aan kennis dat ten dienste wordt gesteld aan het verdere ecologische herstel van de Rijn. In de toekomst zullen ook andere rivieren hiervan profiteren.

7 De Rijn als refugium

Tenslotte wil ik er nog op wijzen dat het herstel van het Rijnecosysteem niet los gezien kan worden van de ontwikkelingen elders in Europa. Tot vandaag de dag schrijdt de verontreiniging, verstuwning en normalisatie voort in grote Europese rivieren. De Rijn kan zich verheugen in welvarende en milieubewuste oeverstaten, waardoor dit een rivier is die in toenemende mate schoner wordt en bij een natuurlijke ontwikkeling zoals boven vermeld, de zware verantwoordelijkheid zal dragen om als groot refugium te gaan fungeren voor soorten die elders aan het uitsterven zijn. Soorten die in de Rijn zijn uitgestorven krijgen momenteel een kans om te rekoloniseren vanuit andere rivieren door middel van de scheepvaartverbindingen Rhône-Rijn kanaal, Marne-Rijn kanaal, Rijn-Herne kanaal, Dortmund-Ems kanaal en het Mittelland kanaal. Omgekeerd kunnen deze en andere soorten in de toekomst weer de West-Europese rivieren gaan herbevolken waaruit ze, in de nabije toekomst, het risico lopen te verdwijnen. Het te volgen tijdspad is cruciaal zoals blijkt uit onderstaand schema. Indien de Rijn niet bijtijds in staat is om kwetsbare gemeenschappen uit andere rivieren te herbergen, dan bestaat de kans dat deze gemeenschappen van de aardbodem verdwijnen.

Strategisch belang van het tijdspad voor het herstel van de Rijn en andere Europese rivieren



In dit kader is het ook van groot belang om de problematiek van morfologie, habitat, voedsel en verontreiniging op het niveau van het stroomgebied te bezien. Het bovenstaande beperkt zich tot het dwarsprofiel van de Rijn. Tenminste even belangrijk is het lengteprofiel, waarin vrijwel alle zijrivieren van groot naar klein zijn verstuwd en/of genormaliseerd. Voor het voortbestaan van de totale levensgemeenschap in het stroomgebied is het van essentieel belang om de ecologische infrastructuur weer te laten lijken op de natuurlijke. Dit houdt veel meer in dan het aanleggen van vistrappen bij stuwen. Dit houdt in dat langs stuwen kilometers lange nevengeulen worden aangelegd (In Nederland de Maas en Nederrijn en de kleinere gestuwde rivieren en beken), die niet alleen dienen voor de vistrek, maar waarbij over een grote lengte het stromende karakter van de rivier wordt hersteld. Daarnaast moeten beken en zijrivieren, met of zonder kunstgrepen, weer gaan meanderen en hun natuurlijke morfologie en habitats terugkrijgen. Indien het plan "Levende Rivieren" voortvarend wordt aangepakt dan zal dit een positieve uitstraling hebben naar andere landen, waardoor het gevreesde uitsterven van kwetsbare gemeenschappen aldaar wellicht kan worden voorkomen.

8 Literatuur

- Admiraal, W., van Zanten, B., 1988
Impact of biological activity on detritus transported in the lower river Rhine: an exercise in ecosystem analysis
Freshwat. Biol. 20: 215-225
- Anderson, R.V., Vinikour, W.S., 1984
Use of mulluscs as pupation sites by *Oecetis inconspicua* Trichoptera
Leptoceridae
J. Freshwater Ecol. 2(5): 417-422
- Behning, A., 1928
Das Leben der Wolga
Die Binnengewässer 5: 162 pp.
- Behning, A., 1932
Ueber Ephemeropterenlarven des Uralflusses (suedost-Russland)
Deutsch. ent. Zeit. 3: 89-94
- Benke, A.C., van Arsdall, T.C. Jr., Gillespie, D.M., 1984
Invertebrate productivity in a subtropical blackwater river: the importance of habitat and life history
Ecol. Monogr. 54(1): 25-63
- Bird, G.A., Hynes, H.B.N., 1981
Movement of immature aquatic insects in a lotic habitat
Hydrobiologia 77(2): 103-112
- Braimah, S.A., 1987
The influence of water velocity on particle capture by the labral fans of larvae of *Simulium bivittatum* Malloch (Diptera: Simuliidae)
Can. J. Zool. 65(10): 2395-2399
- Conchou, O., Pautou, G., 1987
Modes of colonization of an heterogenous alluvial area on the edge of the Garonne River by *Phalaris arundinacea* L. In: Regulated rivers. Research and management
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons, Ltd., 1: 37-48

- Craig, D.A., Galloway, M.M., 1987
Hydrodynamics of larval black flies In: Black flies. Ecology, population management and annotated world list. Pennsylv. State Univ. Press
K.C. Kim & R.W. Merritt (eds.) Univ. Park & Lond. p. 171-185
- Creemers, R.C.M., 1991
Amphibieën in de uiterwaarden. Een voorbereidendeliteratuurstudie
Rapport 132 pp.
- Crosskey, R.W., 1990
The natural history of blackflies
John Wiley & Sons New York 711 pp
- Dudok van Heel, H.C., Smit, H., Wiersma, S.M., 1992
Macrofauna in de diepe waterbodem van het noordelijk deltabekken
RIZA nota 91.051: 112 pp. + bijl.
- Ekzertzev, V.A., 1979
Life in the shore zone of the Wolga reservoirs: The higher aquatic vegetation of the Wolga
Monogr. Biol. 33: 271-294
- Geijskes, D.C., 1940
Verzeichnis der in den Niederlanden vorkommenden Plecoptera, mit einigen geschichtlichen, ökologischen und systematischen Bemerkungen
Tijdschr. Ent. 83: 3-16
- Horvath, A., 1966
About the molluscs of Tisza before the river control
Tiscia 2: 99-102
- Howell, C.J., Begemann, G.J., Muir, R.W., Louw, P., 1981
The control of Simuliidae (Diptera: Nematocera) in South African rivers by modification of the water flow volume
Onderst. J. Vet. Res. 48(1): 47-49
- Illies, J. (ed.) 1978
Limnofauna Europaea
Stuttgart: Fischer Verlag 532 pp. + bijl.
- Jackson, G.A., Korschgen, C.E., Thiel, P.A., e.a., 1984
Problems on the Upper Mississippi River and its tributaries USA need for a long-term resource program
Butterworth Publ. ISSN 0-250-40599-7 pp: 325-344
- Jansen. H., 1983
Die Eiswinter am Niederrhein seit Ende des 18. Jahrhunderts
DGM 27/H3 p: 85-91

- Klink, A.G., 1986
Literatuuronderzoek naar enige factoren die invloed hebben op het biologisch herstel van de Grensmaas
Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Meded. 24: 26 pp. + bijl.
- Klink, A.G., 1989
The Lower Rhine: palaeoecological analysis. In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 183-201
- Klink, A.G., 1991
Ecologisch relevante factoren bij het inrichten van een nevengeulencomplex in de Rijn
Hydrobiol. Adviesburo Klink Rapp. Med. 36: 29 pp + bijl.
- Klink, A.G., in voorbereiding
Kwalitatieve en kwantitatieve analyse van de makro-evertebraten op de bodem van het Hollands Diep -Haringvliet
EHR rapport in voorbereiding
- Landa, V., Soldan, T., 1985
Distributional patterns, chorology and origin of the Czechoslovak fauna of mayflies (Ephemeroptera)
Acta ent. bohemoslov. 82: 241-268
- Lauterborn, R., 1918
Die geografische und biologische Gliederung des Rheinstroms 6: Der Niederrhein
Sitz.-ber. Heidelb. Akad. Wiss. Abt. B1 6: 27-87
- Lazim, M.N., Learner, M.A., 1986
The life-cycle and production of *Limnodrilus hoffmeisteri* and *L. udekemianus* (Tubificidae; Oligochaeta) in the organically enriched Moat-Feeder Stream, Cardiff, S. Wales
Arch. Hydrobiol. Suppl. 74(2): 200-225
- Mackey, A.P., 1976
Quantitative studies on the Chironomidae (Diptera) of the rivers Thames and Kennet 1. The Acorus zone
Arch. Hydrobiol. 78(2): 240-267
- Mackey, A.P., 1977
Quantitative studies on the Chironomidae (Diptera) of the rivers Thames and Kennet 3. The Nuphar zone
Arch. Hydrobiol. 79(1): 62-102
- McIntire, C.D., Amspoker, M.C., 1986
Effects of sediment perturbation in the benthic primary production in the Columbia River estuary Oregon USA
Aquat. Bot. 24(3): 249-268

- Micha, J.C., Borlee, M.C., 1989
Recent historical changes on the Belgian Meuse In: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 269-295
- Russev, B.K., 1987
Ecology, life history and distribution of *Palingenia longicauda* (Olivier) (Ephemeroptera)
Tijdschr. Entomol. 130(0): 109-127
- Russev, B., Naidenov, W., 1973
Limnologische Grundlageforschung als Voraussetzung für den praktischen Gewässerschutz
Arch. Hydrobiol. Suppl. 442: 135-148
- Sambugar, B., 1981
Gli oligocheti raccolti tra i branchi di macrofite nel medio Po a Carso (Pc)
Riv. Idrobiol. 20(1): 179-186
- Smit, H., bij de Vaate, A., de Kock, W.C., et al. 1991
The ecology of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas)) in the Netherlands with special reference to applications in monitoring and biomanipulation
RIZA werkdocument 91.152X
- Swammerdam, J., 1752
Bibel der Natur (Haft, Uferaas)
J.F. Gleditschens Buchhandlung Leipzig p. 100 - 114
- Vermaat, J.E., van Viersen, W., 1990
Kansen voor waterplanten in de grote rivieren?
H2O 23(20): 534-536
- Vincent, B., 1983
Variations spaciales et saisonnieres de la structure de groupements macrobenthiques littoraux en climat froid
Hydrobiologia 102(3): 175-186
- Wallace, J.B., Benke, A.C., 1984
Quantification of wood habitat in subtropical coastal plain streams
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41(11): 1643-1652
- Wasson, J.G., Allardi, J., Barbe, J., Coste, M., Lafont, M., Mouthon, J., Philippe, M., Rofes, G., 1984
Etude ecologique de la Saone entre Auxonne et Tournus. Etat de reference
Rapp. CEMAGREF, Div. Qual. Eaux/Pêche/Pisc. Lyon 158 pp.
- de Bruin, D., Hamhuis, D., van Nieuwenhuijze, L., Sijmons, D., Vera, F., 1987
Ooievaar. De toekomst van het rivierengebied
Arnhem, Sticht. Gelderse Milieufederatie 128 pp.

de Graaff, A., 1977

De Rijn, slagader van West-Europa
De Ingenieur 89: 599-616

van Urk, G., 1984

Algen en de zuurstofhuishouding van de Rijn
H2O 17(5): 96-100

van Urk, G., Smit, H., 1989

The Lower Rhine geomorphological changes In: Historical change
of large alluvial rivers: Western Europe
G.E. Petts (ed.), John Wiley & Sons: New York p. 167-182

Levende rivieren

De Waal en de Winssense Waard

**Willem Overmars
Stroming b.v.**

7 NOVEMBER 1992

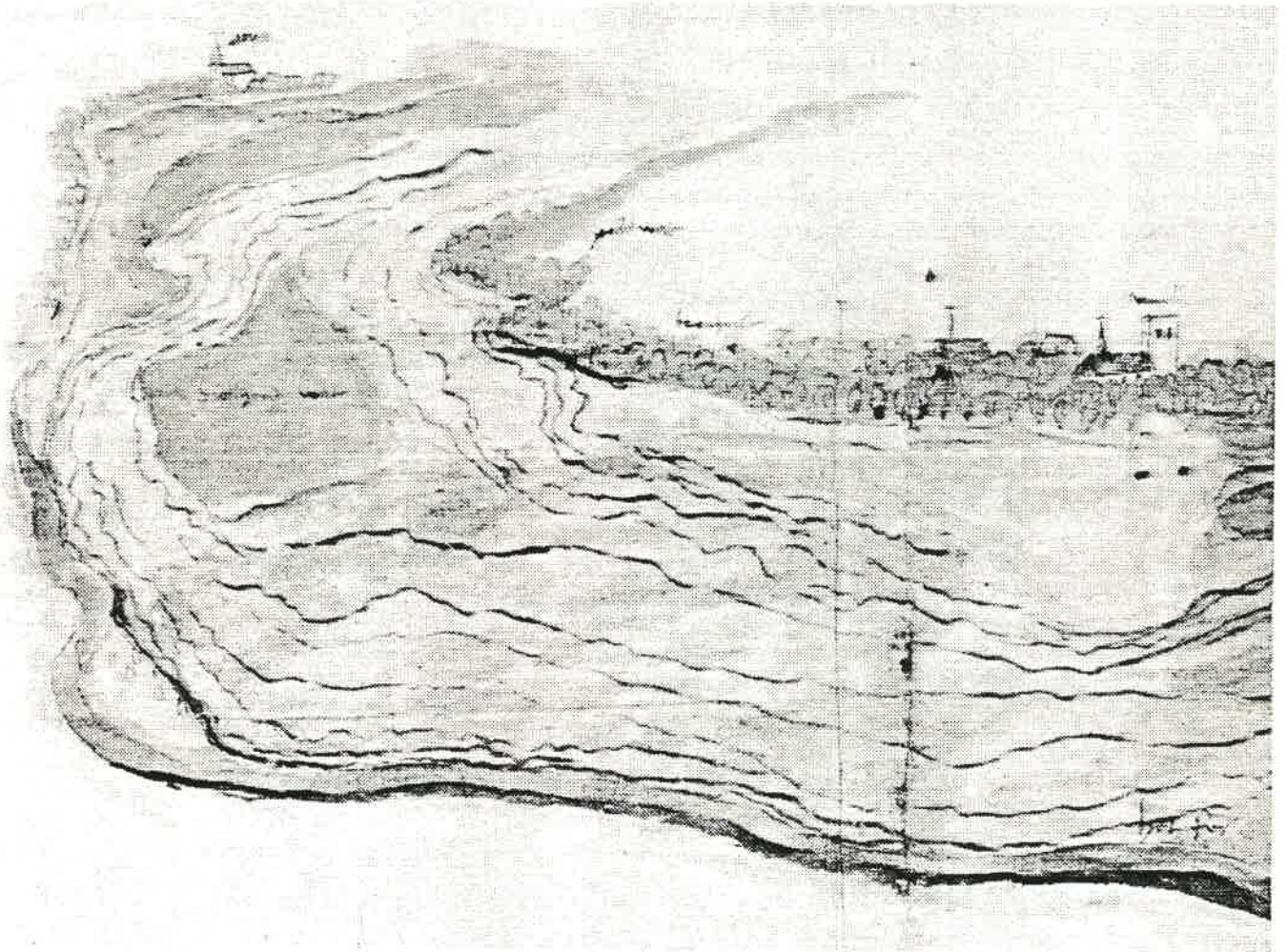
**historisch morfologische atlas van de Waal
studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds**

Inhoud

1	De Waal	3
1.1	Zand	3
1.2	Klei	6
1.3	Gevolgen van de opslibbing	9
1.4	Ecologische gevolgen	12
1.5	De Rijswaard te Neerijnen	12
1.6	Voetnoten en literatuur	15
2	De Winssense Waard	17
2.1	De historische kaarten	17
2.2	Samenvatting	26
2.3	Voetnoten	28
3	Principe-ontwerp nevengeul	31

Kaart 1

De Waal¹ bij Tiel en Wamel, 1559:
eilanden, zandbanken, beboste
oeveren van een vrije rivier.



1 De Waal

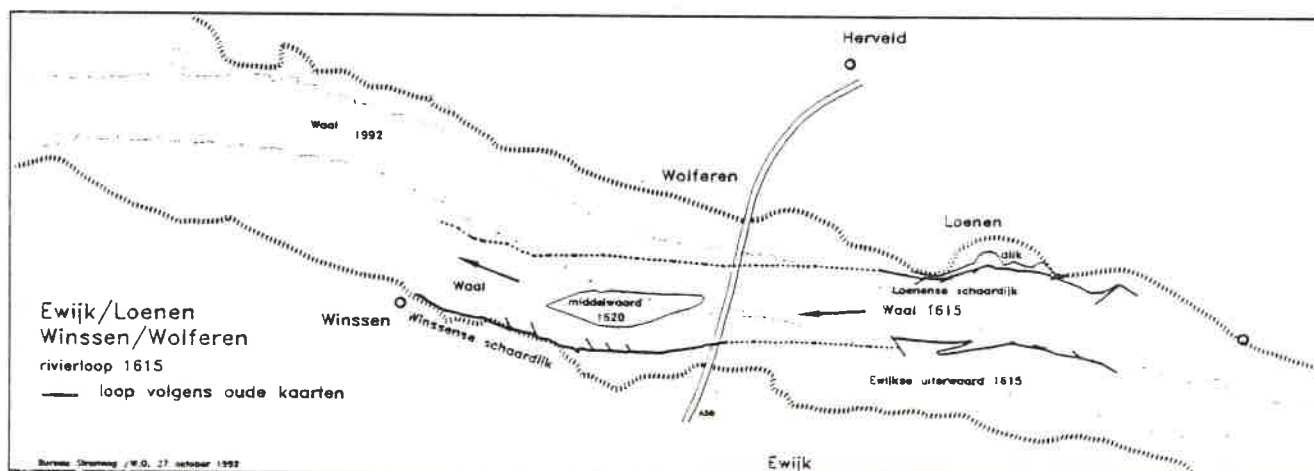
In de zestiende en zeventiende eeuw was de Waal nog een ruige rivier. (kaart 1) Weliswaar hielden de bandijken de rivier al binnen zekere grenzen, maar tussen de bandijken verlegde de rivier zijn loop nog regelmatig. Uiterwaarden vergingen en ontstonden. Eilanden werden verzwolgen door de vloed, maar wasten kilometers verder weer op. De hoofdgeul veranderde steeds en er waren vele nevengeulen. In dit hoofdstuk worden de veranderingen in de vorm en afmetingen van de beddingen van de rivier en van de uiterwaarden nader bekeken. Daarbij wordt al de nadruk gelegd op het riviervak bij Ewijk en Winsen, omdat in het volgende hoofdstuk de ontwikkelingen in de Winsense Waard als voorbeeld in detail zullen worden gevolgd.

1.1 Zand

Een rivier die zijn bedding steeds verlegt, vreet aan zijn oevers. De stroom jaagt langs de buitenbocht. Daar ontstaat dan een afbrokkende steilrand, in het oude jargon het *'afvallend schaar'* geheten. De snelle stroom neemt daar zand en kleideeltjes op. Klei gaat in suspensie, het zweeft in het water. Zand is zwaarder, en als de rivier even verderop wat breder wordt, en dus langzamer gaat stromen, legt de rivier het in de buitenbocht opgenomen zand weer neer. Daarbij ontstaan soms zandbanken en eilanden: *'opwassen'* in het oude jargon. Meestal wordt het zand in de volgende buitenbocht in de vorm van *'aanwassen'* neergelegd.

Kaart 2
De Waal² met schaadijken in
Loenen en Winsen
omstreeks 1615

Natuurlijk wordt er ook zand over grotere afstanden aangevoerd, vanuit de gebergtes in de bovenloop van de rivier, maar die doorvoer gaat erg traag. Het meeste zandtransport in een natuurlijke rivier



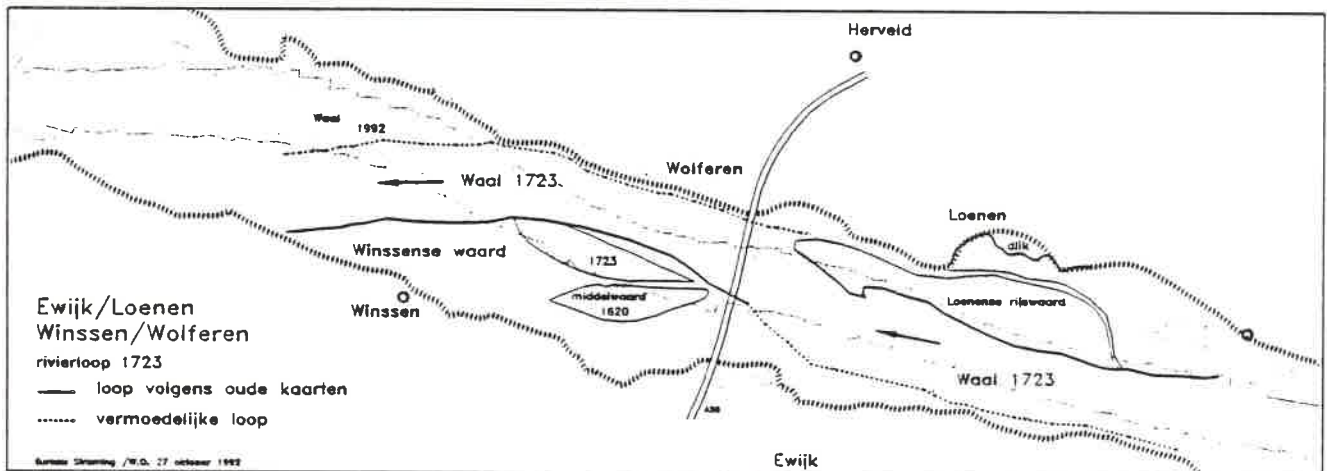
gaat over korte afstanden, enkele honderden meters of enkele kilometers per keer. De rivier neemt het in de buitenbocht geërodeerde zand op en legt het op korte afstand weer neer.

Op kaart 2 stroomt de Waal - omstreeks 1615 - bij Loenen vlak onder aan de dijk. De Waal steekt dan helemaal over naar de zuidelijke kant, en loopt bij Winssen opnieuw gevaarlijk dicht onder de dijk. Bij Ewijk en Wolferen liggen brede uiterwaarden. Even voor Winssen is een opwas ontstaan in de rivier : een 'middelwaard', die de kern zal worden van de huidige Winssense Waard.

Een eeuw later, in 1723 (kaart 3) is de situatie totaal veranderd: de uiterwaard van Ewijk is bijna verdwenen. Het zand is opgepakt, en ligt voor een groot deel in de Winssense Waard. Aan de overkant is de Loenense Rijswaard aangewassen, met zand van hogerop, uit Beuningen. De Wolferense uiterwaard is weggevreten, en dat zand ligt bij Deest of Dodewaard. Door de aangewassen uiterwaarden lopen nevengeulen: tussen de Loenense Rijswaard en de dijk, en tussen de middelwaard en de dijk bij Winssen.

Kaart 3

In 1723 liggen er bij Loenen en Winssen groeiende uiterwaarden³. De schaaldijken liggen bij Ewijk en Wolferen



De beweeglijkheid van de rivierloop heeft een natuurlijke oorsprong, maar werd sterk door de mens beïnvloed. Door de aanleg van kribben probeerde men afslag van de eigen grond tegen te gaan. Aanwassen wilde men met kribben beschermen en stimuleren, want die werden eigendom van de aanliggende eigenaar. Opwassen daarentegen werden eigendom van het landsbestuur, in dit geval van de Gelderse Rekenkamer. Voor particulieren was het dus zaak om te proberen een opwas via een dam aan het eigen land vast te laten groeien, zodat de opwas juridisch als een aanwas beschouwd kon worden.

Vaak werd er 'aggressief gekribd': de heer van Doddendaal bijvoorbeeld stak in de zestiende eeuw zijn kribben bij Beuningen zover de Waal in, dat de neiging van de Waal om aan de kant van Slijk-Ewijk en Loenen (kaart 2) te gaan lopen versterkt werd. Daar werden vervolgens de dijken zozeer bedreigd, dat de Betuwnaren naar de rechter in Nijmegen stapten. Doddendaal moest inbinden. De heer van Loenen zag in de eeuw daarna, toen de Waal de neiging had om aan

de Ewijkse kant te gaan stromen zijn kans schoon. Ook hij ging agressief kribben, zodat de dijk weer gevaarlijk dicht onder Ewijk kwam te lopen (Mentink, 1985).

Nevengeulen zijn er in een levende rivier in allerlei stadia. Sommige hebben aan de bovenkant ook bij laag water een open verbinding met de hoofdgeul en stromen mee. Andere zijn aan de bovenloopse kant verzand en stromen alleen bij hogere waterstanden mee.

Bij hoge waterstanden wordt een groot deel van het water niet over de uiterwaarden afgevoerd, maar door de nevengeulen, tussen eilanden en hoogtes door.

Bij hoogwater stroomde dus het hele winterbed mee. De in het water zwevende kleideeltjes kwamen dus niet tot bezinking, maar werden doorgevoerd.

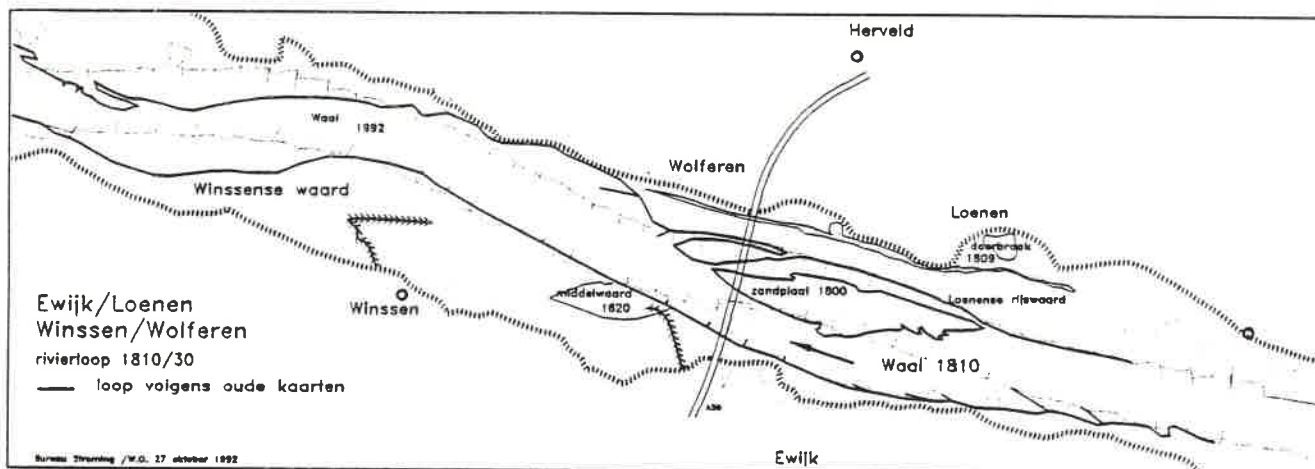
In de zestiende en zeventiende eeuw waren de uiterwaarden dus vooral zandig van karakter. Eilanden en aanwassen bestonden vanzelf al uit zand. Maar ook in de uiterwaarden kreeg het slib slechts in beperkte mate de kans om plaatselijk bij vallend water neer te slaan.

De natuur maakt gebruik van de omstandigheden die de rivier haar biedt. De morfologie van de rivier had een aantal kenmerken, die van belang zijn voor het herstel van de Levende Rivieren:

- grote variatie in stroomsnelheden
- groot contrast droog - nat, met vele overgangen
- grote oppervlakte ondiepe rivier met zandige bodem, geschikt voor bodembewonende algen
- uitdrogende poeltjes, geschikt voor amfibieën
- tijdelijk stilstaande rivierarmen met zandige bodem en waterplanten
- hoge, zandige toppen (duinen) die slechts zelden overstroomden, geschikt voor de specifieke stromdalflora
- plaatselijk overgangen van zand naar klei
- droogvallende slikranden en zandplaten en, bovendien:
- ooibos op oevers en eilanden
- veel dood of levend hout in het water: snag, oftewel klinkhout, geschikt als aanhechtingsplaats voor filterende dieren.

HET STILVALLEN VAN HET ZANDTRANSPORT

Toen in de tweede helft van de negentiende eeuw de rivier werd genormaliseerd (= op normaalbreedte en -diepte gebracht) stopte in de rivier het zandtransport over korte afstand. De kribben zorgden ervoor, dat er weinig erosie van de oevers meer plaatsvond. Daardoor nam de toevoer van zand naar de rivier sterk af. Dat was ook de be-



Kaart 4

De dammen⁴ in de Winssense waard. Tussen Loenen en Ewijk ligt een grote zandplaat.

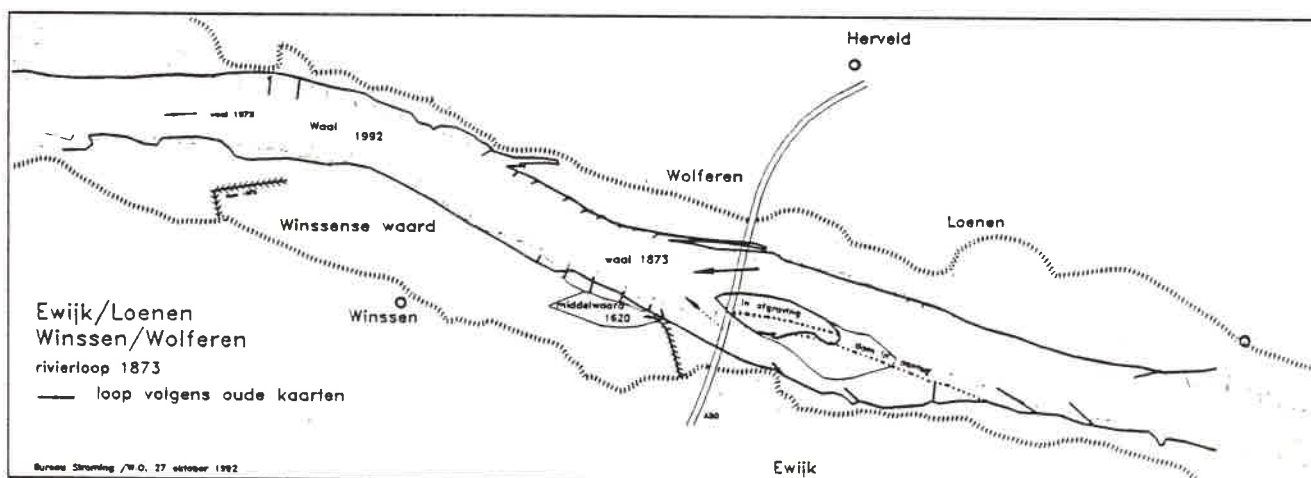
doeling, want men wilde opwassen, aanwassen en dergelijk ongerief voorkomen, om de vorming van ijsdammen tegen te gaan. Later bleek deze verkribbing van de rivier ook een prima vaargeul voor de scheepvaart tot gevolg te hebben. Alleen de netto-doorvoer van zand, dus van de bergen naar de zee, bleef bestaan. Het gevolg hiervan was, dat niet alleen ondieptes, zandplaten en eilanden verdwenen, maar dat ook de afzetting van zand bij hoogwater in de uiterwaarden een zeldzaam verschijnsel werd. Rivierduinen, ooit heel gewoon in het rivierengebied, werden zeldzaam. Situaties als de Millingerduinen en de Plaat bij Ewijk zijn restjes van het verdwenen zandige landschap.

1.2 Klei

De Waal was in de zeventiende eeuw extra onrustig, omdat in die tijd de ingang van de Nederrijn tussen Schenkenschans en Lobith verzand was. Bij lage en gemiddelde waterstanden moest al het water dat uit Duitsland kwam bij Schenkenschans rechtdoor, de Waal in. Dat betekende voor de Waal: veel zandtransport en een beweeglijke bedding. Voor de Nederrijn betekende dat bij laag water: weinig stroming en talloze stilstaande poelen. Alleen bij hoogwater voerden ook Nederrijn en IJssel nog water.

Kaart 5

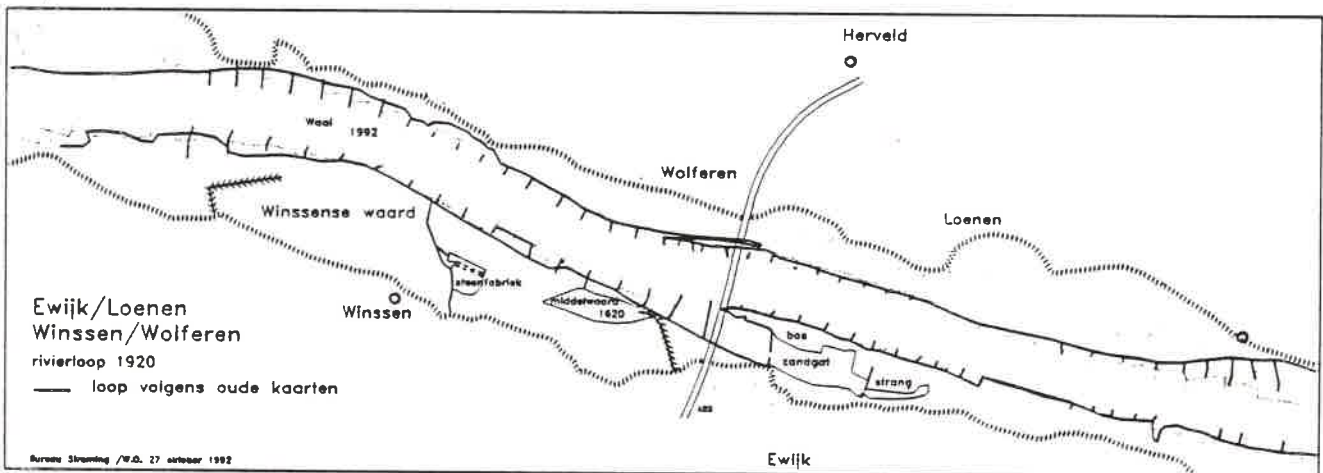
In 1873⁵ waren de normaliseringswerkzaamheden aan de Waal in volle gang. Het eiland bij Ewijk werd gedeeltelijk afgegraven. De strang wordt met dammen afgesloten



Nadat in 1706 het Pannerdens Kanaal was gaan stromen, hoefde de Waal een derde minder water af te voeren. De onrust van deze rivier nam dus af. Er ontstonden meer mogelijkheden voor aanliggende eigenaren om uiterwaarden te laten groeien en om eilanden vast te leggen.

Op de oude kaarten zie je dan ook, dat er in de achttiende eeuw op grote schaal zomerkades werden aangelegd. In Winssen (kaart 4) werd de oude geul tussen dijk en middelwaard ergens in de achttiende eeuw afgesloten met een dam. Een tweede dam, verder stroomafwaarts, sloot de waard aan de benedenkant af. De redenen voor de bekading waren landwinst en verbetering van de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden van de uiterwaarden.

De gevolgen van de grootscheepse aanleg van zomerkades waren voor het rivierenland dramatisch. In minder dan een eeuw raakten de uiterwaarden gefixeerd onder een dikke laag klei.



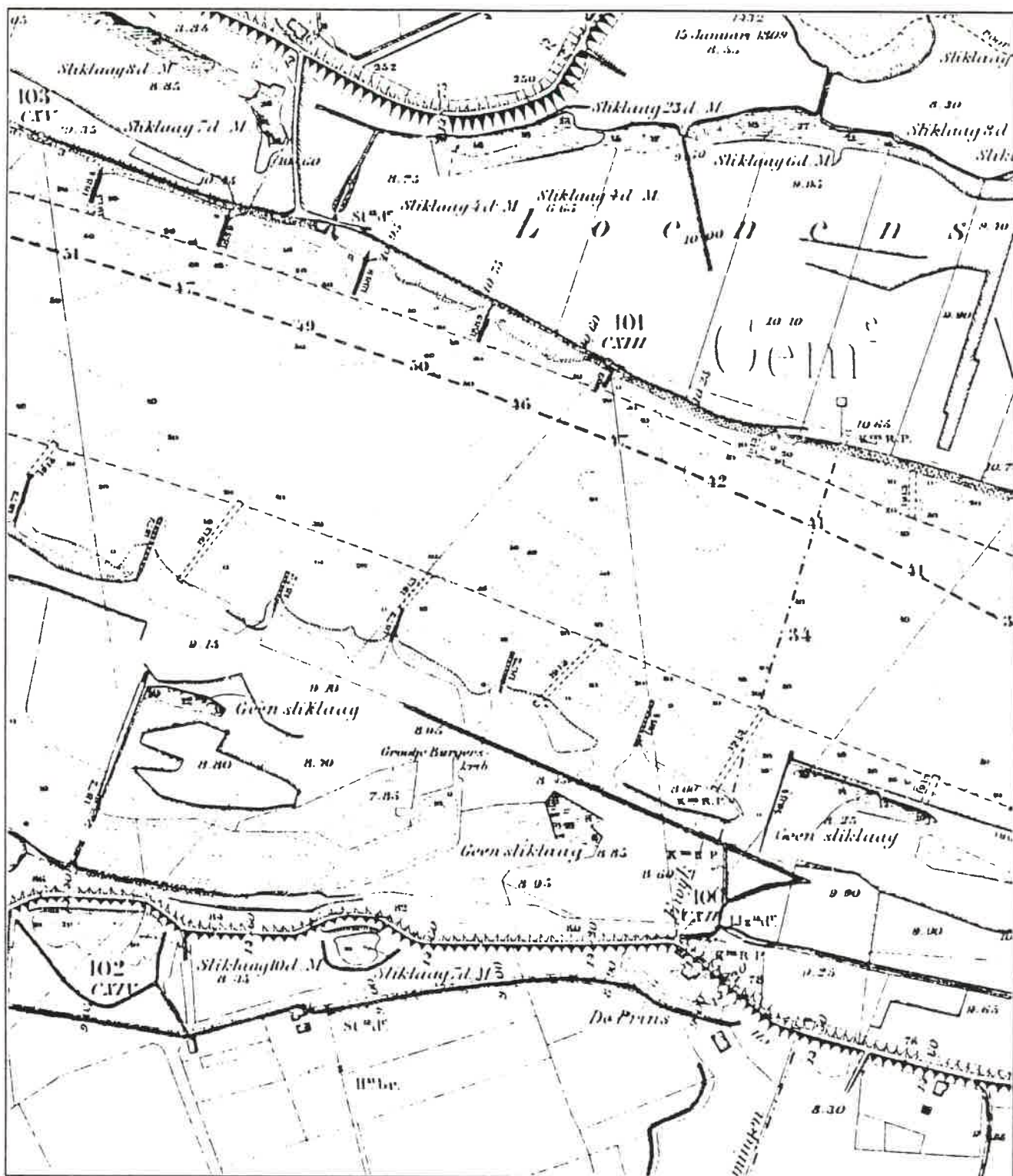
Kaart 6

De Winssense waard⁶ langs de genormaliseerde Waal in 1920

WAT GEBEURDE ER

Wanneer een oude strang een lage in- en uitgang heeft zal de strang bij wassend water met de rivier mee gaan stromen. Zo'n strang neemt dan, zoals gezegd, een aanzienlijk deel van de afvoer van hoog water voor zijn rekening. De stroomsnelheden zijn daarbij relatief hoog. Slib heeft weinig kans om neer te slaan. Integendeel, na een flinke afvoer kan er in zo'n oude geul zelfs erosie optreden.

De situatie verandert dramatisch als zo'n strang aan weerszijden door dammen wordt afgesloten. Dit heeft tot gevolg dat het aantal overstromingen daalt. Alleen de top hoogwaters komen nog over de dammen heen. Dit maakt het terrein geschikter voor de landbouw. Door het verminderde aantal overstromingen lijkt de opslibbing af te nemen, maar het tegendeel is het geval. Als de dammen onderlopen stroomt slibrijk water de buitenpolder in. Bij vallend water wordt dit water binnen de kaden gevangen. De stroom valt stil, en de volledige vracht aan slib krijgt de kans om in dit rustige milieu neer te slaan. *Bekade uiterwaarden werken als slibvangen.* Men stimuleerde het neerslaan van het vruchtbare rivierslib door 's winters, als er geen landbouwkundig gebruik van de buitenpolder was, ook hoogwatertjes die



Kaart 7

In de bekende Loenensche uiterwaard^{6a} zijn dikke sliklagen te vinden. In de onbekende uiterwaarden bij Ewijk, ten zuiden van de Waal, stroomt het slibrijke hoogwater dóór, waardoor geen slib bezinkt

best door de dammen gekeerd hadden kunnen worden, via inlaatwerken toegang te geven tot de polder. Daardoor werd de werking als slibvang versterkt.

De bekende Winssense waard, en alle andere bekende uiterwaarden raakten vol met klei. Het tempo waarin dat gebeurde hing af van de hoogte van de dammen, en dus van het aantal keren dat slibrijk water gevangen werd achter de dammen. Ook het beheer van de in- en uit-

laatwerken had zijn invloed. Sommige uiterwaard-beheerders hielden ook 's winters het water zoveel mogelijk buiten. De opslibbing werd dan vertraagd, omdat alleen de tophoogwaters toegang kregen tot de waard⁸. Andere beheerders lieten met graagte zelfs rivierwater in, om het opslibben te stimuleren.

Op de rivierkaart van de Waal uit 1920 is het verschil in opslibbing tussen bekade en onbekade uiterwaarden goed gedocumenteerd, omdat op deze kaart (kaart 7) de dikte van de sliklagen staat aangegeven. In de bekade Loenense uiterwaard op de noordelijke Waaloever ligt een sliklaag, die varieert van enkele decimeters op de zandige hoogten langs de Waal, tot meer dan twee meter op de plaats waar de Waal in 1615 nog liep. De uiterwaard aan de zuidkant van de Waal heeft geen hoge kade (al is de oude strang omstreeks 1875 wel afgedamd). Het hoog water voert hier het slib doorheen en op de kaart staat dan ook aangegeven 'geen sliklaag'.

1.3 Gevolgen van de opslibbing

GEVOLGEN VOOR DE WATERAFVOER

De gevolgen van de opslibbing waren groot. Op de eerste plaats nam het waterafvoerend vermogen van het winterbed af. Afvoer door een grote hoeveelheid diep in het landschap liggende nevengeulen was immers niet meer mogelijk. Die nevengeulen werden opgevuld met metersdikke kleipakketten. Op veel plaatsen slibden de uiterwaarden dicht. Het hoog water moest voortaan over de volle breedte van de hoger liggende uiterwaarden afgevoerd worden. Hierdoor liepen de waterstanden op en werden de dijken zwaarder belast. In de Bataafse tijd werden de grenzen van het toenmalige riviersysteem bereikt. Het aanleggen van zomerdammen was tot dan toe vrij geweest: een ieder mocht doen wat hem goed dunkte. Nu de situatie kritiek werd, ging de regering over tot regelgeving:

PUBLICATIE

HUN HOOG MOGENDE

*Vertegenwoordigende het BATAAFSCH
GEMENEBEST, allen den genen die
deze zullen zien of hooren lezen, Salut!*
(...)

Art. 6

*Niemand zal eenige Gronden, welke niet bekaad
of Bedijkt, en Buitendijks of op Stroomen gelegen
zijn, mogen Bekaden of Bedijken, noch ook de al-
daar reeds bestaande Kaden verhoogen, zonder
gevraagde en bekomen permissie van de Commissie
van Superintendentie; zijnde hier onder niet
begrepen de gewone reparatiën, en temporaire voor-
zieningen tegen Zomer-Water.*
(..)

Art. 8

*Geene thans nog onbeplante buitendijks gelegen
Gronden of Platen, zullen met hout beplant mogen
worden, zonder bekomen permissie als voren;*

(..)

*Wanneer het door de Commissie voor de goede ge-
steldheid der Rivieren of Stroomen noodig geoordeeld
wordt het hout van eenige gronden te amoveren,*

(was geteekend)

R.J. SCHIMMELPENNINCK

Raadspensionaris

IN DEN HAAG 1806

Later werd dit bevestigd bij KB van 8 maart 1822.

Niet alleen de aanleg en verhoging van kaden werd aan banden gelegd, ook werd de basis gelegd tot de latere heksenjacht op hout in de uiterwaarden.

Nu mag niet de indruk gewekt worden, dat alleen door de dichtslibbing van de nevengeulen in de achttiende eeuw de waterstaatkundige toestand kritiek werd.

Dijkdoorbraken waren ook in de eeuwen voor deze regelgeving normaal in het rivierengebied. De dijken braken bij hoog water altijd wel ergens door. De bewoners achter de dijken wisten dit en hadden hun maatregelen genomen. De dorpen lagen hoog, boerderijen stonden op pollen en er vielen dan ook verbazingwekkend weinig slachtoffers onder mens en vee.

De belangrijkste oorzaken voor dijkdoorbraak waren hoog water en ijssdammen, die opstuwing veroorzaakten. Maar als de dijken overstroomden, stortte het water aan de achterkant van de dijk naar beneden. Het dijklichaam werd van achteren uitgehold, tot het doorweekte dijklichaam het begaf onder de druk en het uitslijpende geweld van het water. Zelfs bij heel laag water konden ijssdammen in de rivier dijkdoorbraken veroorzaken.

Rond 1800 kwam een aantal barre situaties voor (zie Petersen 1978, p. 100 e.v.). 1799 was een berucht jaar met zware vorst en er braken heel wat dijken door. Ook 1803 en 1809 waren berucht voor hun ijsgang met hoog water en dijkdoorbraken. Het jaar 1816 was extreem nat, met een groot zomerhoogwater in juli, waarbij vrijwel alle zomer-kades overstroomd raakten. 1819 kende hevige overstromingen. Een nat najaar en hevige sneeuwval in de gebergtes hadden de omstandigheden voor overstromingen voorbereid. In januari vroor het hard, zodat de rivieren dichtlagen met ijs. Plotselinge dooi en de komst van massa's smeltwater veroorzaakten een enorme ravage van kruierend ijs waardoor de dijken doorbraken. De indruk bestaat dat er ook een psychologische oorzaak bestond om de doorbraken als rampzalig te beschouwen. In de voorgaande eeuwen waren overstromingen als onver-

mijdelijk geaccepteerd en leefde men er mee. Door veranderingen van normen, begon men de overstromingen allengs meer als een last te beschouwen.

In 1820 stelde koning Willem I een commissie in die de toestand moest onderzoeken (zie Petersen 1978, p 42) , in aanmerking nemende *'dat naar het eenstemmig gevoelen van alle deskundigen de staat der rivieren de Rijn, de Lek, Waal en Maas van tijd tot tijd verslimmert, dat de aan dezelve grenzende streken meer en meer bedreigd worden, en eene onherstelbare ramp op eenig punt derzelve vroeg of laat te duchten is'*.

De commissie kwam tot de conclusie, dat de gestadige ophoging van de rivierbeddingen (zomer- en winterbed) en de ijsdammen oorzaak waren van de rampen.

Verstandig als de commissie was, werd een voorstel van de Pruisische Waterbouwkundige Von Wiebeking, om alle dijken te verhogen, als niet afdoende van de hand gewezen. Deze maatregel nam immers niet de oorzaken van het ongemak weg⁹.

Ettelijke commissies later werd door een rapport van twee inspecteurs van de Waterstaat opnieuw gesteld (citaat naar Petersen 1978 p. 43) "dat de ophoging van de rivierbeddingen en de vorming van ijsdammen de *onoverkomelijke* oorzaken van overstromingen waren." Dit rapport luidde een periode van riviervverbetering in, waarin het "afsnijden van bochten, het normaliseren van beddingen en het wegneemen van hinderlijke oeverwerken" tot een aanmerkelijke verbetering van de rivieren leidde.

De conclusies van deze inspecteurs waren juist en de meeste maatregelen die getroffen werden hadden het gewenste effect.

Door de normalisering van de rivier onstond een gelijkmatig en diep zomerbed en ijsdammen werden prompt een grote zeldzaamheid. Daarmee was een van de grote oorzaken van dijkdoorbraken vrijwel opgelost.

Het systeem van overlaten (Liemerse overlaat) dat werd gemaakt óf verbeterd, veroorzaakte echter zoveel overlast, dat het later weer verlaten werd.

Het verlagen van de uiterwaarden was een maatregel die men niet kon nemen, omdat het landbouwkundig belang in de uiterwaarden daarvoor te sterk was. Hierdoor werd het noodzakelijk om de dijken te verbeteren en op te hogen, al was het alleen maar door de veranderde normen ten aanzien van overstromingen.

De conclusie is dus, dat er een aantal oorzaken zijn aan te wijzen voor de verslechterde situatie in het begin van de negentiende eeuw. De gestage ophoging van de uiterwaarden was er daar slechts één van. Vanaf de negentiende eeuw tot zeer recent gold deze ophoging van het winterbed als een *onoverkomelijk* bezwaar. Niet zozeer vanwege de grote hoeveelheden af te graven specie, maar door het landbouwkundig gebruik van de uiterwaarden, dat zo sterk verbonden was met de dammen en de opslibbing.

Nu het landbouwareaal ingekrompen moet worden en de baksteenindustrie de zorg en de kosten voor een langzame, voorzichtige, maar voortdurende afgraving van de uiterwaarden op zich kan nemen, is de situatie veranderd. Nu bestaat er de mogelijkheid voor een eigentijdse oplossing: het openen van de oude geulen en het verlagen van de uiterwaarden.

1.4 Ecologische gevolgen

Ook de ecologische gevolgen van de aanleg van zomerkades waren groot.

Door dichtslibbing van de nevengeulen verdween veel water uit de uiterwaarden. Dit verminderde de levensmogelijkheden voor planten en dieren in en om het water.

Door de afdekking van veel zandige delen van de uiterwaarden, vaak tot en met de hoogste koppen van de zandduintjes toe, veranderde de bodem in de uiterwaarden van zand in klei. Daardoor verdween de droge, voedselarme component uit de uiterwaarden. Door de oplopende waterstanden, werden ook de hoogste delen van de uiterwaarden steeds vaker overstroomd. Het verdwijnen van de zandige ondergrond en het toenemen van het aantal overstromingen maakten de uiterwaarden steeds ongeschikter voor de stroomdalflora. Deze kenmerkende, overstromingsgevoelige, groep planten kon alleen nog maar terecht op de dijken en de hoogste kades.

Ook het aantal geleidelijke overgangen tussen milieutypen (gradiënten droog-nat, hoog-laag, zand-klei, voedselarm-voedselrijk, hoog- en laag dynamisch, bos-grasland, stromend-stilstaand) nam door de verkleining van de uiterwaarden dramatisch af. De toenemende landbouwkundige gebruiksdruk benadrukte deze effecten nog eens.

Slechts grasland, met hier en daar het water van de diepste of jongste strangen restte van het ooit zo gevarieerde uiterwaardenlandschap. Van de specifieke levensgemeenschappen bleven alleen de weidevogels over en hier en daar een restje van de oude stroomdalflora op de dijken.

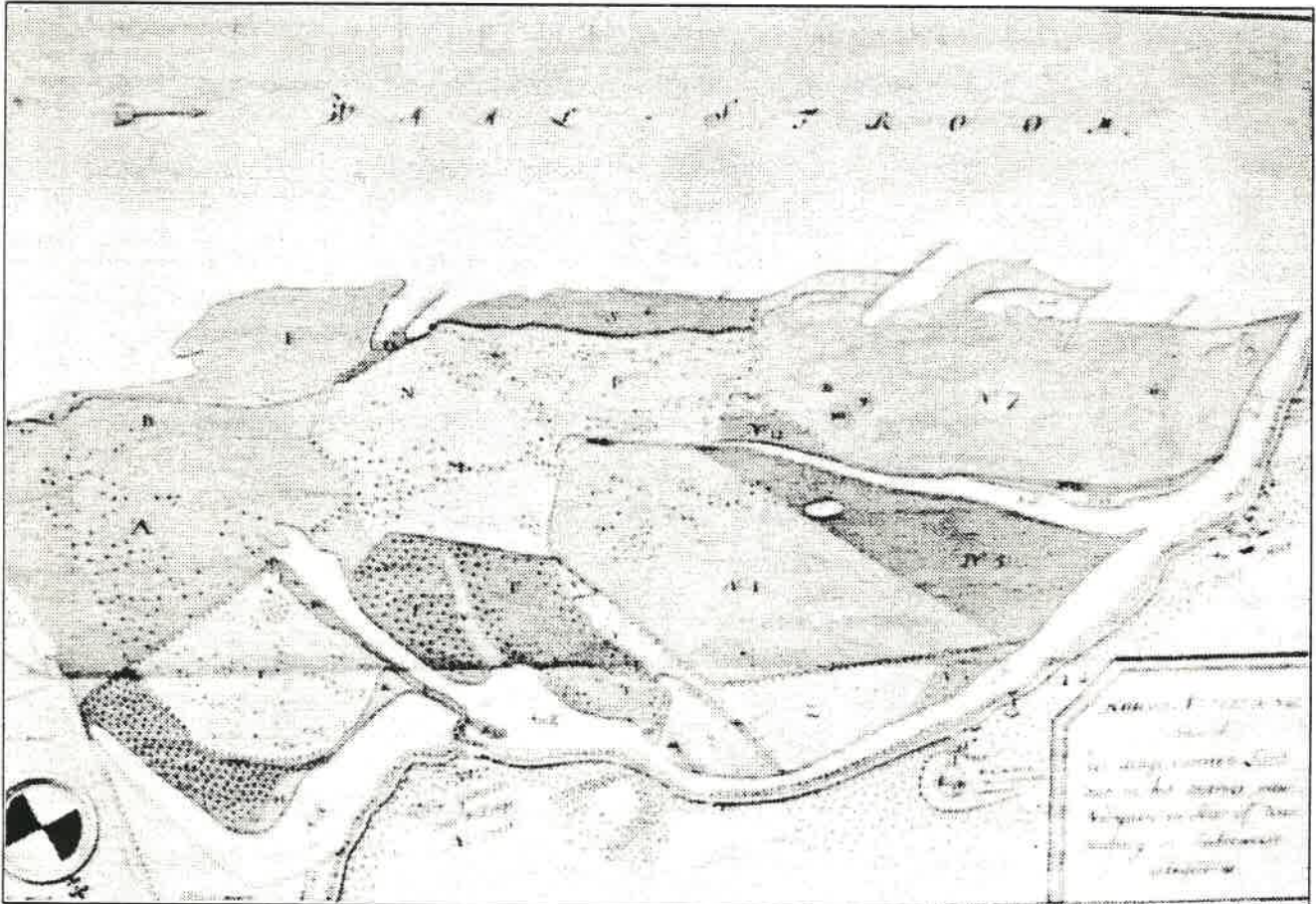
1.5 De Rijswaard te Neerijnen

De veranderlijkheid van de uiterwaarden maakte het de heffer van de grondbelastingen moeilijk om de juiste aanslagen te bepalen. Vandaar dat het nodig was voor de overheid, in dit geval de Gedeputeerden van het Kwartier van Nijmegen, om regelmatig landmeters uit te sturen om de uiterwaarden te karteren. In 1688 was er zo'n sessie en omstreeks 1720-1730 ook. Landmeter H. Tas maakte veel werk van de opmetingen. Op zijn kaarten staat in detail ook de aard van de percelen vermeld. Aan de hand van de kaart⁷ van Neerijnen van 1729 kunnen we ons een voorstelling maken van een uiterwaard uit die tijd (kaart 8). Deze kaart kan dienen als een samenvatting over wat in het bovenstaande over de vroegere uiterwaarden is gezegd.

De Rijswaard van Neerijnen blijkt in 1729 nog onbekend te zijn. De *kille* stroomt aan de benedenstroomse kant nog vrij uit in de Waal. In de waard zijn twee uitslijpgeulen te vinden. Dit zijn geulen, die ont-

staan doordat bij hoogwater de rivier de uiterwaard instroomt en daarbij zijn vracht aan zand verliest. Bij het uitstromen van de uiterwaard maakt de rivier weer vaart en neemt daarbij weer materiaal op. Vaak liggen zulke uitslijpgeulen op plaatsen waar vroeger echte stroomgeulen hebben gelegen.

De beschrijving van de landmeter luidt, verkort, als volgt:



Kaart 8

Kaart van de Rijswaard bij
Neerijnen, 1729: gevariëerde
milieutypen in een onbekade
uiterwaard

A en B. Een perceel weiland. Waarvan een gedeelte, afgebeeld onder B, voor desen met sand beschoten, dog nu weer met gras begroeyd, maar egter schraal en mager is.

C. (aan de rivierkant van B) nog eenen sand kuijl, of daer sant uyt gehaald word, tot reparatie van het voetpad op den dijk

*D. Nog het onderschaar aen de groote Weerd (= B) het welk sandig, en hier en daar maar een weynig met gras begroeijd is.
Nog een bloot sand, afgebeeld onder E.*

F. Nog een perceel weijland. Waervan een gedeelte leggende bij 't waardman's huijs, met fruijtbomen beplant, of tot Boomgaard gemaakt is. (het lichte perceel links beneden, bij de windroos)

G. Nog een perceel sijnde een griend of willigen pas (het donkere perceel links naast F)

*H. Nog een onland, of dat seer laag is, begroeijdt met lies en onkruid
(bij G aan de kil)*

I. Nog een onlandje,

*Tussen de dijk en perceel F ligt een dam L door de kil, die in 1722
gemaakt is met grond, afgegraven uit perceel K.*

*M en N. Nog een perceel weyland. Waarvan een gedeelte, afgebeeld on-
der N voor desen met sand beschoten, dog nu ten merendele weer met
gras begroeijdt, maar egter schraal en mager is.*

*O. Nog een perceel sijnde onder schaar, dat ten merendele met gras be-
groeijdt is.*

*P. Nog een perceel weyland , behalve een laagte Q met lies etc begroeijdt.
Nog een schaar, afgebeeld onder R.*

S. Nog eenen Rijsweerd

*Nog een perceel, afgebeeld onder T, sijnde ten dele rijsweerd, en ten
dele griend, daar hier en daer eenig riet, en op sommige plaatsen gras
in staat.*

*V. Nog een dooije kil met lies en eenig riet, en verders met onkruid be-
groeijdt.*

W. Nog een onlandje met lies en onkruid begroeijdt.

X. Nog een rietveld

Y. Nog een rietveld.

*Z. Nog drie parcelen rijsweerd en griend, daer hier en daar eenig riet in
staat*

No. 1. Nog een rietveld

No. 2. Nog een perceel dat met riet en lies begroeijdt is.

No. 3. Nog een perceel lagen rijsweerd.

*Desen rijsweerd afgehakt of gesneden, en daar na onder water gelopen
sijnde, soo is de stuijck van denselven voor een gedeelte verdroncken.*

No. 4. Nog een perceel weyland.

*No. 5. Nog een perceel, waarvan de belasting via Zaltbommel wordt be-
taald.*

No. 6. Nog een onlandje dat met lies begroeijdt is.

*No. 7. Nog eenen rijsweerd daar hier en daar eenig riet, en eenige willige
in staan.*

No.'s 8 t/m 13. Nog rietveldjes.

De onbekade rijswaard bij Neerijnen was in 1729 dus hoog en zandig aan de kant van de rivier met een duidelijke schaar of steilrand. Dit duidt erop dat het proces van erosie (de steilrand) en van sedimentatie (bij hoog water afzetting van zand op de weilanden langs de rivier) nog levend was.

De afvoercapaciteit van zomer- en winterbed samen was groot genoeg om het waardmanshuis met fruitboomgaard droog te houden.

Voor al aan de kant van de kil is het natter. Hier komen laag gelegen rietlandjes voor, met liesgras en hier en daar wat griend. De vegetatie duidt erop, dat het hier kleiig geweest zal zijn. Aan de benedenstroomse kant ligt een grote rijswaard langs de rivier.

1.6 Voetnoten en literatuur

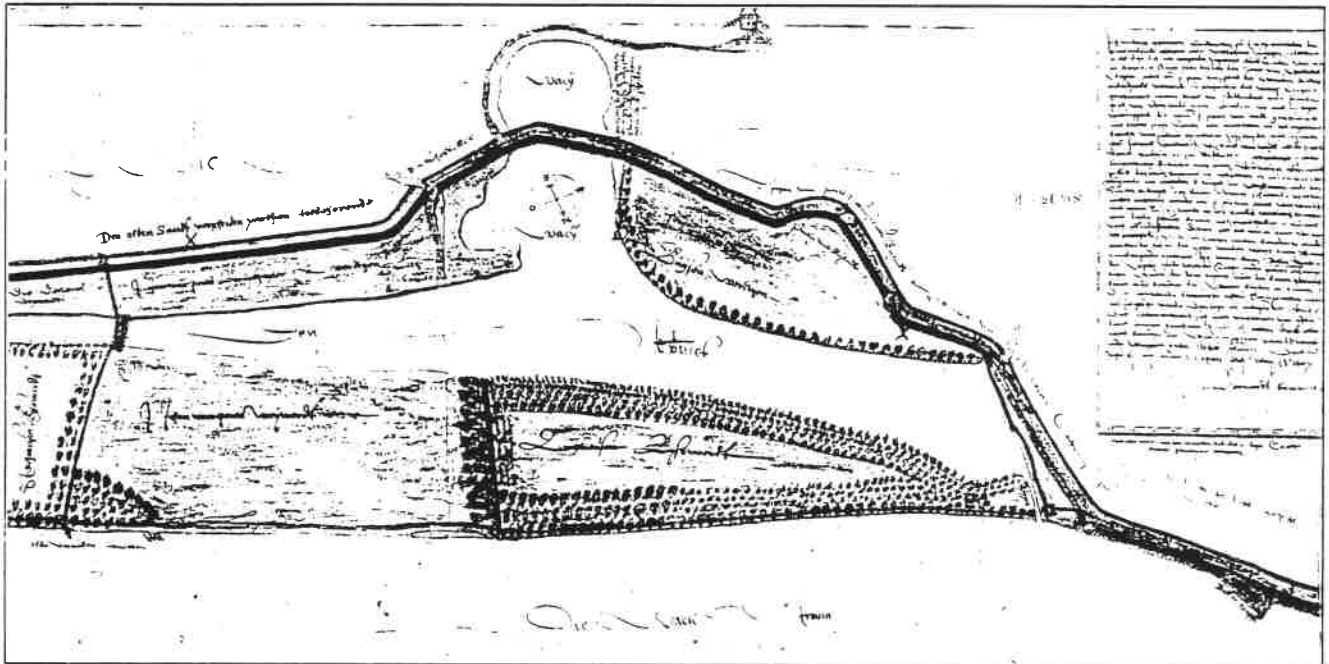
1. RAG, Hof 6. Kaart van de zanden in de Waal voor Tiel. 1559, Johan van Holt.
2. zie kaart 9, en RAG AKV 382 (Loenen 1615)
3. zie kaart 16 en RAG Gedep. Nijmegen 51.
4. zie RAG RWS 38, ARA VTH 655, en rivierkaart 1830.
5. zie rivierkaart 1873
6. zie rivierkaart 1920
- 6a. detail van rivierkaart 1920
7. RAG, Gedep. Nijmegen 61. Kaart van aangewonnen land tegenover het kasteel te Waardenburg, door H. Tas, 1729.
8. Wellicht is zo'n sterk waterkerend beleid er de oorzaak van dat de Oude Waal bij Nijmegen slechts langzaam opslibt.
9. Dit in tegenstelling tot de huidige dijkverzwarringsactie, waarbij niet alle oorzaken van de historisch gegroeide situatie in de uiterwaarden zijn bekeken. Met name de opslibbing van de uiterwaarden in het verleden is niet onderzocht.

Ven, dr. G.P. van de, Aan de Wieg van Rijkswaterstaat, wordingsgeschiedenis van het Pannerdens Kanaal. Zutphen, 1976

Petersen, J.W. van, De Waterplaag, dijkdoorbraken en overstromingen achter Rijn en IJssel. Zutphen 1978.

Mentink, G.J., en Johan van Os, Over-Betuwe, geschiedenis van een Polderland, Zutphen 1985.

Overmars, Willem, De Rijnstrangen. Historisch-morfologisch onderzoek. Stichting Ark, Laag Keppel 1992.



Kaart 9

Het oudst gevonden stuk van de
Winssense waard: strang en rijs-
waard nabij de molenkolk, 1607

2 De Winssense Waard

2.1 De historische kaarten

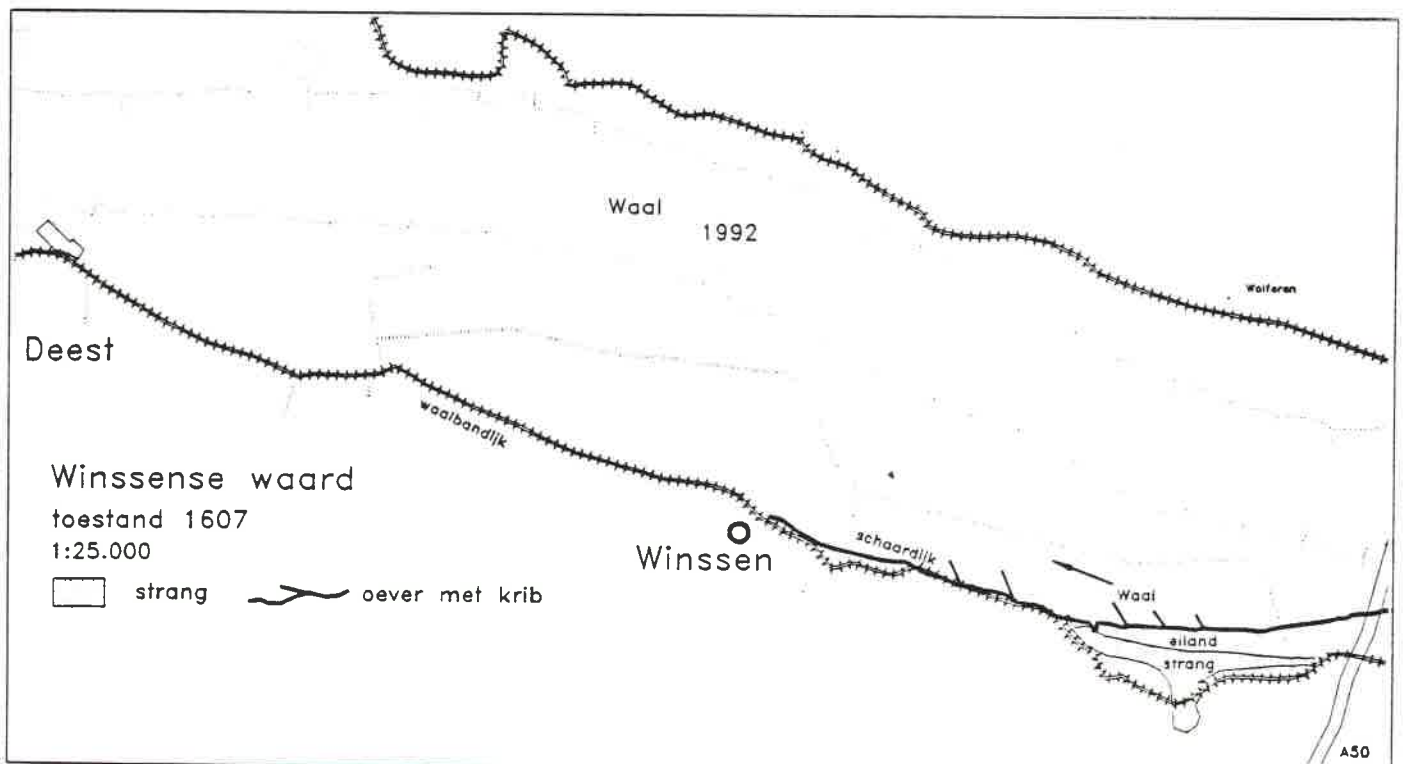
DE STRANG EN RIJSWAARD VAN 1607

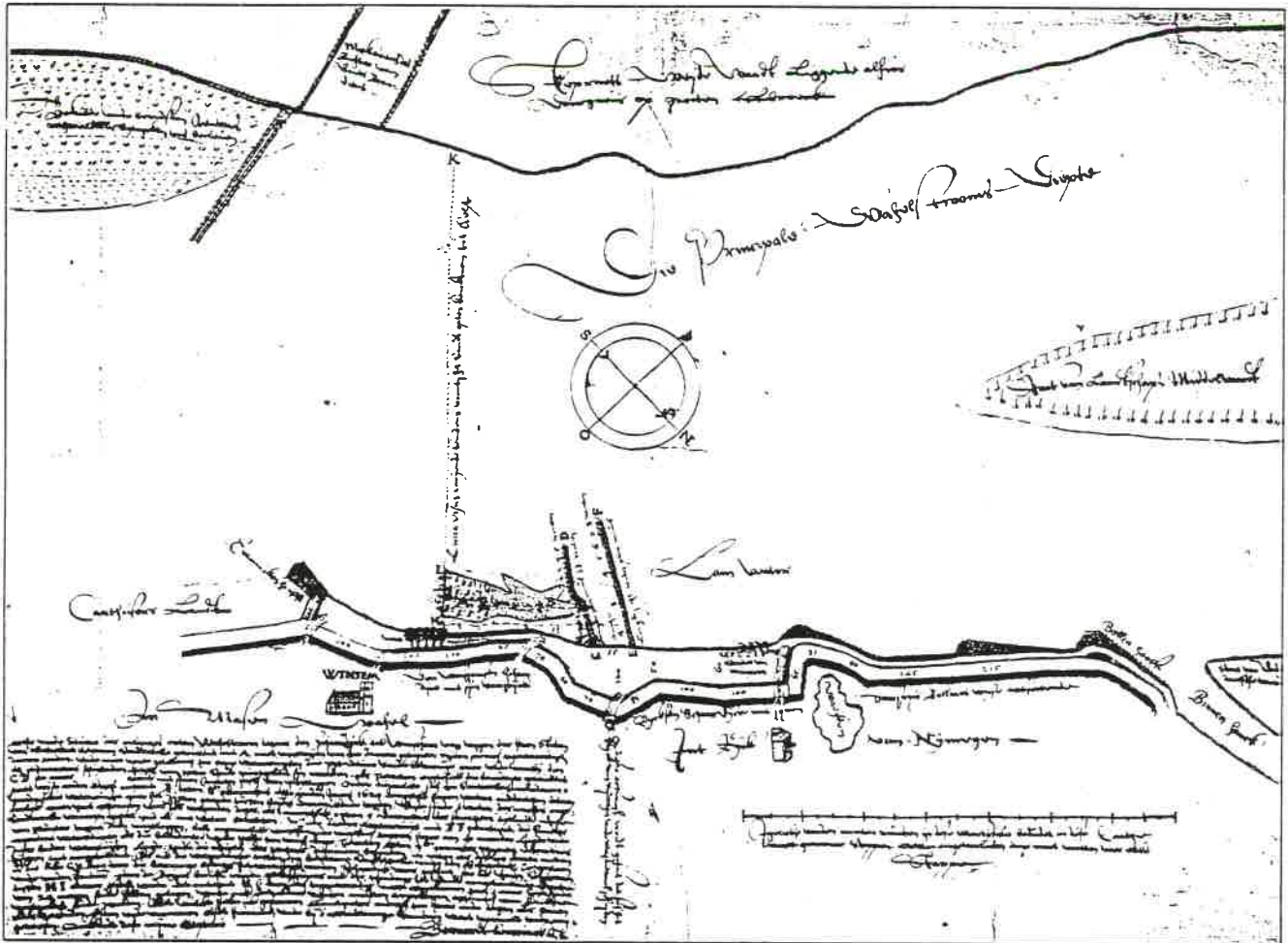
De oudst gevonden kaart¹ van de Winssense Waard stamt uit 1607 (kaart 9; noord is beneden; de Waal stroomt van links naar rechts). Aan de bochten in de dijk is te herleiden, dat het hier om het stuk dijk bij de Molenkolk gaat. De doorbraak is kennelijk nog niet lang geleden gebeurd. De herstelde dijk loopt door de kolk heen. Buitendijks is een stukje van een oude strang te zien. Tussen strang en de Waal ligt een eiland, gedeeltelijk met struiken en bomen begroeid. Een *rijswaard* dus. Rechts op de kaart is te zien, dat de Waal daar aan de voet van de dijk loopt. Een dijk waar de rivier vlak langs loopt heet een *schaardijk*. Een kleine schuine krib is aangelegd om de stroom van de voet van de schaadijk af te leiden.

Op kaart 10 is weergegeven waar deze strang met eiland in de ondergrond te vinden zijn. Daarbij is de oeverlijn van kaart 12 aangehouden, omdat een deel van de rijswaard op kaart 9 later geërodeerd blijkt te zijn.

Kaart 10

De ligging van strang en rijswaard van 1607 in de huidige Winssense waard





Kaart 11

Rechts op deze kaart uit 1620 ligt een rondom met houtgewas begroeide middelwaard in de rivier

Aangezien de rivier hier na die tijd niet meer gelopen heeft, mag worden aangenomen, dat deze strang en rijswaard nog in de ondergrond aanwezig zijn.

DE MIDDELWAARD 1620 - 1654

Op een kaart² uit 1620 is de situatie bij de Winssense schaaldijk weer gegeven. Rechts op de kaart is de strang van 1607 te zien als "binnen hanck". Midden in de Waal, rechts op de tekening, is een Middelwaard³ ontstaan, die rondom begroeid is met houtgewas. De Waal stroomt nog aan weerszijden langs de middelwaard. Op een volgende kaart⁴, uit 1654, staat het eiland met grote nauwkeurigheid weergege-

Kaart 12

Des Landschaps Middelwaardt bij Winssen, 1654. Een zandprop heeft de bovenstroomse kant van de strang afgesloten.

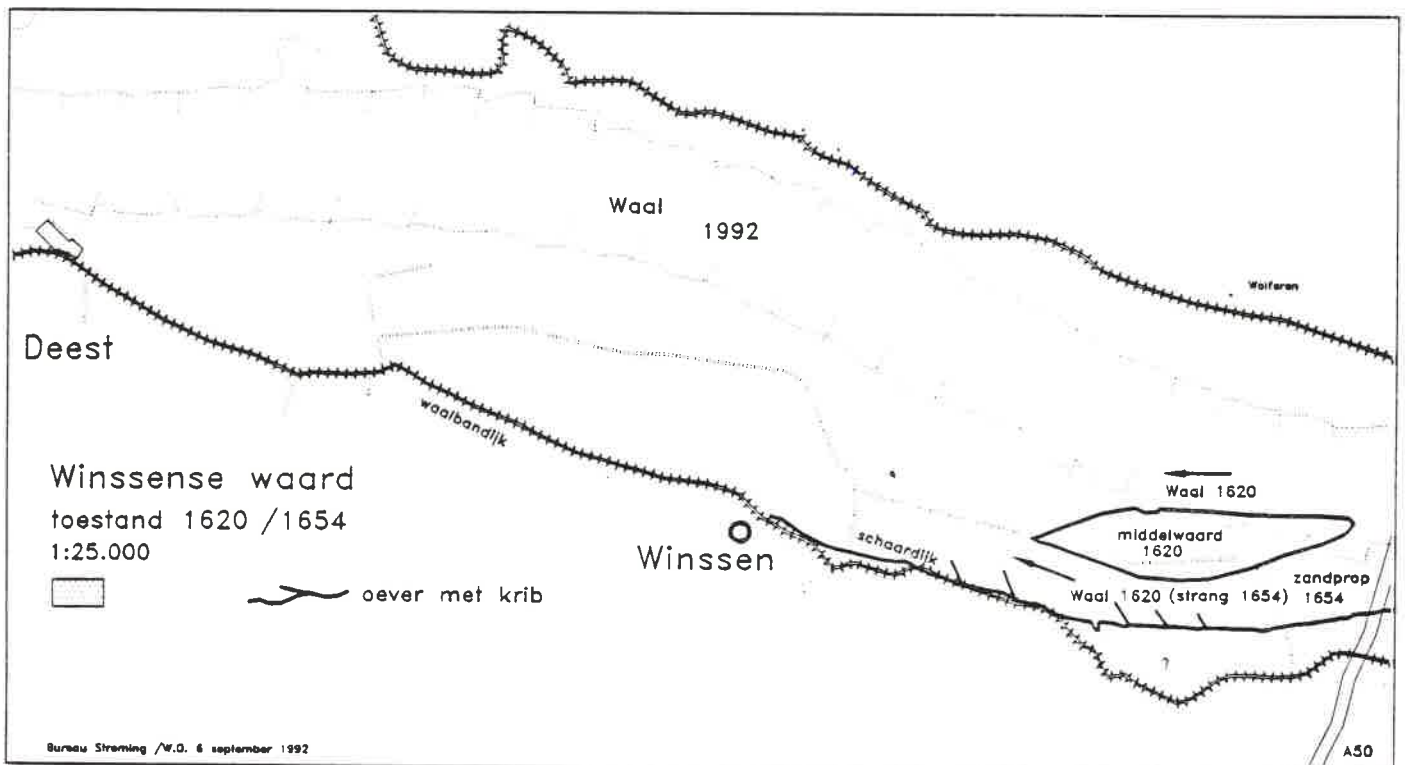


ven. De strang tussen het eiland en de dijk is aan het verzanden. In de bovenstroomse (linkse) kant van de strang heeft de rivier een zandprop afgezet, die begroeid geraakt is met bos. De benedenstroomse kant is nog open.

De ligging van strang en middelwaard zijn in kaart 13 geprojecteerd op de huidige situatie. Het linker deel van de middelwaard van 1620 is nog steeds te vinden in de Winssense waard. In de ondergrond moet ook de strang terug te vinden zijn. Verwacht mag worden, dat de bovenstroomse kant van de oude strang deels is opgevuld met zand, waarop zich later een kleilaag heeft afgezet. Het stroomafwaartse deel van de strang zal vrijwel geheel met klei zijn opgevuld. Het verloop van de dichtslibbing wordt hieronder nader beschreven.

Kaart 13

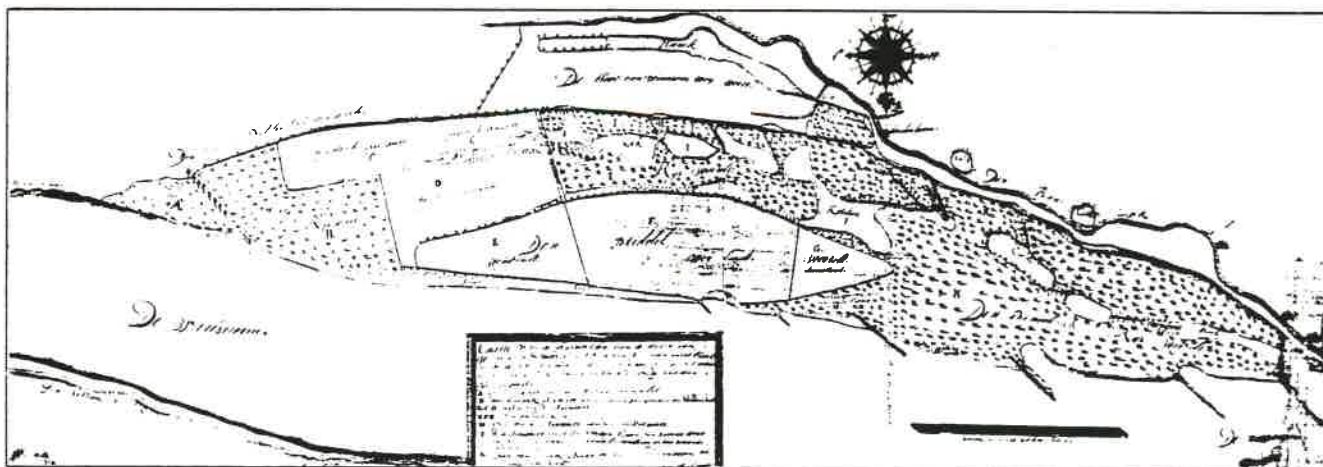
Ligging van de middelwaard en strang van 1620 en de zandprop van 1654 op een kaart van de huidige situatie



DE AANWAS VAN 1688

Ten behoeve van de grondbelasting was het nodig om de steeds veranderende situatie in de uiterwaarden regelmatig vast te leggen. Omstreeks 1688 werd een hele reeks uiterwaarden in kaart gebracht. Daarop staat het grondgebruik als weiland, water, moeras, bouwland of rijswaard soms in groot detail afgebeeld. De kaarten zijn erg nauwkeurig en kunnen zonder meer over moderne kaarten heen geprojecteerd worden.

Op de kaart van de Winssense waard⁵ van 1688 (kaart 14) valt de middelwaard nog duidelijk te herkennen. Het begin van de voormalige strang, rechts op de kaart, aan de stroomopwaartse kant, is nu volledig dichtgezand en in gebruik als grasland. De kaart geeft aan: "uijtergeroijde rijswaert", ofwel 'gerooid wilgenbos'. Op de rand van dit



Kaart 14

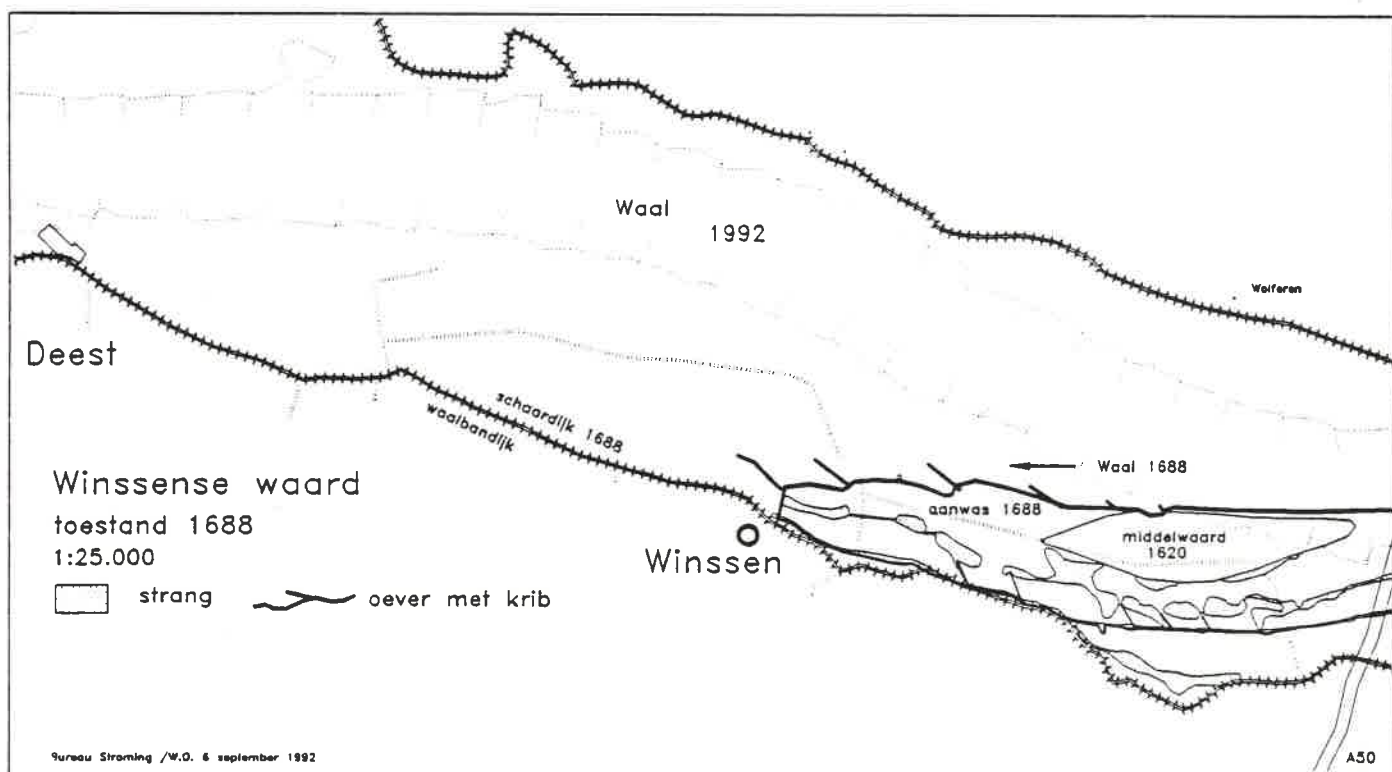
Middelwaard en strang in de
Winssense waard in 1688.
De voormalige strang bestaat uit
poeltjes in wilgenbos

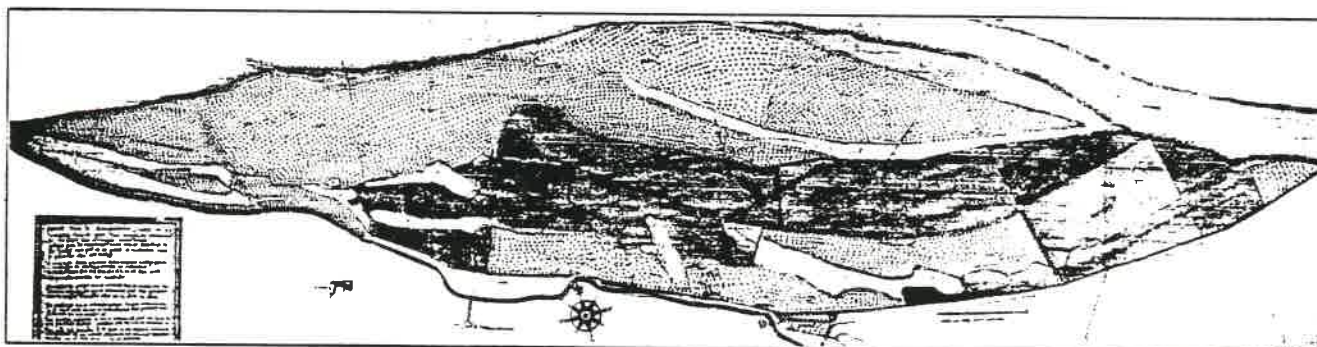
Kaart 15

In 1688 blijkt aan de oostkant
van de waard nieuw land
aangewassen te zijn

perceel ligt een nieuwe "uijtwegh", die het eiland van 1607 verbindt met de middelwaard van 1620. Meer stroomafwaarts rest van de voormalige strang nog slechts een reeks poeltjes. Grote stukken van de vroegere strang zijn begroeid met rijshout, met wilgenbos dus. Stroomafwaarts van de middelwaard is een flink stuk land aangewassen, bijna tot aan de kerk van Winssen. De Winssense waard begint zich te vormen. Maar voorbij de kerk van Winssen is de dijk nog steeds schaaldijk, met de rivier vlak onder de dijk.

Op kaart 15 staat de situatie van 1688 weergegeven op de huidige ondergrond.



**Kaart 16**

De Winssense waard in 1723. Een tweede middelwaard is aangegroeid. Deze is later weer door de rivier weggespoeld

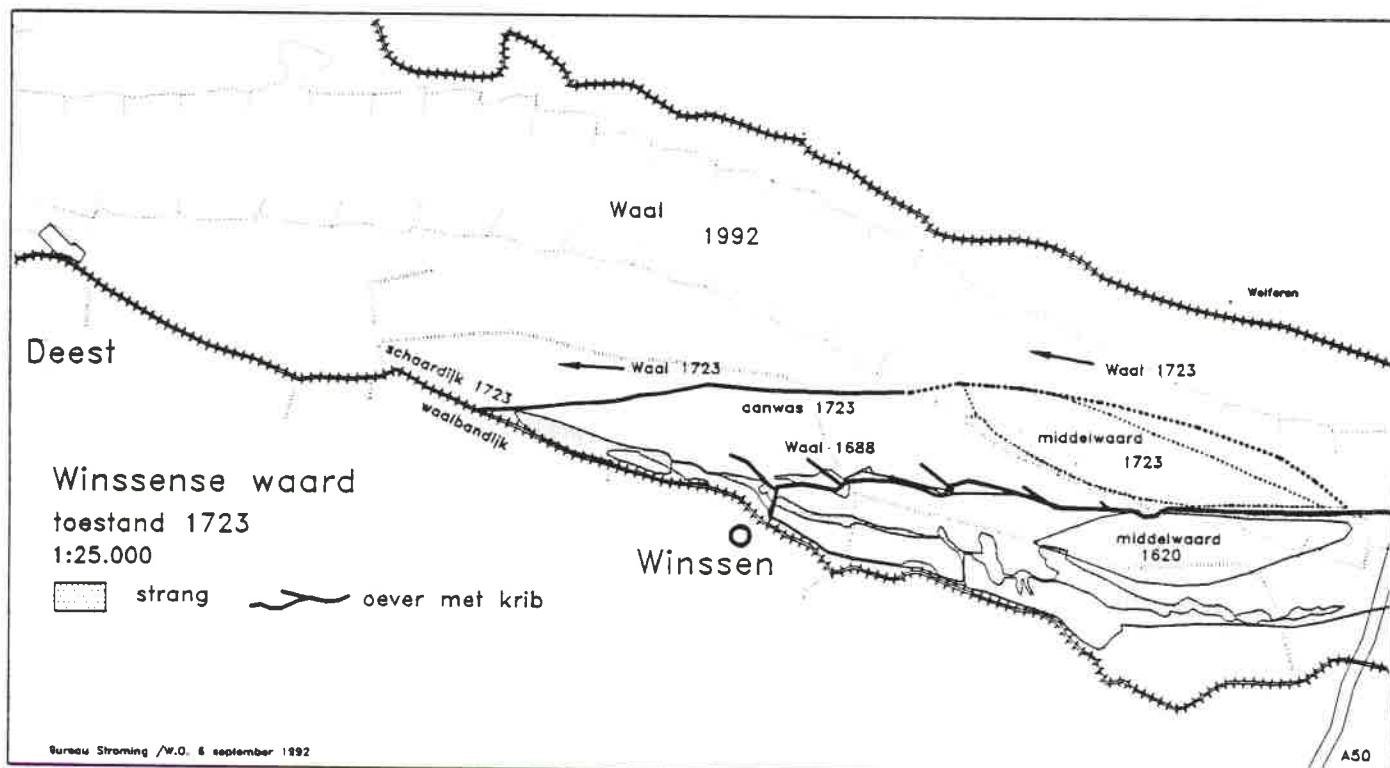
DE TWEEDE MIDDELWAARD: 1723

Nog maar 35 jaar later was de situatie in de Winssense waard alweer sterk veranderd. De gedeputeerden van het kwartier van Nijmegen lieten opnieuw een serie kaarten van de uiterwaarden maken. Op de Winssense kaart is aan de rivierzijde een nieuwe aanwas, een nieuwe middelwaard te zien (kaart 16). De oude middelwaard van 1620 is hiervan nog door een smalle strang gescheiden. Op kaart 17, de kaart van 1723 geprojecteerd op de kaart van 1992, is te zien, dat deze tweede middelwaard inmiddels weer door de rivier is teruggenomen. Wat rest van deze periode is een nieuwe aanwas aan de stroomafwaartse kant van de oever van 1688.

De oude strang is weer verder dichtgeslibd. Ook ter hoogte van de nieuwe aanwas is de strang als een smal water aan de voet van de dijk terug te vinden. Opmerkelijk is, dat ook langs de oever van 1688 een paar poeltjes liggen, als een soort zijstrang.

Kart 17

Op de kaart van 1723 blijkt de waard in westelijke richting opnieuw aangegroeid te zijn. De strang aan de voet van de dijk is ook verlengd

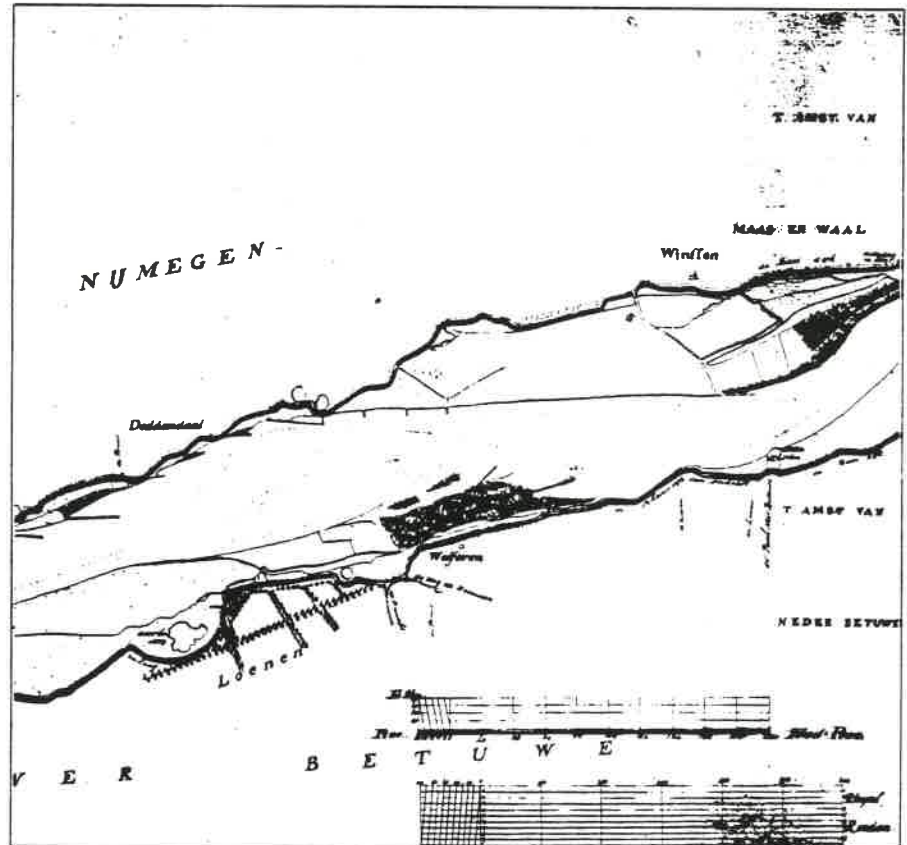


DE WINSSENSE DAMMEN

In 1810 werd er een kaart⁷ gemaakt van de Waal van Nijmegen tot en met Winssen. (Kaart 18) Op deze kaart is met een stippellijn de stroomdraad van de Waal aangegeven. Bij Ewijk ligt een schaaldijk: de rivier stroomt er vlak onder de dijk langs. Vervolgens schuurt de Waal langs de oever van de Winssense waard en een deel van de stroom botst bijna aan de Betuwse kant tegen de schaaldijk onder Andelst. Het eerste stuk van de Winssense Waard heeft een eroderende oever. Het laatste stuk groeit nog verder aan.

Kaart 18

Op de kaart van 1810 zijn de dammen in de Winssense waard, die in de loop van de achttiende eeuw werden aangelegd, duidelijk te zien.



Dit is de vroegst gevonden kaart waarop de dammen te zien zijn, die de Winssense waard aan twee zijden afsluiten. Aan stroomopwaartse kant loopt de dam van de dijk naar het eiland, ongeveer over het tracé van de "nieuwe uijtwegh" op de kaart van 1688. Waarschijnlijk is de dam geleidelijk ontstaan door deze route steeds verder op te hogen⁸. Op de rivierkaart⁹ van 1830 (19) is aan de westzijde de "Winssensche kade" te zien. Uit de dateringskaart 20 komt naar voren, dat deze dam voor het eerste stuk parallel aan de oude oever van 1723 is aangelegd. Van de voormalige Waal op die plek rest nog een poeltje. Om de dieper gelegen strang aan de voet van de dijk over te steken wijkt de dam sterk naar het oosten terug, om tenslotte aan te sluiten op de banddijk.

Aangenomen mag worden, dat deze twee dammen die de Winssense Waard beschermen tegen kleine hoogwaters, in de loop van de achttiende eeuw zijn aangelegd. De gevolgen van de aanleg van dammen zijn in het vorige hoofdstuk aangegeven. Ook de Winssense waard raakte in korte tijd vol met klei.

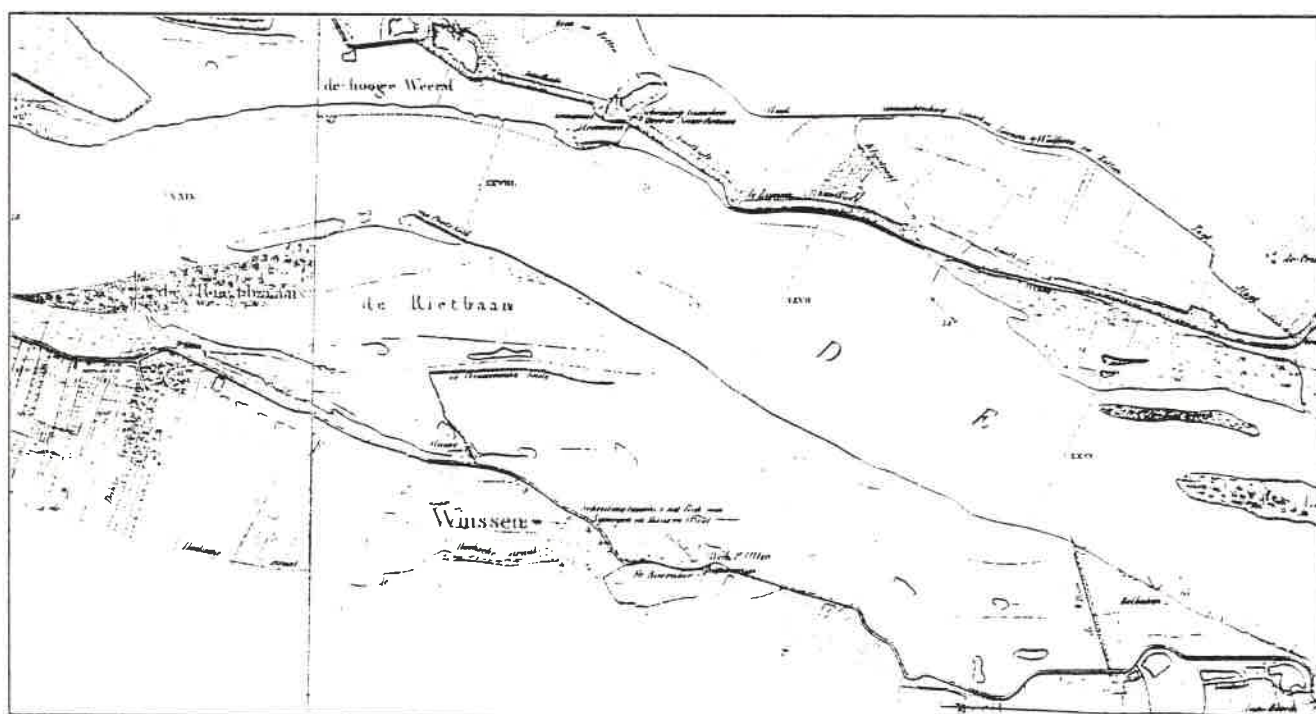
Op de kaarten van 1810 en 1830 (18 en 19) is het effect van de opslibbing goed te zien. Van de voormalige strangen, die op de kaarten van 1688 en 1723 nog goed te herkennen waren als reeksen poelen, resten nog slechts enkele poeltjes, die door sloten verbonden zijn. Een dikke kleilaag is in de Winssense waard afgezet. Omdat lager gelegen delen vaker onderlopen en dus meer slib vangen, vervaagt het oorspronkelijke reliëf van de zandige ondergrond steeds meer.

Op kaart 20 is te zien, dat de Winssense waard aan de westzijde in de periode 1723-1810 nog aanzienlijk is aangewassen. Bij Deest ligt nog een stukje schaaldijk. Binnen de dammen zijn de oude strangen onherkenbaar geworden. Buiten de westelijke dam ligt nog een stuk vertakte strang aan de voet van de dijk.

Aan de oostkant van de waard heeft de rivier, die bij Ewijk onder de schaaldijk loopt, een stuk van de middelwaard van 1620 weggeërodeerd.

Kaart 19

Tussen "de dam" en de "Winssense kade" zijn van de oude strangen nog maar enkele poeltjes over, omdat zulke kades als een slibvang werken



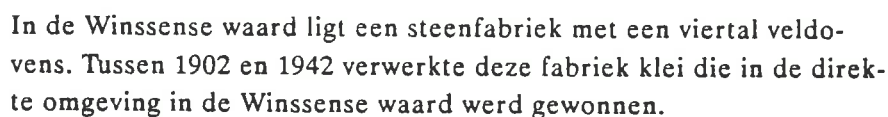
DE LAATSTE AANWAS: 1873

Uit de rivierkaart¹⁰ van 1873 (kaart 21) blijkt dat in die periode de Winssense waard zijn definitieve grootte heeft gekregen. De dijk bij Deest is niet langer een schaaldijk; er loopt alleen nog een open strang aan de voet van de dijk. De oorspronkelijke westelijke dam is als waterkering vervallen en er is meer naar het westen toe een nieuwe dam aangelegd.

De verkleining van de uiterwaarden, die toch al zo sterk was gestimuleerd door de aanleg van de kades, werd dus versterkt door het feit dat er nauwelijks nog zand door de rivier in de uiterwaarden werd afgezet. De natuurlijke processen in de rivier stierven.

Kaart 24

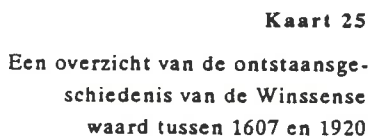
In 1920 waren werken voor de riviernormalisatie uitgevoerd. In de Winssense waard werd klei gewonnen voor de steenfabriek.



2.2 Samenvatting

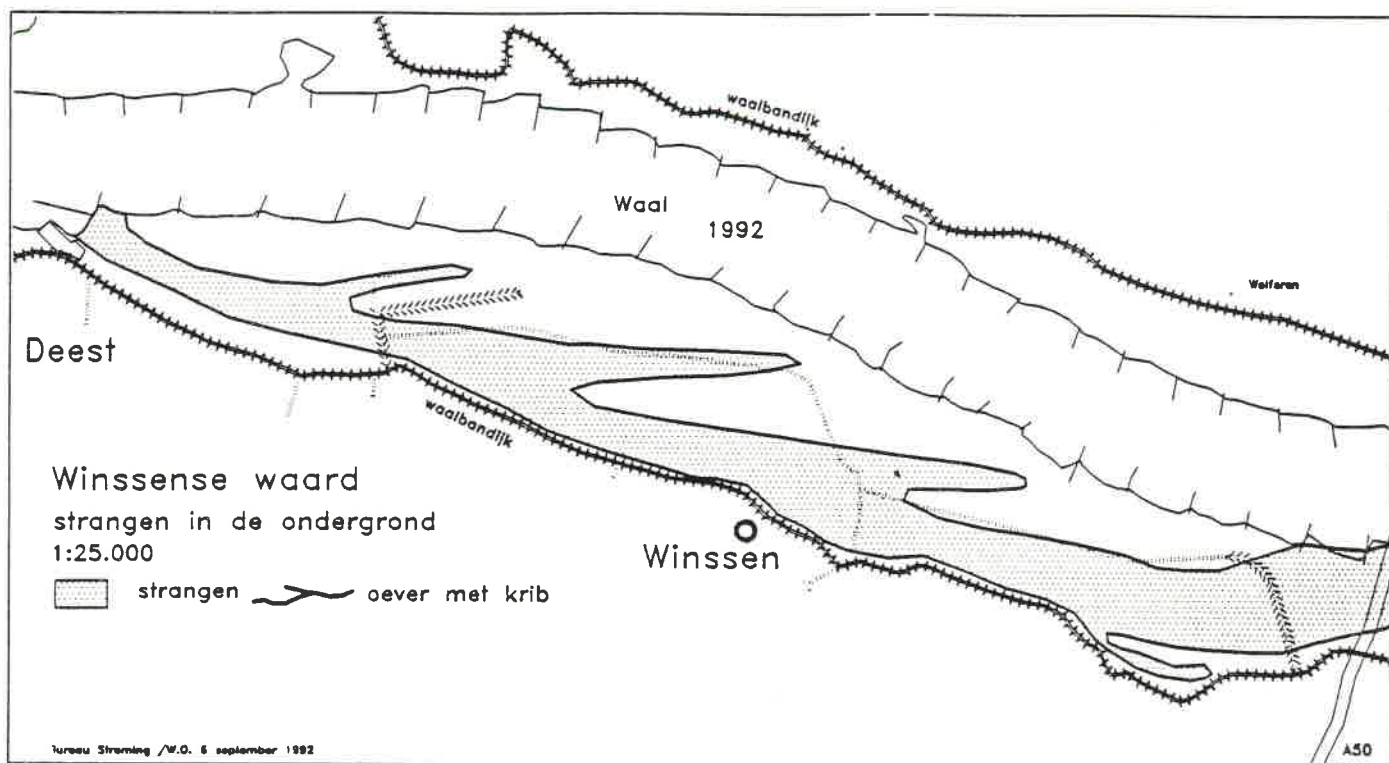
De Winssense waard is in zijn huidige vorm ontstaan tussen 1607 en 1900. Op kaart 25 zijn een aantal fasen in de ontstaansgeschiedenis vastgelegd. In de genoemde periode is de Winssense dijk over de volle lengte schaarlijk geweest. Vanuit het oosten groeide de waard steeds verder aan. Het oudste stuk ligt buitendijks ter hoogte van de

27



Op de oude kaarten is het verloop van het opslibbingsproces redelijk te volgen. Op kaart 26 is de vermoedelijke loop van de strangen in de ondergrond van de waard aangegeven. Boringen moeten de loop nauwkeurig in kaart brengen.

27

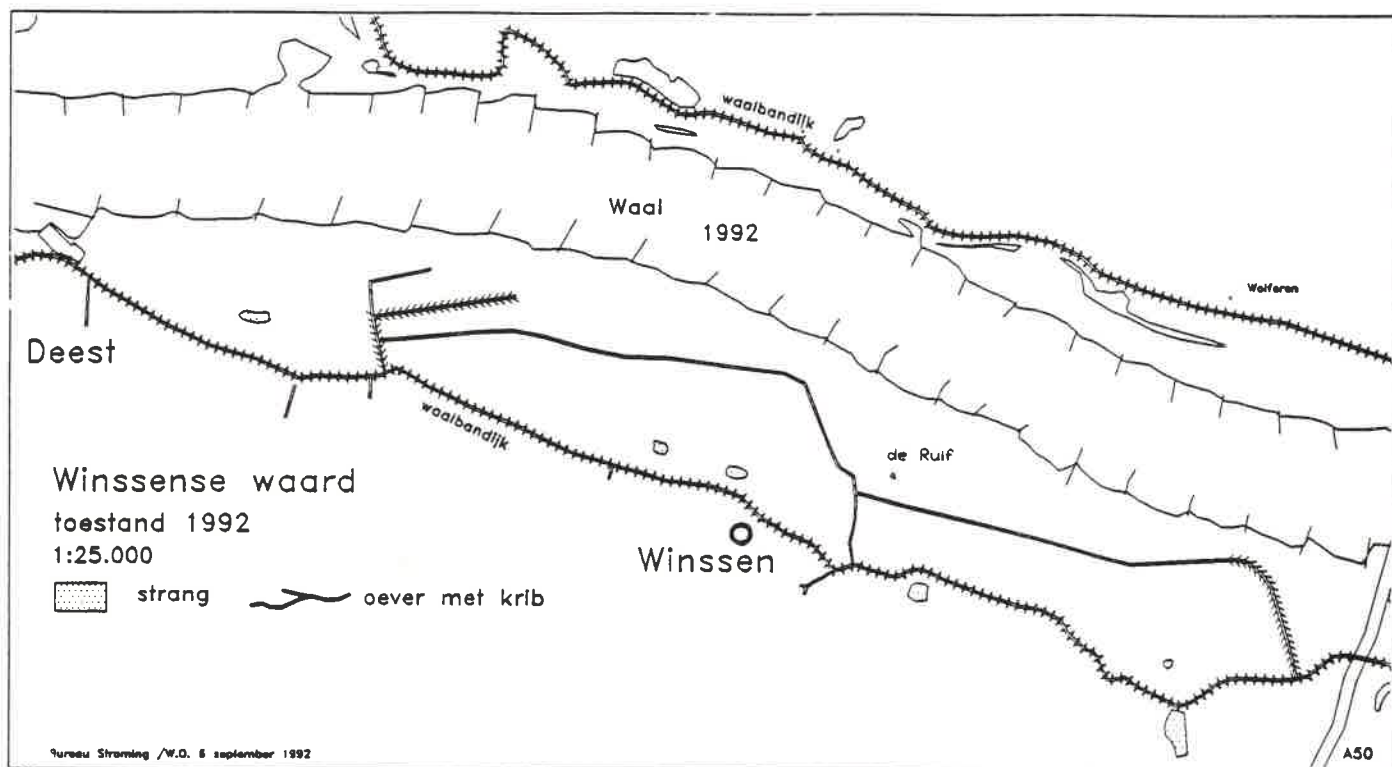


Kaart 26

Indikatie van de ligging van de strangen in de ondergrond van de Winssense waard

2.3 Voetnoten

1. RAG, AKV 386 Kaart van de Rijswaard tussen Winssen en Ewijk, door Bern. Kempinck, 1607. Afb. 9
2. RAG, Rekenkamer 57. Carthe van de situatie des onlangs opten Waalstroom tegens de schaaldijk tot Winssen vanwege der Heren van Gelrelant bevaren sandtwelle. B. Kempinck, 1620. De noordpijl staat verkeerd om. Noord is ongeveer boven, de Waal stroomt van rechts naar links. Kaart 11.
3. Zie ook dezelfde middelwaard op kaart RAG Rekenkamer 58, 1651.
4. RAG, Rekenkamer 139. I. van Geelkerck, de landschapswaard bij Winssen, 1654. Kaart 12.
5. RAG, Gedep. Nijmegen 52. Kaart van de rijswaarden van den heer van Winssen beneden Ewijk, door G. Passavant, 1688. Kaart 14.
6. RAG, Gedep. Nijmegen 53. Kaart van aangewonnen land en rijswaarden van den heer van Winssen tusschen Ewijk en Winssen, door Jacob Couwater, 1723. Kaart 16.
7. Kaart van de rivier de Waal beneden Nijmegen. Gemeete in Slagdmaand 1810 door den ondergeteekende Landmeter bij den Waterstaat F. Beijerinck. RAG Rijkswaterstaat, coll. kaarten 37. Kaart 18
8. Ook op wat eerdere kaarten (ARA VTH 655A 1800, RAG RWS K38 1800) is iets van een dam op deze plek te zien.
9. Rivierkaart 1830, bladen 4 en 5.

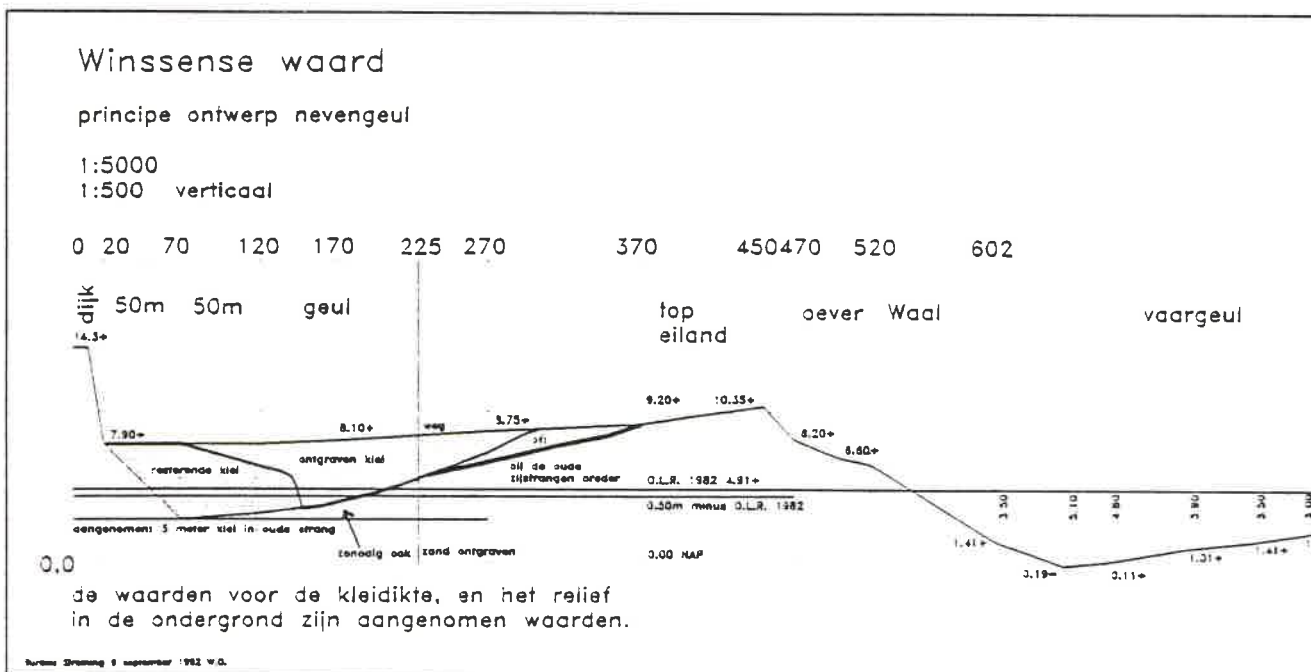
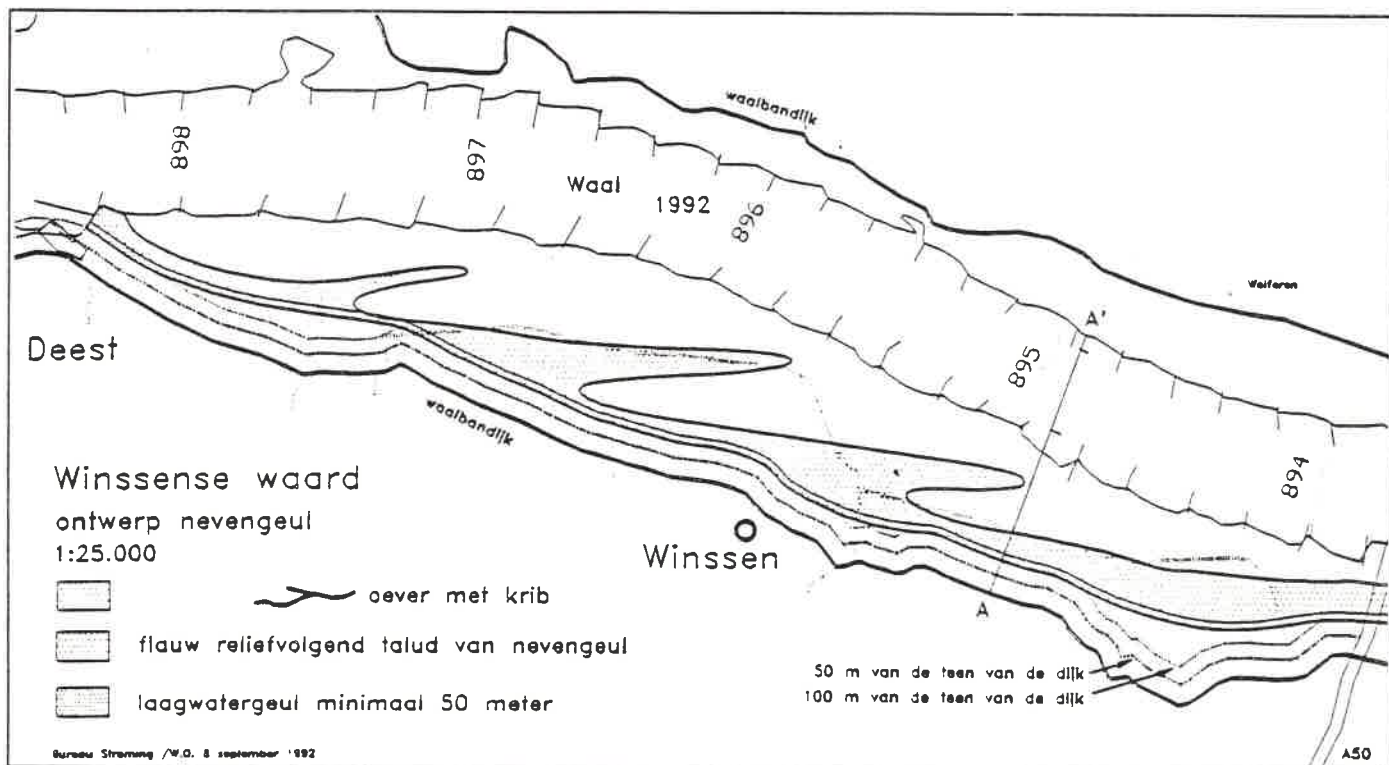


- Kaart 27** 10. Rivierkaart 1873, bladen 4 en 5.
- Situatie 1992** 11. Rivierkaart 1920, bladen 4 en 5.
12. Dr.G.B.Janssen, Kleiwinning langs de Waal. De Winssense waard. Zevenaar 1992 (Bureau Strooming).

Kaart 28

A. principe-ontwerp nevengeul
met reliëfvolgende ontkleining

B. profieltekening



3 Principe-ontwerp nevengeul

Bij het principe-ontwerp (kaart 28 en profiel) voor de nevengeulen langs de rivieren wordt de Winssense waard als voorbeeld gebruikt.

Het principe-ontwerp gaat uit van de volgende punten:

- onderzoek naar de historische morfologie van de Winssense Waard door archiefonderzoek en boringen, zodat een goed beeld van de morfologie onder de kleideken ontstaat.
- een door de dikebeheerder voorgeschreven veiligheidsafstand van 2 x 50 meter + een extra marge van minstens 25 meter van de voet van de dijk. Hier blijft het volledige kleipakket zitten.
- Verwijdering van de dammen in de waard.
- Afgraving van het hele kleipakket in de rest van de waard, zodat het oude reliëf met het eiland, zandige hoogtes langs de rivier en lange nevengeul met zijgeulen evenwijdig aan de dijk weer aan de oppervlakte komt.

Daarbij komt een asymmetrich profiel vrij voor de nieuwe nevengeul. Het diepste punt ligt in de voormalige bedding, tegen het gehandhaafde kleipakket aan. De zuidkant van de nevengeul heeft een steilrand, van klei. De noordkant van de nevengeul kent een zeer langzaam oplopend zandig talud. Het hele profiel is dus driehoekig, met de punt naar beneden.

- Op het diepste punt van dit driehoekige profiel wordt de nieuwe nevengeul aangelegd met een bodemdiepte van 1 meter minus de laagste waterstanden in de Waal.
- Langs de nevengeul mag zachthoutooibos tot ontwikkeling komen
- Op de zandige ondergrond van de Winssense waard komt onder invloed van zeer extensieve begrazing een mozaiek van bloemrijke graslanden en bosjes tot stand.

Levende rivieren

**Rivierkundige aspecten van op grote schaal
meestromende nevengeulen**

**Hermjan Barneveld
Waterloopkundig Laboratorium**

7 NOVEMBER 1992

studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds

SYMBOLENLIJST

B	Breedte geul	[m]
b	exponent in sedimenttransportvergelijking	[-]
C	Chézy coëfficiënt	[m ^{0.5} /s]
D₅₀	Korrel diameter waarvan de diameter door 50% van de korrels wordt onderschreden	[m]
G	verhouding ongestoorde rivierafvoer - afvoer door hoofdgeul	[-]
h	waterdiepte	[m]
i	waterspiegelverhang	[-]
i_b	bodemverhang	[-]
k_N	ruwheidswaarde van Nikuradse	[m]
m	coëfficiënt in sedimenttransportvergelijking	
n	Ruwheidswaarde van Manning	[m ^{-1/3} s]
p	percentage van het totale sedimentaanbod dat naar de nevengeul gaat	[-]
Q	Afvoer	[m ³ /s]
r	coëfficiënt die de sedimentverdeling bepaald	[-]
S	Sedimenttransport	[m ³ /s]
S_{in4}	Sedimentaandeel hoofdgeul	[m ³ /s]
z	bodemligging ten opzichte van referentie	[-]
Δz_u	gemiddelde bodemligging uiterwaard ten opzichte van referentie	[-]
Δz_u	ontgravingsdiepte uiterwaard	[m]

Inhoud

1	Doel en opzet van het onderzoek	4
2	Beschrijving voorbeeldlokatie en geulkenarakteristieken	6
3	Rivierkundige aspecten	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Morfologisch computerprogramma	9
3.3	In onderzoek gevarieerde parameters	12
3.4	Constante afvoer	14
3.4.1	SEDIMENTVERDELING	14
3.4.2	TOPBREEDTE NEVENGEUL	15
3.4.3	HYDRAULISCHE RUWHEID	16
3.4.4	LENGTE VAN DE NEVENGEUL	16
3.4.5	VERSMALLING HOOFDGEUL	16
3.5	Afvoerregiem	17
3.5.1	HET REGIEM	17
3.5.2	SEDIMENTVERDELING	18
3.5.3	TOPBREEDTE NEVENGEUL	19
3.5.4	HYDRAULISCHE RUWHEID	20
3.5.5	VERSMALLING HOOFDGEUL	20
3.6	Nevengeulen op grote schaal	21
3.6.1	COMBINATIES MET ANDERE RIVIERKUNDIGE MAATREGELEN	21
3.7	Conclusies	22
4	Maatgevende Hoogwaterstanden	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Nevengeulen	25
4.3	Afgraven uiterwaarden	25

5	Overige aspecten van nevengeulen	27
5.1	Oevererosie langs de nevengeul	27
5.2	Sedimentinstroming in de nevengeul	27
5.3	Afstemming binnen het Nederlandse rivierengebied	28
6	Conclusies en aanbevelingen	29
6.1	Conclusies	29
6.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	30
7	Literatuur	31

Inleiding

De aanleg van meestromende nevengeulen zal hoogstwaarschijnlijk een belangrijke bijdrage leveren aan het ecologisch herstel van de Nederlandse rivieren. Het groeiende besef hiervan uit zich in de diverse studies die de laatste jaren zijn uitgevoerd. Een overzicht hiervan wordt gegeven door De Haas (1991). Het doel van de studies is om te onderzoeken in hoeverre het toepassen van meestromende nevengeulen mogelijk in relatie tot andere belangen in het rivierengebied. Hierbij is het streefbeeld, meestromende nevengeulen langs grote riviertrajecten.

De huidige studie betreft een oriënterend onderzoek naar de hydraulische en morfologische consequenties van meestromende nevengeulen. Deze hydraulische en morfologische consequenties zijn uiteraard belangrijk, aangezien de rivieren naast de natuurfunctie, diverse andere functies vervullen. Bijvoorbeeld de invloed van nevengeulen op de beschikbare waterdiepten in de hoofdgeul is van groot belang voor de scheepvaart.

Het doel van de studie is omschreven in hoofdstuk 1. In hoofdstuk 3 wordt aandacht besteed aan de hydraulische en morfologische consequenties van een denkbeeldige nevengeul langs de Waal. De voorbeeldlocatie is in het kort beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 4 en 5 komen andere aspecten van nevengeulen aan de orde zoals de invloed op de Maatgevend Hoogwaterstanden (MHW-standen). Hoofdstuk 6 tenslotte, sluit af met de conclusies en de aanbevelingen voor toekomstig onderzoek.

1 Doel en opzet van het onderzoek

Doel van het onderzoek is om een antwoord te geven op de vraag onder welke condities het toepassen van (meestromende) nevengeulen in de uiterwaarden van de Nederlandse rivieren haalbaar is in relatie tot de vele functies van de rivier.

Het rivierkundig onderzoek naar het op grote schaal toepassen van meestromende nevengeulen in uiterwaarden heeft derhalve betrekking op het onderzoek naar het gedrag in de tijd van:

- a) de nevengeul(en); en
- b) de hoofdgeul.

Het onderzoek naar het gedrag van nevengeulen in uiterwaarden is gericht op het vinden van antwoorden op de volgende vragen:

- 1) Welke waterdiepten, afvoeren en (gemiddelde) stroomsnelheden kunnen worden verwacht in meestromende nevengeulen?
- 2) Hoe groot is het gevaar voor verzanding van de nevengeul? Kan sterke verzanding worden voorkomen?
Enige aanzanding in de nevengeul kan worden geaccepteerd, mits het onderhoud nodig om de nevengeul stroomvoerend te houden niet al te frequent moet plaats vinden. In de huidige studie is er van uitgegaan dat onderhoud niet vaker dan eens in de 10 jaar wordt uitgevoerd.
- 3) Bestaat er gevaar voor uitschuring en sterk meanderen van de nevengeul?
- 4) Kunnen nevengeulen een substantiële verlaging van de MHW-standen (Maatgevend HoogWater Standen) veroorzaken en zodoende een bijdrage leveren aan een bijstelling van het dijkverzwarringsprogramma?

Voor dit deel van het onderzoek zijn de volgende punten van belang:

- a) de beschikbare bodemverhagen in de uiterwaarden;
- b) gewenste begroeiing en zogenaamde "snag" (dood en levend hout in de nevengeul) als gevolg waarvan de hydraulische ruwheid van de nevengeul zal toenemen en de afvoercapaciteit zal afnemen;
- c) het dynamisch karakter van de rivier, waardoor ook de waterstanden in de nevengeul sterk kunnen variëren;

- d) de hoogteligging van hoofdgeul en uiterwaard;
- e) de dimensies van de nevengeulen, zijnde breedte, diepte en verhang;
- f) de lokatiekeuze van het inlaatpunt, de dimensies van de nevengeul en het sedimenttransport in de hoofdgeul.

Voor de hoofdgeul is het van belang dat de positieve gevolgen van het toepassen van meestromende nevengeul worden gemaximaliseerd en de negatieve gevolgen worden geminimaliseerd. Mogelijke positieve gevolgen van meestromende nevengeulen zijn bijvoorbeeld:

- 1) Beïnvloeding van de autonome ontwikkeling van de Waal. Door deze autonome ontwikkeling daalt de rivierbodem met 0,01 à 0,02 meter per jaar. Door het onttrekken van sedimentarm water aan de hoofdgeul neemt de sedimenttransportcapaciteit van de hoofdgeul af. Hierdoor kan de huidige bodemdaling worden gereduceerd. Combinaties met rivierkundige maatregelen in het zomerbed van de rivier zijn mogelijk.
- 2) Stimuleren van een evenwichtige afvoerverdeling over zomerbed en winterbed. In de huidige situatie van de Waal zijn lokaties aan te wijzen waar bij hoge rivierafvoeren een relatief groot deel van de afvoer via het winterbed gaat. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van ontgrondingen in het winterbed. In het zomerbed vindt op dergelijke punten aanzanding plaats als gevolg van de lokale reductie van de transportcapaciteit van sediment. Met een evenwichtige afvoerverdeling over zomer- en winterbed kunnen lokale morfologische veranderingen worden voorkomen.

Onttrekking van water aan de hoofdgeul heeft (directe) gevolgen voor de waterstand, de waterdiepten, de stroomsnelheden, de bodemligging in de hoofdgeul (zomerbed) en daarmee voor de vaargeulbreedte. In het onderzoek is aandacht besteed aan rivierkundige maatregelen waarmee de negatieve gevolgen van nevengeulen, zoals verondieping van de vaargeul, kunnen worden beperkt of opgeheven.

Voor beantwoording van de in deze paragraaf gestelde vragen is gebruik gemaakt van een computerprogramma waarin een riviersysteem met een nevengeul wordt beschouwd. De hydraulische en morfologische consequenties van meestromende nevengeulen zijn geanalyseerd op basis van de berekeningsresultaten. In de berekeningen zijn parameters als de hydraulische ruwheid van de nevengeul, de geuldimensies, de sedimentverdeling op het splitsingspunt, de afvoerverdeling en de rivierafvoeren gevarieerd.

2 Beschrijving voorbeeldlokatie en geulkaracteristieken

Voor het onderzoek naar de rivierkundige consequenties van meestromende nevengeulen is als voorbeeldlokatie langs de Waal de Winssense Waard gekozen (kmr 893-898). Voor deze lokatie worden de volgende gemiddelde hydraulische parameters en gebiedskenmerken representatief geacht:

1)	Bodemverhang van de Waal:	$1,1 \cdot 10^{-4}$
2)	Gemiddelde bodemhoogte zomerbed:	NAP + 1,2 m
3)	Breedte van het zomerbed (tussen kribben):	260 m
4)	Gemiddelde korreldiameter bodemmateriaal:	$2 \cdot 10^{-3}$ m
5)	Ruwheid van het zomerbed (Chezy-waarde):	$44 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$

Een overzichtskaartje van de voorbeeldlokatie en een conceptueel ontwerp voor het dwarsprofiel van de nevengeul zijn opgenomen in Fig 1.

Voor de nevengeul in de uiterwaard wordt er van uitgegaan dat deze gedurende het gehele jaar watervoerend zal zijn. In eerste instantie is gekozen voor de volgende karakteristieken van de nevengeul (zie ook Fig 1):

- 6) De geul wordt gegraven in het aanwezige kleipakket in de uiterwaard. Aangenomen wordt dat de steiloever bestaat uit klei en dat de bodem zandig is.
- 7) Bij de keuze van de lokatie van de nevengeul is rekening gehouden met de wensen van Rijkswaterstaat. Dit houdt onder andere in dat de teen van de bandijk van de oeverlijn van de geul moet zijn gescheiden door minimaal 50 meter onbegroeid terrein met een bodem van klei. Bovendien dient nog een extra afstand van 50 meter te worden aangehouden met een kleiige ondergrond. Deze strook van 50 meter mag glooiend en begroeid zijn. De dikte van het kleipakket na deze 100 meter dient nog minimaal 0,7 meter dik te zijn.
- 8) Het diepste punt van het dwarsprofiel ligt op OLR 1992 - 1 meter ofwel NAP + 3,8 m. Hierbij staat OLR voor Overeengekomen Laagste Rivierwaterstand. Dit is de rivierwaterstand die jaarlijks gedurende gemiddeld 20 ijsvrije dagen wordt onderschreden. Het verschil tussen de gemiddelde bodemhoogte van het zomerbed en het diepste punt van de nevengeul is dus ca 2,6 meter.

9) OLR 1992 = OLR 1982 - 0,10 meter. Hierbij is uitgegaan van een jaarlijkse bodemdaling op de Waal (autonome ontwikkeling) van 0,01 meter. De afvoer bij OLR (OLA = Overeengekomen Lage Afvoer) is vastgesteld op 984 m³/s bij Lobith. Dit komt overeen met een Waalafvoer van ca 777 m³/s.

10) De nevengeul is geschematiseerd als een driehoekig dwarsprofiel (Fig 1). Een dergelijk profiel vertoont overeenkomsten met natuurlijke bochtprofielen. Het flauwe talud van het geschematiseerde dwarsprofiel heeft een helling tussen ca 1:35 en 1:50. Het steile talud heeft een helling tussen ca 1:5 en 1:8. Door de schematisatie als driehoekig dwarsprofiel zal de afvoer door de nevengeul tijdens hogere Waalafvoeren sterk kunnen toenemen. De wateronttrekking aan het zomerbed tijdens lage afvoeren is beperkt waardoor de waterdiepteverkleining in de rivier wordt beperkt. De breedte van de nevengeul is tijdens de studie gevarieerd.

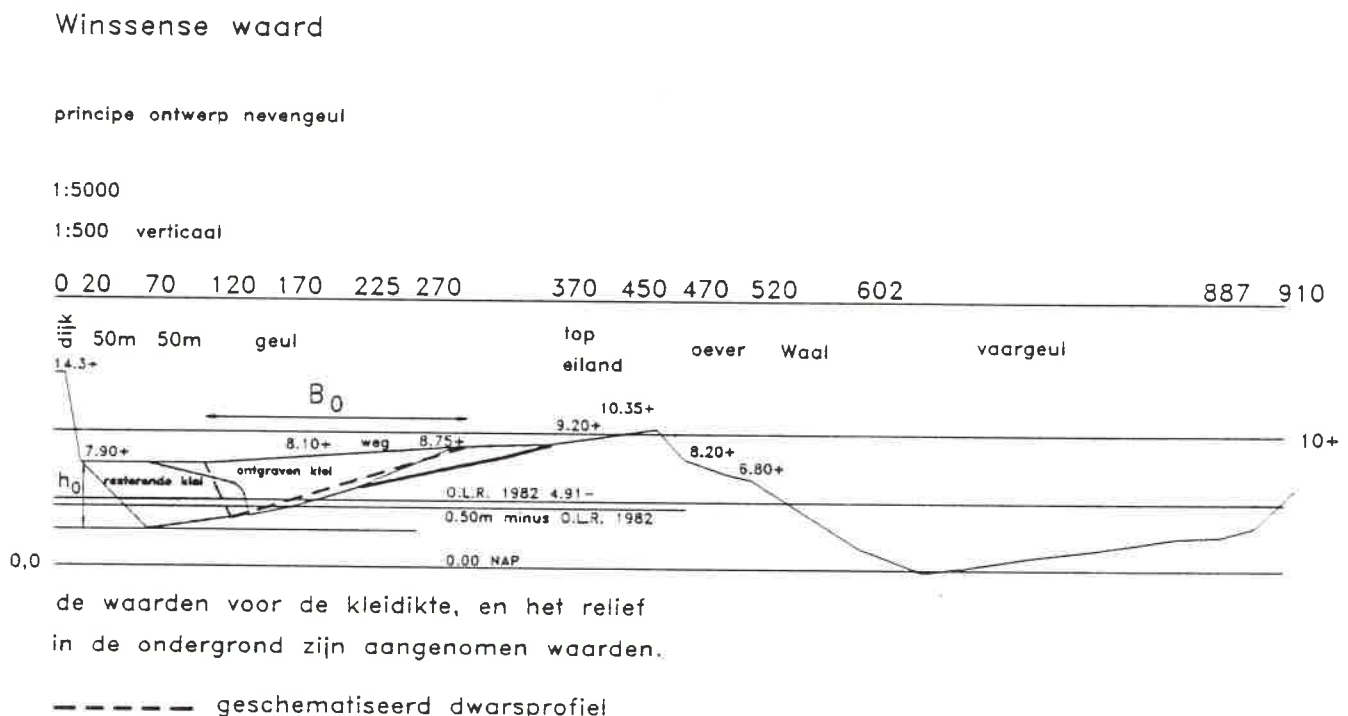
11) In het diepere gedeelte van de nevengeul zal zogenaamde snag aanwezig zijn, aangezien door erosie van de steiloever bomen en struiken in de geul terecht zullen komen.

12) De hydraulische ruwheid in de nevengeul wordt sterk beïnvloed door de hoeveelheid snag (dood en levend hout) in de nevengeul en de variaties in dwars- en langsprofielen. In de studie is de ruwheid tussen reële waarden gevarieerd.

13) De korrelgrootte van het sediment dat vanuit de rivier de hoofdgeul instroomt is gelijk gesteld aan de korrelgrootte van het materiaal dat wordt gevonden in de kribvakken. Voor de D₅₀ is aangehouden 0,5*10⁻³ m.

Fig 1

Plattegrond en dwarsprofiel
voorbeeldlokatie



3 Rivierkundige aspecten

3.1 Inleiding

Door Flokstra (1985) en Schropp (1991) zijn de stabiliteit van een riviersysteem met splitsingspunten onderzocht. Door Flokstra (1987) zijn voor de sedimentverdeling op het splitsingspunt hoofdgeul-nevengeul verschillende relaties onderzocht. De onderzochte relaties betreffen onder andere een gefixeerde sedimentverdeling, een sedimentverdeling evenredig met de waterverdeling, een sedimentverdeling evenredig met de breedteverhouding van de twee takken en een sedimentverdeling evenredig met de momentane evenwichtstransporten in de twee takken.

In het onderzoek werd door middel van een stabiliteitsanalyse aangetoond dat het gedrag van de bodem bij een splitsingspunt instabiel kan zijn. Dit betekent dat op den duur een van de twee parallelle takken door aanzanding zal worden afgesloten. Deze conclusie werd bevestigd door Schropp (1991).

Ook in het huidige onderzoek is gebleken dat een stabiel evenwicht van een systeem van hoofdgeul en nevengeul niet mogelijk is. Dit hoeft geen probleem te zijn zolang het systeem middels periodiek onderhoud kan worden gecorrigeerd. Het is echter niet de bedoeling dat onderhoud al na één of twee jaar na aanleg van de nevengeul nodig is. Uit ecologisch oogpunt moet aan een termijn voor periodiek onderhoud van 8 jaar of meer worden gedacht.

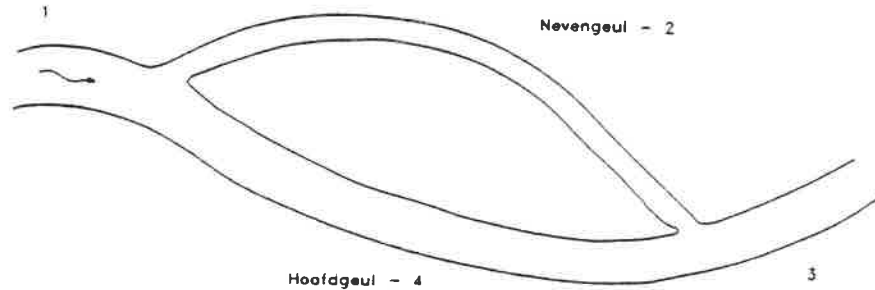
In § 3.2 wordt het in de studie gebruikte computerprogramma toegelicht. In § 3.3 wordt aangegeven welke parameters in de studie zijn gevarieerd en welk bereik van waarden van die parameters zijn beschouwd. In § 3.4 worden de resultaten besproken van de berekeningen met een constante afvoer, terwijl in § 3.5 de resultaten van vergelijkbare berekeningen, maar dan gebruik makend van een afvoerregiem, worden beschouwd.

In § 3.6 worden enige aspecten van het grootschalig toepassen van meestromende nevengeulen besproken. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de belangrijkste conclusies.

3.2 Morfologisch computerprogramma

Het voor de studie gebruikte één-dimensionale computerprogramma simuleert een takkensysteem zoals is aangegeven in Fig 2. Het programma is in eerste instantie opgezet om te berekenen of een parallel lopende geul leidt tot een bochtafsnijding of niet. Voor meer informatie wordt verwezen naar Biglari (1989) en Klaassen et al (1989).

Fig 2
Hoofdgeul en nevengeul



Voor de berekening van de waterbeweging in de takken wordt uitgegaan van stationair uniforme stroming waarvoor de zogenaamde vergelijking van Chézy wordt gebruikt:

$$Q_i = B_i \cdot C_i \cdot h_i^{3/2} \cdot \sqrt{i_i} \quad (1)$$

met: Q_i =	afvoer door tak i	$[m^3/s]$
B_i =	breedte van tak i	$[m]$
C_i =	hydraulische ruwheid van tak i (Chézy-coëfficiënt)	$[m^{0.5}/s]$
h_i =	waterdiepte in tak i	$[m]$
i_i =	waterspiegelverhang in tak i	$[-]$

De sedimentbeweging in de takken en daarmee de morfologische veranderingen worden bepaald door de waterbeweging, het bodemmateriaal, de sedimenttransportvergelijking en de door de gebruiker opgelegde sedimentverdeling op het splitsingspunt.

De sedimentverdeling op het splitsingspunt van de takken 2 en 4 is als volgt gerelateerd aan de waterverdeling op het splitsingspunt:

$$S_{in4} = G_r \cdot S_1$$

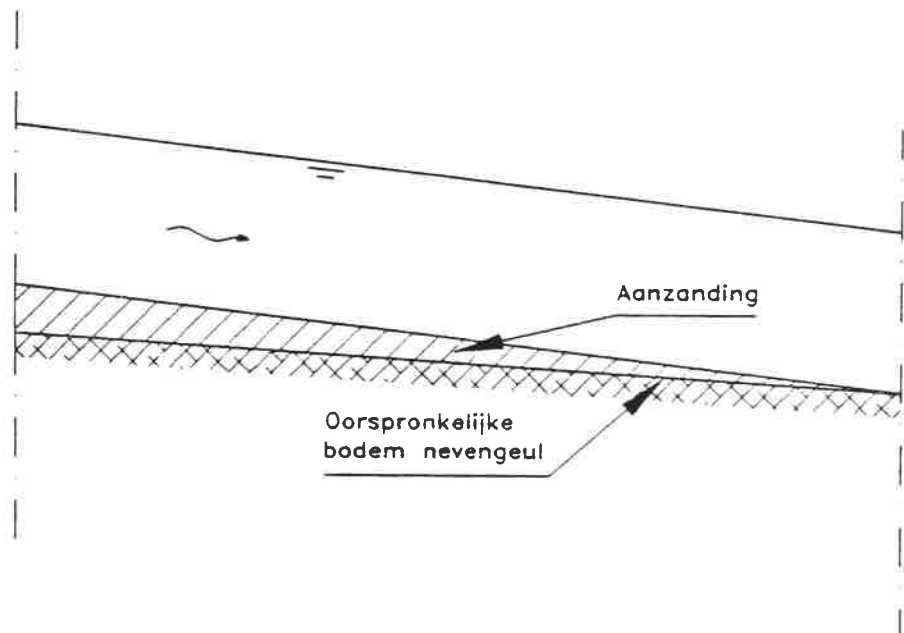
met: S_{in4} =	sedimenthoeveelheid naar hoofdgeul	$[m^3/s]$
G =	verhouding ongestoorde rivierafvoer - afvoer door hoofdgeul	$[m^3/s]$
Q_4 =	$G \cdot Q_1$	
S_1 =	ongestoorde sedimenttransport in rivier	$[m^3/s]$
Q_4 =	afvoer door hoofdgeul t.p.v. nevengeul	$[m^3/s]$
Q_1 =	ongestoorde rivierafvoer	$[m^3/s]$

$r =$ coëfficiënt; $r < 1$ relatief meer sediment naar
de hoofdgeul [-]

Het programma is voor de huidige studie op de volgende punten aangepast:

- 1) In plaats van constante afvoerniveaus kan tevens met een afvoerregiem worden gerekend;
- 2) Aangezien in geval van aanzanding in de nevengeul dit voornamelijk in het bovenstroomse gedeelte van de geul zal plaatsvinden, is de sedimentatie in de geul als een driehoek geschematiseerd zoals aangegeven is in Fig 3. Voor erosie in de nevengeul is een zelfde benadering gehanteerd.

Fig 3
Driehoekige aanzanding
hoofdgeul



- 3) Het dwarsprofiel van de nevengeul is als een driehoek geschematiseerd (zie Fig 1). In het programma is dit profiel omgezet naar een rechthoekig bakprofiel met een gelijke afvoercapaciteit van water en sediment. Voor deze vertaling van driehoekig naar rechthoekig profiel zijn de volgende vergelijkingen gebruikt (zie ook Schropp, 1991):

$$h_1 = (5/b + 2)^{2/(b-3)} \cdot h_0 \quad (3)$$

$$B_1 = 2/5 \cdot (5/(b + 2))^{3/(3-b)} \cdot B_0 \quad (4)$$

met (zie ook Fig 4):

$$h_1 = \text{waterdiepte bakprofiel} \quad [\text{m}]$$

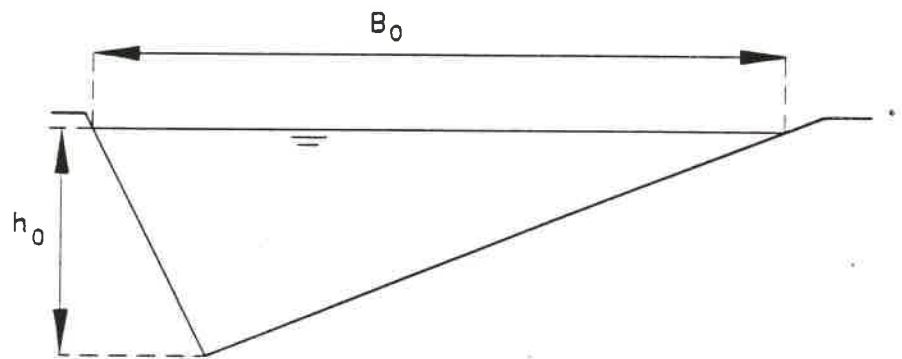
$$h_0 = \text{waterdiepte driehoeksprofiel} \quad [\text{m}]$$

$$B_1 = \text{breedte bakprofiel} \quad [\text{m}]$$

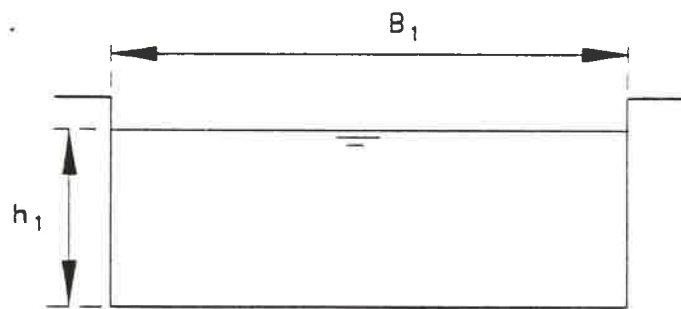
B_0	= breedte driehoeksprofiel op waterlijn	[m]
b	= exponent in sediment-transportvergelijking ($S = m \cdot u^b$). Voor de transportvergelijking van Engelund Hansen geldt $b = 5$	[-]
S	= sedimenttransport	[m ³ /s]
m	= coëfficiënt	

Fig 4

Vertaling driehoeksprofiel
naar bakprofiel
a: driehoeksprofiel



b: bakprofiel



De benodigde invoer voor het programma bestaat uit:

- de breedten van alle takken
- het afvoerregiem in de rivier
- de afmetingen van het korrelmateriaal in alle takken (D_{50})
- het bodemverhang van de rivier
- het verschil tussen bodemligging van hoofdgeul en nevengeul
- de lengten van nevengeul en hoofdgeul
- de coëfficiënt r voor de sedimentverdeling
- een vormcoëfficiënt voor het dwarsprofiel van de nevengeul die de dwarsellingen in de nevengeul bepaald
- de coëfficiënten voor de sedimenttransportvergelijking
- de tijdstap voor de berekeningen
- de eindtijd van de berekening

De uitvoer van het programma geeft voor alle takken de volgende variabelen als functie van de tijd:

- waterdiepten
- bodemliggingen
- afvoeren
- sedimenttoevoer naar de takken
- sedimenttransporten

De gehanteerde schematisatie in het programma is een vereenvoudiging van de werkelijkheid. De berekende aanzandende en eroderende tendensen van een geulensysteem dienen daarom te worden opgevat als een eerste schatting.

3.3 In onderzoek gevarieerde parameters

In het onderzoek zijn onderstaande parameters gevarieerd zoals aangegeven.

a)Waalafvoer:

Voor de berekeningen is in eerste instantie gebruik gemaakt van een constante representatief afvoerniveau. Vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd met een voor de Waal representatief geacht afvoerregiem.

b)Sedimentverdeling op het splitsingspunt hoofdgeul - nevengeul:

De sedimentverdeling wordt gekarakteriseerd door de parameter r . De relatie tussen waterverdeling en sedimentverdeling is aangegeven in vergelijking (2) van § 3.2.

In de huidige studie is aangehouden: $0 < r < 1,5$

c)Hydraulische ruwheid van de nevengeul:

De hydraulische ruwheid van de nevengeul is in de studie bepaald door de ruwheidswaarde van Manning die hier n wordt genoemd. Op basis van literatuurgegevens is het onderstaande bereik van ruwheidswaarden aangehouden.

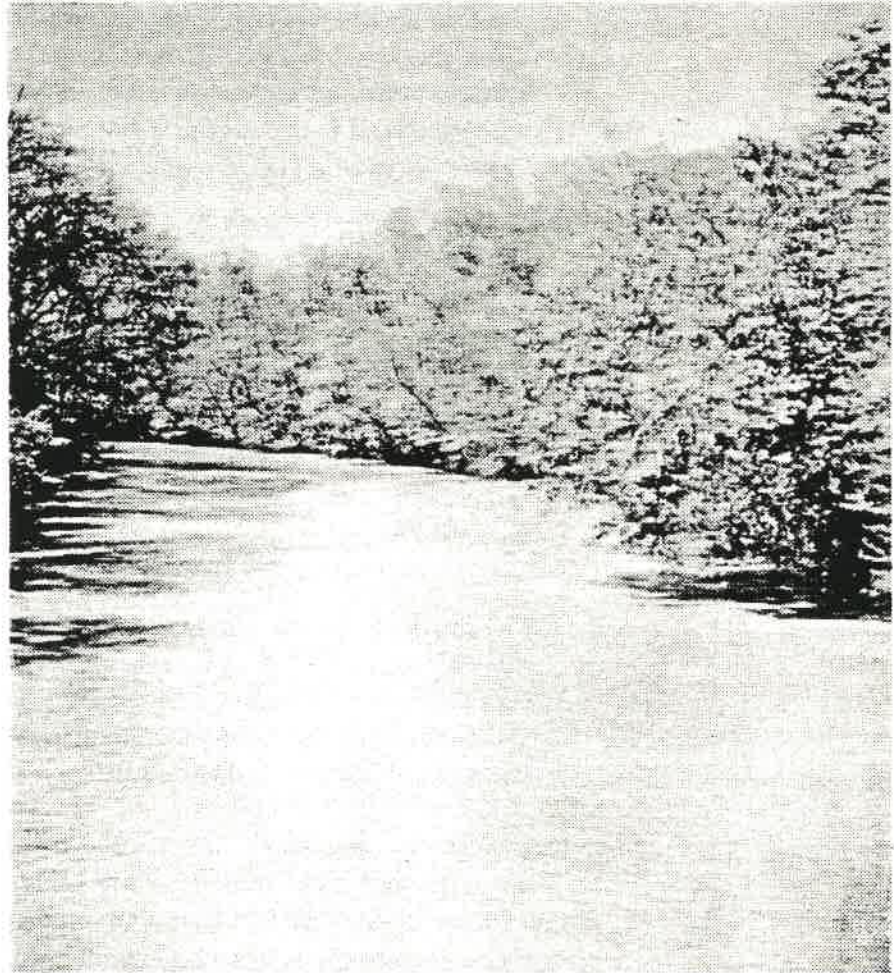
$$0,035 < n < 0,075$$

Hierbij wordt opgemerkt dat een waarde tussen 0,035 en 0,05 waarschijnlijk lijkt voor de hier beschouwde nevengeulen.

Voor de bepaling van het ruwheidsbereik is de volgende literatuur geraadpleegd; Arcement et al (1987), Barnes (1967), Chow (1959), Davis et al (1969) en Henderson (1966).

De foto toont de rivier Middle Oconee in de Verenigde Staten waarvoor een ruwheidswaarde van $n = 0,042$ werd gevonden (Barnes, 1967). De breedte van de rivier is ruim 40 meter en de "bankfull" diepte is ca 5 meter. Het bodemmateriaal bestaat uit zand en grind.

Middle Oconee River
(Verenigde Staten)



Tabel 1 geeft een voorbeeld van ruwheidswaarden voor diverse riviertypen.

Tabel 1 Ruwheidswaarden van Manning voor natuurlijke geulen
(Davis et al, 1969)

TABLE 1. VALUES OF n IN MANNING'S FORMULA FOR NATURAL STREAMS
DETERMINED BY R. E. HORTON*

Natural-stream channel	Condition of stream bed			
	Best	Good	Fair	Bad
1. Clean, straight bank, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Same as 1 but some weeds and stones	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Winding, some pools and shoals, clean	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Same as 3, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Same as 3, some weeds and stones	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Same as 4, stony reaches	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Sluggish river reaches, rather weedy or with very deep pools	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Very weedy reaches	0.075	0.100	0.125	0.150

* CORBETT, DON M., and OTHERS, Stream-gaging Procedure, U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 388.

Voor de parameter n geldt dat hoe groter de waarde, hoe groter de hydraulische ruwheid is. Hoewel in werkelijkheid vaak wordt waargenomen dat de waarde van n afneemt naarmate de waterdiepte toeneemt, is in de huidige studie voor iedere afzonderlijke berekening de waarde van n constant gehouden.

d) Breedte van de nevengeul:

De breedte van de geul ter hoogte van het maaiveld (ca NAP + 8 m) is gekozen tussen de 170 en de 230 meter. Met een waterdiepte op het diepste punt van ca 4,2 meter varieert het maximale doorstroomprofiel tussen 360 en 480 m².

e) Lengte van de nevengeul:

De lengte van de nevengeul kan, afhankelijk van de geometrie van uiterwaard en hoofdgeul, variëren. De lengte van de nevengeul is in deze studie gevarieerd tussen 2/3 en 4/3 van de lengte van de hoofdgeul tussen in- en uitstroompunt.

f) Versmalling van de hoofdgeul in combinatie met een nevengeul:

Voor het gedeelte van de hoofdgeul dat parallel loopt aan de nevengeul is de totale breedte gereduceerd van 260 tot 230 meter. Deze versmalling van de hoofdgeul van 30 meter kan worden gerealiseerd door verlenging van de kribben.

3.4 Constante afvoer

Voor de berekeningen met constante afvoer is gebruik gemaakt van het afvoerniveau van 1660 m³/s. Dit afvoerniveau geeft morfologische gezien dezelfde resultaten als een in de tijd variërende Waalafvoer (Schropp, 1991).

Voor bepaling van het sedimenttransport is gebruik gemaakt van de transportvoorspeller van Engelund en Hansen (1967). De transportvergelijking is zodanig afgeregeld, dat het jaarlijkse sedimenttransport gelijk is aan circa 300.000 m³, de hoeveelheid die overeenkomt met het verwachte jaarlijkse sedimenttransport op de Waal.

In de volgende paragrafen zijn de consequenties van wijziging van de sedimentverdeling, de geulbreedte, de hydraulische ruwheid, de lengte van de nevengeul en de breedte van de hoofdgeul aangegeven.

3.4.1 SEDIMENTVERDELING

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een topbreedte van de nevengeul van 170 meter en een ruwheidswaarde van Manning van 0,05.

Voor de sedimentverdeling wordt er vooralsnog van uitgegaan dat deze onder andere middels (eenvoudige) constructies onder water ter plaatse van de inlaat kan worden beïnvloed. Hierbij kan worden gedacht aan schermen, drempels, kokers, etc. Een literatuuronderzoek naar de mogelijkheden voor het beïnvloeden van de sedimentverde-

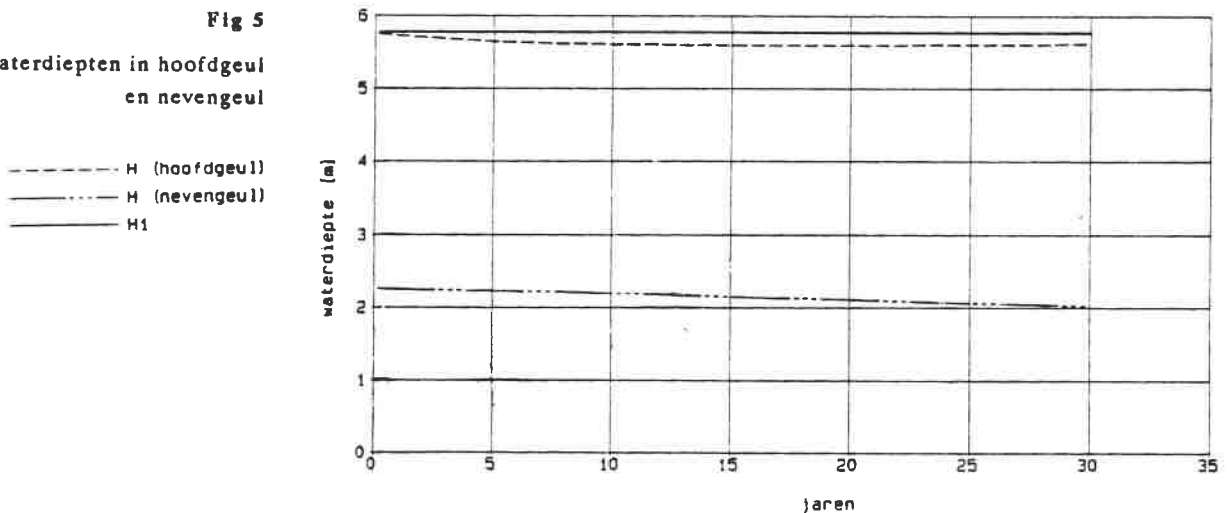
ling op splitsingspunten wordt momenteel door WL uitgevoerd, in opdracht van RWS/RIZA. Hierbij wordt gekeken of de kennis opgebouwd in de irrigatiewereld algemeen kan worden toegepast.

Toename van het sedimenttransport naar de nevengeul leidt tot versnelde aanzanding van de nevengeul. De waarde van r is dus belangrijk.

Na enige proefberekeningen bleek, dat voor $r = 0,4$ uit vergelijking (2) een redelijk stabiele situatie kon worden verkregen. De nevengeul zandt zeer langzaam aan. Na een periode van 10 jaar gaat nog ca 3,5% van het water en 1,5% van het sediment via de nevengeul. De waterdiepte in de hoofdgeul is na 15 jaar gereduceerd met ca 0,19 m. Deze reductie van de waterdiepte wordt voornamelijk veroorzaakt door aanzanding in de hoofdgeul. De autonome ontwikkeling (bodemdaling van 0,01 à 0,02 m/jaar) kan dus in belangrijke mate worden gecompenseerd.

In Fig 5 zijn de rekenresultaten van deze berekening weergegeven voor een periode van 30 jaar. Uit Fig 5 blijkt dat het systeem gedurende lange tijd stabiel zal zijn.

Fig 5
Waterdiepten in hoofdgeul
en nevengeul



3.4.2 TOPBREEDTE NEVENGEUL

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4, een ruwheidswaarde van Manning van 0,05 en een topbreedte van de nevengeul van 230 meter.

Door vergroting van het doorstroomprofiel verloopt het aanzandingsproces van de hoofdgeul iets sneller. De aanzanding in de nevengeul blijft nagenoeg gelijk. Bij een topbreedte van 230 meter zijn de percentages water en sediment door de nevengeul na 10 jaar nog respectievelijk 5% en 2%. De gemiddelde stroomsnelheid in de nevengeul is dan ca 0,3 m/s. Aangezien de aanzanding in de hoofdgeul nog sneller verloopt, wordt de bodemdaling van de Waal omgezet in een bodemstijging.

3.4.3 HYDRAULISCHE RUWHEID

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4 en topbreedte van de nevengeul van 230 m.

Een verhoging van de hydraulische ruwheid van de nevengeul leidt ertoe dat er minder water en sediment naar de nevengeul wordt afgeleid. Desalniettemin veroorzaakt dit een snellere aanzanding van de nevengeul door de lagere gemiddelde stroomsnelheden in de nevengeul in relatie tot het sterk niet lineaire karakter van het sedimenttransport. Voor de geul met een hoge hydraulische ruwheid ($n=0,075$) wordt na 10 jaar een gemiddelde stroomsnelheid van 0,20 m/s gevonden. De waterdiepteverkleining in de hoofdgeul verloopt in het geval van een nevengeul met grotere hydraulische ruwheid minder snel.

3.4.4 LENGTE VAN DE NEVENGEUL

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4, een topbreedte van de nevengeul van 230 m en een ruwheidswaarde van Manning van 0,05.

Een verlenging van de nevengeul verhoogt de weerstand van de nevengeul, zodat de afvoer en sedimentinstroming in de nevengeul afnemen. De bodemverhoging in zowel hoofdgeul als nevengeul dalen ten gevolge van de nevengeulverlenging. De verkleining van de bodemverhoging in de nevengeul bij toenemende lengte daarvan, vloeit voort uit het grotere oppervlak waarover in de berekening sediment zal worden afgezet. In werkelijkheid zal de aanzanding van de nevengeul voornamelijk aan het begin van de geul plaatsvinden (zie ook Schropp, 1991). Hiermee is in de berekeningen rekening gehouden door aan te nemen dat aanzanding en erosie als een driehoek worden verdeeld over het lengteprofiel van de geul (zie § 3.2). In de berekeningen vindt echter nog steeds een spreiding van aanzanding en erosie over de lengte van de nevengeul plaats. Als de absolute hoeveelheden sediment worden beschouwd die in de kortere en langere nevengeul neerslaan, blijkt dat in de langere nevengeul meer sediment neerslaat dan in de kortere nevengeul.

3.4.5 VERSMALLING HOOFDGEUL

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4, een topbreedte van de nevengeul van 230 m en een ruwheidswaarde van Manning van 0,05.

Een versmalling van de hoofdgeul met 30 meter van 260 meter tot 230 meter betekent dat de waterdiepte in de hoofdgeul toeneemt. Dit gaat gepaard met erosie in de hoofdgeul. De percentages water en sediment die door de nevengeul worden afgevoerd nemen toe in vergelijking tot het geval zonder versmalling. De aanzanding in de

nevengeul verloopt minder snel. Een combinatie van versmallen van de hoofdgeul en meestromende nevengeulen schept blijkbaar een gunstige situatie. De waterdiepte in de hoofdgeul die zo belangrijk is voor de scheepvaart hoeft bij deze combinatie niet af te nemen, maar kan zelfs enige decimeters toenemen.

3.5 Afvoerregiem

De berekeningen waarin niet een constante afvoer, maar een afvoerregiem wordt gebruikt zijn uitgevoerd om:

- 1) te verifiëren of de op basis van berekeningen met constante afvoerniveaus getrokken conclusies ook gelden onder dynamische omstandigheden;
- 2) de afvoer- en sedimentverdeling over hoofdgeul en nevengeul voor verschillende afvoeren te bepalen.

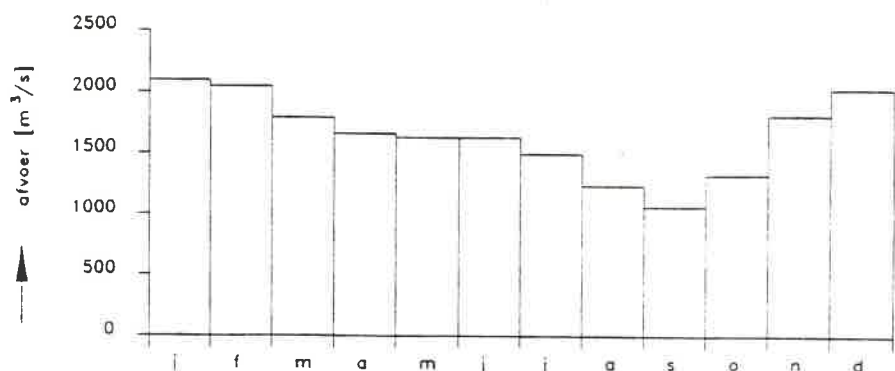
In § 3.5.1 wordt het gehanteerde afvoerregiem toegelicht en in § 3.5.2 tot en met 3.5.5 worden de resultaten van de gevoeligheidsberekeningen besproken.

3.5.1 HET REGIEM

Het afvoerregiem is zodanig gekozen dat de morfologische veranderingen overeenkomen met de werkelijk opgetreden veranderingen in de periode 1971-1982. Schropp (1991) geeft aan dat het geschematiseerde afvoerregiem overeenkomt met de 70%-onderschrijdingshydrograaf van maandgemiddelde afvoeren. Het geschematiseerde regiem is weergegeven in Fig 6.

De sedimenttransportvergelijking is weer zodanig afgeregeld dat het jaarlijkse sedimenttransport ca 300.000 m³ bedraagt.

Fig 6
Afvoerregiem

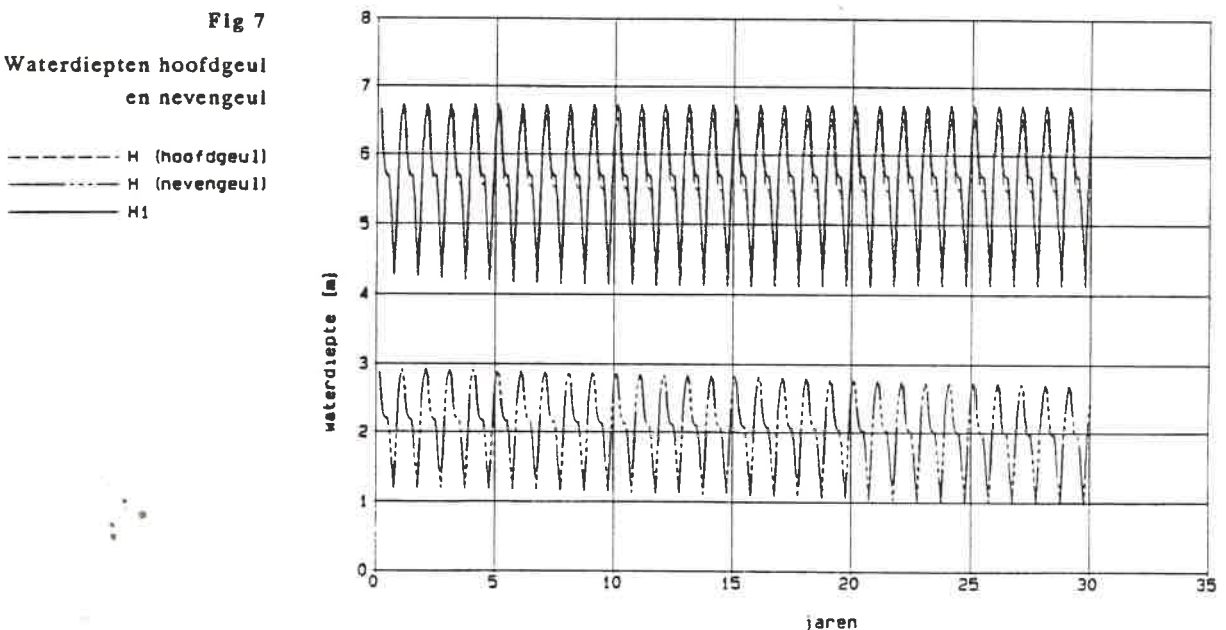


3.5.2 SEDIMENTVERDELING

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een topbreedte van de nevengeul van 170 meter en een ruwheidswaarde van Manning van 0,05.

De parameter r die de sedimentverdeling stuurt (zie vergelijking (2)) is voor de eerste berekening gelijk gesteld aan 0,4. Uitgaande van een topbreedte van de nevengeul van 170 meter wordt evenals voor de berekening met constante afvoer (zie Fig 5) gevonden dat de nevengeul en de hoofdgeul aanzanden. De resultaten van de berekening met het afvoerregiem zijn weergegeven in Fig 7 en Fig 8. Fig 7 geeft de waterdiepten in de hoofdgeul, boven- en benedenstrooms van het splitsingspunt, en de waterdiepte in de nevengeul, voor een periode van 30 jaar. Fig 8 geeft de gemiddelde bodemveranderingen in de hoofdgeul en de nevengeul voor dezelfde periode.

Fig 7
Waterdiepten hoofdgeul
en nevengeul



De percentages water en sediment die worden afgeleid naar de nevengeul variëren per afvoerniveau. Na 10 jaar geldt dat de water- en sedimentverdeling voor een afvoerniveau van $1065 \text{ m}^3/\text{s}$ gelijk zijn aan respectievelijk 1 en 0,4%. Voor een afvoerniveau van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn deze waarden respectievelijk 5 en 2%. De in § 3.4.1 gevonden waterverdeling van 3,5% en sedimentverdeling van 1,5% vallen dus binnen de hier gevonden bereik.

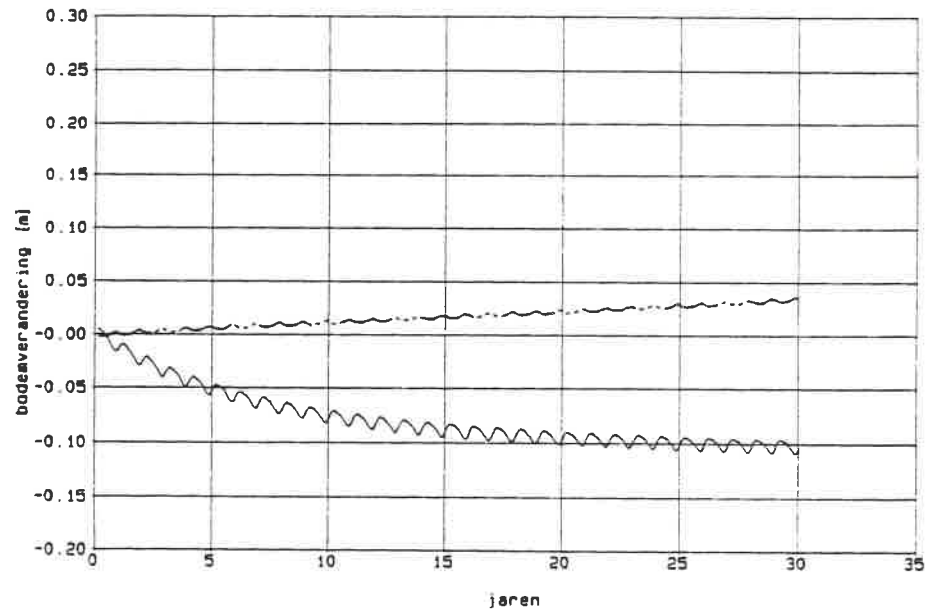
Voor de gemiddelde stroomsnelheid in de nevengeul wordt gevonden dat deze in de rekenperiode van 30 jaar varieert tussen ca 0,2 en 0,4 m/s.

Toename van de sedimenttoevoer naar de nevengeul (grotere waarde van r) leidt tot een versnelde aanzanding van de nevengeul en vertraging van de aanzanding (of zelfs erosie) in de hoofdgeul.

Fig 8

Bodemveranderingen hoofdgeul
en nevengeul

— hoofdgeul
- - - nevengeul



Voorgesteld wordt de waarde van r niet hoger te laten worden dan ca 1,5. Een dergelijk hoge waarde van r zou door sterk gekromde stroomlijnen (spiraalstroming) kunnen worden veroorzaakt. De nevengeul blijft in dat geval naar verwachting minimaal 10 jaar stroomvoerend, ook tijdens lage afvoeren (OLA). Dit lijkt een aanvaardbare termijn voor periodiek onderhoud. Bij een dergelijke waarde van r horen de volgende initiële percentages p voor wat betreft de sedimentinstroming bij de nevengeul:

$$\begin{array}{ll} Q = 1063 \text{ m}^3/\text{s} & p = 2 \% \\ Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s} & p = 10 \% \end{array}$$

Deze percentages zullen afnemen naarmate de nevengeul verder aanzandt.

3.5.3 TOPBREEDTE NEVENGEUL

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4, een ruheidswaarde van Manning van 0,05 en een topbreedte van de nevengeul van 230 meter.

Vergroting van de geulbreedte leidt tot een snellere aanzanding van de hoofdgeul. De bodemverhoging in de nevengeul verandert nauwelijks ten opzichte van die in de smallere nevengeul.

De percentages water en sediment naar de nevengeul zijn in het geval van een bredere nevengeul groter.

Na 10 jaar geldt dat de water- en sedimentverdeling voor een afvoerniveau van $1065 \text{ m}^3/\text{s}$ gelijk zijn aan respectievelijk 1,5 en 0,6%. Voor een afvoerniveau van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn deze waarden respectievelijk 7 en 3%. De gemiddelde stroomsnelheid in de nevengeul in de eerste 30 jaar varieert tussen ca 0,2 en 0,4 m/s. Deze gemiddelde stroomsnelheden verschillen niet van die voor een smallere nevengeul.

3.5.4 HYDRAULISCHE RUWHEID

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4 en een topbreedte van de nevengeul van 230 meter.

Evenals voor de berekeningen met constante afvoer blijkt dat een grotere ruwheid van de nevengeul leidt tot een iets snellere aanzanding van de nevengeul. De waterdiepte in de hoofdgeul loopt minder snel terug in de tijd. Voor een relatief gladde nevengeul ($n = 0,035$) geldt dat de water- en sedimentverdeling na 10 jaar voor een afvoerniveau van $1065 \text{ m}^3/\text{s}$ gelijk zijn aan respectievelijk 2,5 en 1%. Voor een afvoerniveau van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn deze waarden respectievelijk 11 en 4,5%. De afvoer en het sedimenttransport door een gladdere nevengeul nemen dus, zoals mocht worden verwacht, toe. De gemiddelde stroomsnelheid in de nevengeul in de eerste 30 jaar varieert tussen ca 0,3 en 0,5 m/s. De gemiddelde stroomsnelheden nemen dus toe naarmate de ruwheid afneemt.

3.5.5 VERSMALLING HOOFDGEUL

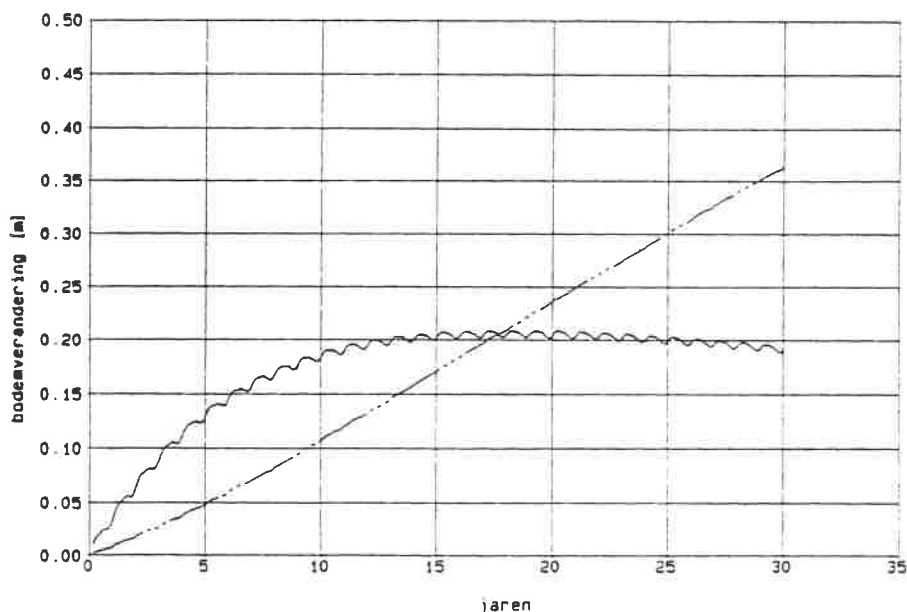
De berekeningen zijn uitgevoerd voor een sedimentverdeling behorende bij een r van 0,4, een topbreedte van de nevengeul van 230 m en een ruwheidswaarde van Manning van 0,05.

Versmalling van de hoofdgeul met 30 meter geeft een snellere aanzanding van de nevengeul en daarnaast een verdieping van de hoofdgeul. De gemiddelde bodemverandering van zowel hoofdgeul als nevengeul zijn weergegeven in Fig 9.

De gemiddelde stroomsnelheid in de nevengeul varieert tussen 0,2 en 0,4 m/s afhankelijk van het afvoerniveau. Versmalling van de hoofdgeul heeft derhalve geen invloed op de gemiddelde stroomsnelheden.

Fig 9
Bodemveranderingen hoofdgeul
en nevengeul

----- hoofdgeul
- - - - - nevengeul



3.6 Nevengeulen op grote schaal

Het lokaal toepassen van continu meestromende nevengeulen heeft, buiten de beperkingen voor de natuur, als belangrijk nadeel dat de veranderingen in de hoofdgeul ook lokaal blijven. In geval van aanzanding in de hoofdgeul betekent dit dat de vaardiepte lokaal wordt gereduceerd. Dit is een ongewenste ontwikkeling voor de scheepvaart en levert geen bijdrage aan het reduceren of stoppen van de autonome ontwikkeling. Als nevengeulen worden toegepast over een lang riviertraject (bijvoorbeeld de gehele Waal), worden lokale effecten vermeden. Aanzanding in de gehele hoofdgeul hoeft dan niet per se een probleem voor de scheepvaart op te leveren, aangezien ook de waterstanden over het gehele traject zullen stijgen. De waterdiepten zullen echter wel afnemen ten gevolge van de wateronttrekking aan de hoofdgeul. Aangezien voornamelijk bij lage afvoeren de aflaaddiepte voor de scheepvaart beperkt is, moet de afvoer door de nevengeul bij lage rivierafvoeren worden beperkt. Het toepassen van een driehoeksvormig dwarsprofiel van de nevengeul komt aan deze eis tegemoet.

3.6.1 COMBINATIES MET ANDERE RIVIERKUNDIGE MAATREGELEN

Om de ongunstige gevolgen van nevengeulen op de beschikbare waterdiepte in de hoofdgeul te compenseren kan het toepassen van nevengeulen naar verwachting worden gecombineerd met andere maatregelen in de rivier. Hierbij kan worden gedacht aan een gehele rivierversmalling door middel van verlenging van de kribben. De beschikbare waterdiepte tijdens lage afvoeren, waarbij de kribben niet worden overstroomd, wordt zodoende vergroot.

Nadeel van een dergelijke rivierversmalling kan zijn dat ten gevolge van de erosie het zomerbed verder zal dalen en het bodemverhang en daarmee het waterspiegelverhang zullen afnemen. Dit kan op den duur onder andere verdrogingsproblemen voor het laagland veroorzaken en problemen opleveren voor de stabiliteit van constructies in de rivier. Door het toepassen van nevengeulen kan de erosie in het zomerbed gedeeltelijk worden gecompenseerd. Verder kan een combinatie van nevengeulen en kribverlenging (versmalling) naar verwachting uitstekend worden uitgebreid met kribverlaging.

Onderzoek van Mosselman (1992) en Struiksma et al (1992) heeft aangetoond dat door middel van kribverlaging de autonome ontwikkeling van de Waal kan worden geneutraliseerd. Het principe hiervan is dat door kribverlaging de kribvakken al bij lagere afvoeren gaan meestromen terwijl al het aangevoerde sediment door de hoofdgeul moet worden getransporteerd. Door de gereduceerde afvoer via de hoofdgeul neemt de sedimenttransportcapaciteit van de hoofdgeul af waardoor sediment zal neerslaan. Hierdoor wordt de bodemdaling gereduceerd. Uit het onderzoek bleek dat de autonome ontwikkeling op de Waal te stoppen is, door boven een zomerbedafvoer van $1375 \text{ m}^3/\text{s}$

32% van de extra afvoer boven 1375 m³/s af te toppen. Dit afgetopte deel van de afvoer moet dan via de kribvakken worden getransporteerd. Een dergelijke aftopping kan worden bereikt door een kribverlaging van ca 1 meter.

Door toepassing van altijd meestromende nevengeulen wordt tevens tijdens lagere Waalafvoeren water (en sediment) onttrokken aan de rivier. Dit kan in principe de tendens van een verminderde bodemdaling in het zomerbed nog iets versterken.

Een combinatie van kribverlaging, kribverlenging en meestromende nevengeulen wordt derhalve gezien als een uitstekende combinatie om de huidige situatie voor zowel natuur als scheepvaart te verbeteren.

De mate van verbetering dient te worden onderzocht met behulp van een computerprogramma waarmee de hydraulische en morfologische veranderingen in een netwerk van geulen kunnen worden bepaald.

3.7 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde berekeningen kunnen de volgende conclusies met betrekking tot de nevengeul worden getrokken:

- 1) Indien de stromingsweerstand van de nevengeul toeneemt ten gevolge van een versmalling, een hogere hydraulische ruwheid (meer snag) of een verlenging van de nevengeul, nemen de percentages water en sediment via de nevengeul af. De aanzanding in de hoofdgeul neemt hierdoor af.
- 2) Meestromende nevengeulen zijn op basis van bovenstaande berekeningen zeer goed mogelijk, zonder dat binnen 10 jaar grootschalig onderhoud in de nevengeul noodzakelijk is. Hierbij moet er voor worden gezorgd dat slechts een klein deel (kleiner dan 10% van het totale sedimentaanbod bij hogere afvoeren) de nevengeul instroomt. Grotere percentages leiden tot een versnelde aanzanding van de nevengeul. De termijn waarop onderhoud in de nevengeul moet worden uitgevoerd kan worden verlengd door het percentage sediment dat naar de nevengeul gaat te reduceren. Zonder sturing zullen bovenstaande lage percentages naar verwachting niet worden gehaald. Sturende constructies zoals schermen, drempels en kokers, eventueel in combinatie met inlaatwerken zijn derhalve noodzakelijk.
- 3) Door het combineren van meestromende nevengeulen, kribverlenging en kribverlaging kunnen de omstandigheden voor natuur en scheepvaart worden verbeterd.
- 4) De berekeningen kunnen enigszins een overschatting van de levensduur van de nevengeul geven aangezien de sedimentatie en erosie als een driehoek over de gehele nevengeul wordt gespreid. In werkelijkheid zullen de morfologische veranderingen nog uitdrukkelijker ter plaatse van het bovenstroomse deel van de nevengeul optre-

den. Gezien Fig 4 kan echter worden opgemerkt dat enige verkorting van de levensduur van de nevengeul geen probleem hoeft te zijn. Bovendien zal het nadeel van een mogelijk kortere levensduur naar verwachting kunnen worden gecompenseerd door het feit dat periodiek onderhoud slechts lokaal (bovenstrooms) nodig zal zijn. Dit is gunstig met het oog op de kosten en de beperkte inbreuk op het leven in de nevengeul.

4 Maatgevende Hoogwaterstanden

4.1 Inleiding

Het toepassen van op grote schaal meestromende nevengeulen en het afgraven van de uiterwaarden kan het doorstroomprofiel van de rivier bij hoge afvoeren aanzienlijk vergroten. Het resultaat hiervan zal zijn dat de waterstanden lager worden. Met het oog op de verhoging van de rivierdijken is dit een interessant aspect aangezien de vereiste dijkhoogten gebaseerd zijn op de zogenaamde Maatgevend Hoogwaterstanden (MHW-standen) behorende bij een vastgesteld afvoerniveau.

In deze paragraaf is het directe effect van nevengeulen op de MHW-standen geschat op basis van eenvoudige evenwichtsberekeningen.

Morfologische veranderingen ten gevolge van nevengeulen en ontkeiling zijn voor de berekeningen buiten beschouwing gelaten. Bovendien zijn ruwheidsverhogende aspecten zoals het ontstaan van ooibossen in de uiterwaarden niet in de berekeningen meegenomen, hoewel dit aspect van belang blijkt te zijn. De invloed van ooibossen op de MHW-standen is onderzocht met behulp van berekeningen van de waterbeweging in twee ruimtedimensies. Hiervoor is het programma WAQUA gebruikt. In de "case study" Bemmelerwaard werd een herinrichting van de Bemmelerwaard beschouwd (Wijbenga, 1990). Deze herinrichting bestond uit de aanleg van een nevengeul, het opvullen van zandputten en de aanleg van extra ooibossen. Door deze nieuwe inrichting is het netto effect op de MHW-standen een geringe daling van ca 0,05 meter.

Ook door Cirkel et al (1990) worden op basis van WAQUA-berekeningen voor de gebieden Millingsche Waard en Bemmelsche Uiterwaarden, de waterstandsverhogende invloed van ooibossen aangetoond.

Voor de berekening van de verlaging van de MHW-standen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

$$\text{MHW-afvoer Waal: } Q_w = 10.370 \text{ m}^3/\text{s}$$

Zomerbed

breedte:	$B = 260 \text{ m}$
verhang:	$i_b = 1,1 \cdot 10^{-4}$
ruwheid:	$C = 44 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$ (Chézy-coëfficiënt)

Winterbed

breedte: $B_u = 1000 \text{ m}$
bodempligging: $z_u = \text{gemiddelde bodemhoogte zomerbed} + 7 \text{ m}$
ruwheid (Manning) $k_N = 0,25 \text{ m}$ (Ruwheidswaarde Nikuradse)

Kribvakken

breedte: $B_k = 100 \text{ m}$
lengte: $L = 200 \text{ m}$
kruinhoogte: $z_k = \text{gemiddelde bodemhoogte zomerbed} + 6 \text{ m}$
overlaatcoëff.: $m = 1$

4.2 Nevengeulen

Voor de meestromende nevengeul zijn de volgende mogelijkheden onderzocht:

gemiddelde diepte: $h_n = 3 \text{ meter}$
gemiddelde breedte: $B_n = 111; 125; 139; 153 \text{ meter}$
ruwheid: $n_n = 0,033; 0,035; 0,05$

De gemiddelde diepte van 3 meter komt overeen met een driehoekig dwarsprofiel waarvan de diepte op het diepste punt gelijk is aan 4,2 meter.

De ruwheidswaarde van 0,33 is meegenomen omdat deze leidt tot een C-waarde van $44 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$ bij MHW, gelijk aan die voor het zomerbed.

De directe invloed op de MHW-standen in meters (- = verlaging) is aangegeven in onderstaande tabel:

Tabel 2 Invloed van nevengeulen op MHW-standen

	Gemiddelde breedte nevengeul B_n [m]			
	111	125	139	153
$n_n = 0,033$	- 0,27	- 0,31	- 0,34	- 0,37
$n_n = 0,035$	- 0,22	- 0,25	- 0,28	- 0,31
$n_n = 0,05$	- 0,09	- 0,10	- 0,11	- 0,12

In het geval van de hoge waterstanden bij MHW mag worden verwacht dat de hydraulische ruwheid laag zal zijn en dat dus de waarden behorende bij n_n van 0,033 als eerste schatting kunnen worden gehanteerd.

4.3 Afgraven uiterwaarden

Door reliëfvolgende ontkleining kan het maaiveld in de gehele uiterwaard naar verwachting gemiddeld 1 à 2 meter omlaag worden gebracht. Dit kan in combinatie gebeuren met meestromende nevengeulen. De consequenties hiervan voor de MHW-standen zijn aangegeven in Tabel 3. Hierbij zijn eventuele morfologische veranderingen weer buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3 Invloed van ontkleining en nevengeulen op MHW-standen

	zonder nevengeul	met nevengeul ¹⁾
ontgraving		
$\Delta z_u = 1$ meter	- 0,71	- 0,93
$\Delta z_u = 2$ meter	- 1,43	- 1,53

¹⁾Voor de meestromende nevengeulen worden de geuldimensies ten gevolge van het afgraven anders. Dit is mede het gevolg van de aangenomen driehoekige vorm van het dwarsprofiel. Uitgaande van het breedste alternatief voor de nevengeul, worden de gemiddelde geulbreedten en geuldiepten als volgt:

$$\begin{aligned}\Delta z_u = 1 \text{ meter:} \quad B_n &= 117 \text{ m} \\ h_n &= 2,3 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta z_u = 2 \text{ meter:} \quad B_n &= 80 \text{ m} \\ h_n &= 1,57 \text{ m}\end{aligned}$$

5 Overige aspecten van nevengeulen

In de volgende paragrafen worden enige aspecten van meestromende nevengeulen toegelicht die, naast de invloed op waterdiepten, waterstanden en bodemhoogten, een rol spelen bij het toepassen ervan.

5.1 Oevererosie langs de nevengeul

De gemiddelde stroomsnelheden in de nevengeul zullen belangrijk lager zijn dan in de hoofdgeul. Voor de berekeningen met het representatief geachte regiem blijft de gemiddelde stroomsnelheid lager dan 0,50 m/s. Voor hogere afvoerniveaus dan die zijn doorgerekend zullen de gemiddelde stroomsnelheden hoger zijn. Tevens geldt dat lokaal de stroomsnelheden hoger kunnen zijn. Gevaar voor grote oevererosie wordt echter niet verwacht. De stroomsnelheden bij de oevers zullen naar verwachting niet hoger zijn dan de gemiddelde stroomsnelheden vanwege de verhoging van de ruwheid bij de oevers (zie ook Wijbenga, 1990). Hierbij speelt de aanwezigheid van snag in de rivier een belangrijke rol. Verder geldt, dat de steiloever van een nevengeul, waarvoor het gevaar voor erosie van belang is, naar verwachting bestaat uit sterke klei. Erosie van dit materiaal zal bij genoemde stroomsnelheden nauwelijks optreden. Bovendien betekent erosie van begroeide oevers (ooibos) dat nieuwe snag in de rivier terecht komt waardoor erosie kan worden tegengegaan.

5.2 Sedimentinstroming in de nevengeul

De berekeningen hebben aangetoond dat de sedimentinstroming in de nevengeul maximaal 10% mag zijn van het totale sedimentaanbod, aangezien anders de nevengeul binnen ca 10 jaar zal aanzanden. Vergelijkbaar hiermee wordt door Schropp (1991) voor een denkbeeldige nevengeul in de Bemmelerwaard aangetoond dat indien de sedimenttoevoer naar de nevengeul 25% bedraagt van het totale sedimentaanbod, de nevengeul bij de instroming na 2 jaar zal zijn aangezand.

De sedimenttoevoer naar de nevengeul kan onder andere worden beïnvloedt door middel van:

- een goede lokatiekeuze van het splitsingspunt. Als de nevengeul aftakt in de buitenbocht van de rivier betekent dit dat de sprong in bodemhoogte van hoofdgeul en nevengeul maximaal is. Dit is het gevolg van het natuurlijke bochtprofiel in de hoofdgeul waardoor de waterdiepte in de buitenbocht groter is dan in de binnenbocht. Een groter verschil in bodemligging van hoofdgeul en nevengeul bemoeilijkt de toevoer van sediment van de hoofdgeul naar de nevengeul.

Bijkomend voordeel van aftakking in de buitenbocht is dat de nevengeul is gesitueerd in de uiterwaard langs de binnenbocht van de rivier. Het beschikbare bodemverhang in dit gedeelte van de uiterwaard geeft de maximale vrijheid in het kiezen van het tracé voor de nevengeul.

- een inlaatconstructie, eventueel in combinatie met eenvoudige maatregelen in het kribvak zoals geleidewerken, verticale schermen, kokers en drempels. Doel van dergelijke maatregelen is om de het sedimenttransport in het kribvak weg te leiden van de waterinlaat. Hierbij moet er aandacht aan worden besteed dat de constructies werkzaam moeten zijn voor diverse afvoerniveaus. De voorkeur gaat uit naar eenvoudig regelbare constructies waarmee de sedimentinstroming van de nevengeul kan worden gevarieerd zodra ongewenste situaties ontstaan.
- een (natuurlijke) zandvang in de nevengeul direct benedenstrooms van het instroompunt. Een natuurlijke zandvang kan worden gevormd door een bestaande ontgrondingskuil in de uiterwaard. De sedimentinstroming naar de nevengeul kan met een zandvang sterk worden gereduceerd. Erosie in de nevengeul, door het ontbreken van sedimenttoevoer, kan worden voorkomen door het verlengen van de nevengeul (indien mogelijk), waardoor de verhangen en daarmee de stroomsnelheden in de geul afnemen. Bovendien doen de resultaten van uitgevoerde boringen vermoeden dat het van nature aanwezige bodemmateriaal in de uiterwaard ter hoogte van de bodem van de geul grof van samenstelling is (zand-grind mengsel). Grote erosie van dat materiaal zal bij de verwachte stroomsnelheden niet optreden.
Het relatief schone water dat door een dergelijke geul zal stromen biedt ecologisch gezien interessante perspectieven.

5.3 Afstemming binnen het Nederlandse rivierengebied

Het toepassen van meestromende nevengeulen op grote schaal langs de Waal moet bij voorkeur worden gecombineerd met nevengeulen langs de IJssel en de Nederrijn. Dit is niet alleen vanuit het oogpunt van de natuur aantrekkelijk, maar zorgt er tevens voor dat de water- en sedimentverdeling op het splitsingspunt Pannerdense Kop niet te veel wordt beïnvloed.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies met betrekking tot het toepassen van meestromende nevengeulen worden getrokken:

- 1) Op grote schaal meestromende nevengeulen zijn naar verwachting goed mogelijk, zonder dat snelle verlanding van de nevengeul optreedt, en zonder dat de bodemhoogte in de hoofdgeul sterk wordt beïnvloedt. De beheersing van de sedimentinstroming van de nevengeul is daarvoor noodzakelijk. Een combinatie van nevengeulen met rivierkundige maatregelen in de hoofdgeul biedt waarschijnlijk goede perspectieven.
- 2) Als bij het uitgraven van nevengeulen de aanwezige morfologie wordt gevolgd verkrijgt men in vele gevallen een natuurlijk dwarsprofiel met een geringe breedte bij de bodem en een grotere breedte aan het oppervlak. Een geul met een maximale diepte van ca 4 meter ten opzichte van het maaiveld en een breedte op het maaiveld van 150 meter zal ook tijdens zeer lage afvoeren (onder OLR) water afvoeren. Bij dergelijke lage rivierafvoeren gaat slechts een gering percentage van de totale afvoer via de nevengeul. Dit percentage neemt toe bij oplopende afvoeren.
- 3) De afvoer door de nevengeul varieert tussen ca 1,5 en 11% afhankelijk van de rivierafvoer en de hydraulische ruwheid van de nevengeul. Verhoging van de stromingsweerstand van de nevengeul ten gevolge van een versmalling, een hogere hydraulische ruwheid (meer snag) of een verlenging van de nevengeul betekent een verlaging van de percentages water en sediment via de nevengeul. De aanzanding in de hoofdgeul neemt hierdoor af.
- 4) Aangezien op den duur altijd één van de takken zal aanzanden is periodiek onderhoud (baggerwerk) nodig, maar hoeft niet vaker dan eens in de 10 jaar plaats te vinden. Het onderhoud dat wordt uitgevoerd in de nevengeul zal zeer plaatselijk zijn (direct benedenstrooms van inlaatpunt), waardoor het leven in de nevengeul zo min mogelijk wordt verstoord.
- 5) Het sedimentaanbod aan de nevengeul kan worden beperkt door het toepassen constructies onder de waterspiegel waarmee de richting van sedimenttransport kan worden beïnvloed. Hierbij kan worden gedacht aan schermen, drempels, kokerconstructies of geleide-

werken. Deze werken kunnen worden gecombineerd met een inlaatwerk. De sedimentinstroming naar de nevengeul dient bij hogere rivierafvoeren niet hoger te worden dan ca 10%.

- 6) Door het combineren van meestromende nevengeulen, kribverlenging en kribverlaging kunnen de omstandigheden voor zowel de natuur als de scheepvaart worden verbeterd.
- 7) Meestromende nevengeulen en onkleiing in de uiterwaard kunnen een verlaging van de MHW-standen betekenen. Hierbij moet worden opgemerkt dat door het ontstaan van eventuele ooibossen in de uiterwaarden de stromingsweerstand weer zal toenemen. Het netto resultaat kan zelfs een verhoging van de MHW-standen betekenen.

6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

- 1) Uitvoeren van het onderzoek naar de sedimentverdeling op splitsingspunten en beïnvloeding daarvan middels inlaatwerken en/of regelbare constructies.
- 2) Opzetten van een rekenmodel waarmee de hydraulische en morfologische consequenties van het toepassen van op grote schaal meestromende nevengeulen kunnen worden geanalyseerd. Hierbij dienen combinaties van meestromende nevengeulen met onder andere kribverlenging, kribverlaging, ooibosontwikkeling en onkleiing van de uiterwaarden te worden beschouwd. Het rekenmodel dient alle Rijntakken te bevatten om zodoende de grootschalige consequenties te kunnen bepalen.
De berekeningen kunnen worden uitgevoerd met het programmapakket WENDY van WL.
- 3) Onderzoek naar kribvakken. Hierbij kan worden gedacht aan onderzoek naar de water- en sedimentbeweging in kribvakken en de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de kribvakken.
- 4) Zorgvuldig optuigen van één of meerdere proefprojecten in de uiterwaarden van de Nederlandse rivieren. Na uitvoering van de proefprojecten is monitoring van de morfologie, ecologie en hydraulica vereist.

7 Literatuur

- Arcement Jr, G.J. & V.R. Schneider (1987)
Roughness coefficients for densely vegetated flood plains; U.S. Geological Survey, Water resources Investigations Report 83-4247, Resron, Virginia
- Barnes Jr, H.H. (1967)
Roughness Characteristics of Natural Channels; U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1849, Washington
- Barneveld, H.J. & N. Struiksmā (1990)
Geulen in uiterwaarden; Waterloopkundig Laboratorium, Literatuuronderzoek, Q1163
- Biglari, B. (1989)
Cut-offs in curved alluvial channels; Waterloopkundig Laboratorium, Q553
- Chow, V.T. (1959)
Open Channel Hydraulics; McGraw-Hill, New York
- Cirkel, R.J. & J. Timmer (1990)
Natuurontwikkeling uiterwaarden - Hydraulische berekeningen; Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, werkdocument 90.190X.
- Davis, E.V. & K.E. Sorensen (1969)
Handbook op Applied Hydraulics; McGraw-Hill, New York
- Engelund, F. & E. Hansen (1967)
A monograph on sediment transport in alluvial streams; Teknisk Forlag, Kopenhagen
- Flokstra, C. (1985)
De invloed van knooppuntrelaties op de bodemligging bij splitsingspunten; Waterloopkundig Laboratorium, Verslag wiskundig onderzoek, rapport R 2166
- Haas, A.W. de (1991)
Nevengeulen - Onderzoek naar de mogelijkheden, de consequenties en de te stellen eisen bij aanleg van nevengeulen in uiterwaarden; Publikaties en rapporten van het project 'Ecologisch Herstel Rijn', publicatie no. 33-1991; Rijkswaterstaat/RIZA
- Henderson, F.M. (1966)
Open channel flow; MacMillan series in civil eng., New York

- Klaassen, G.J. & B.H.J. van Zanten (1989)
On cut-off ratios of curved channels, Hydraulics and the Environment, Technical Paper of the 13th IAHR congress, blz. B121 - B130
- Klaassen, G.J. & J.J. van der Zwaard (1974)
Roughness coefficients of vegetated flood plains; Journal of Hydraulic Research; IAHR, Vol. 12, No 1
- Mosselman, E. (1992)
Effecten van kribverlaging; Waterloopkundig Laboratorium, Verslag vooronderzoek, Q1462
- Schropp, M.H.I. (1991)
Morfologische aspecten bij het ontwerpen van nevengeulen; Rijkswaterstaat/RIZA, Nota 91.022
- Struiksma, N. & H.J. Barneveld (1992)
SEDREDGE berekeningen Waal; Waterloopkundig Laboratorium, Verslag Q1479
- Wijbenga J.H.A. (1990)
Ecologisch herstel van de Rijn - Case-study nevengeul Bemmelerwaard, de twee dimensionale waterbeweging; Waterloopkundig Laboratorium, Verslag onderzoek, Q921

Levende rivieren

Nevengeulen langs de Nederlandse Rivieren

Willem Overmars
Stroming b.v.

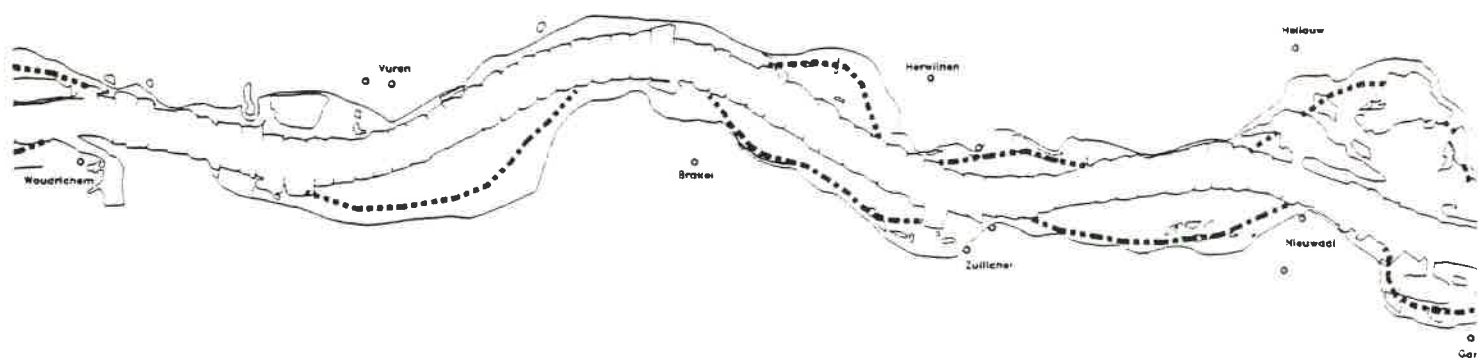
7 NOVEMBER 1992

studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds

Inhoud

1	Lokatiestudie nevengeulen	3
1.1	Inleiding	3
1.2	De vrij stromende rivieren	3
1.3	De gestuwde rivieren	5
1.4	Samenvatting	7
2	Delfstoffenwinning	9

**Mogelijke nevengeulen langs
Waal en Rijn**



1 Lokatiestudie nevengeulen

1.1 Inleiding

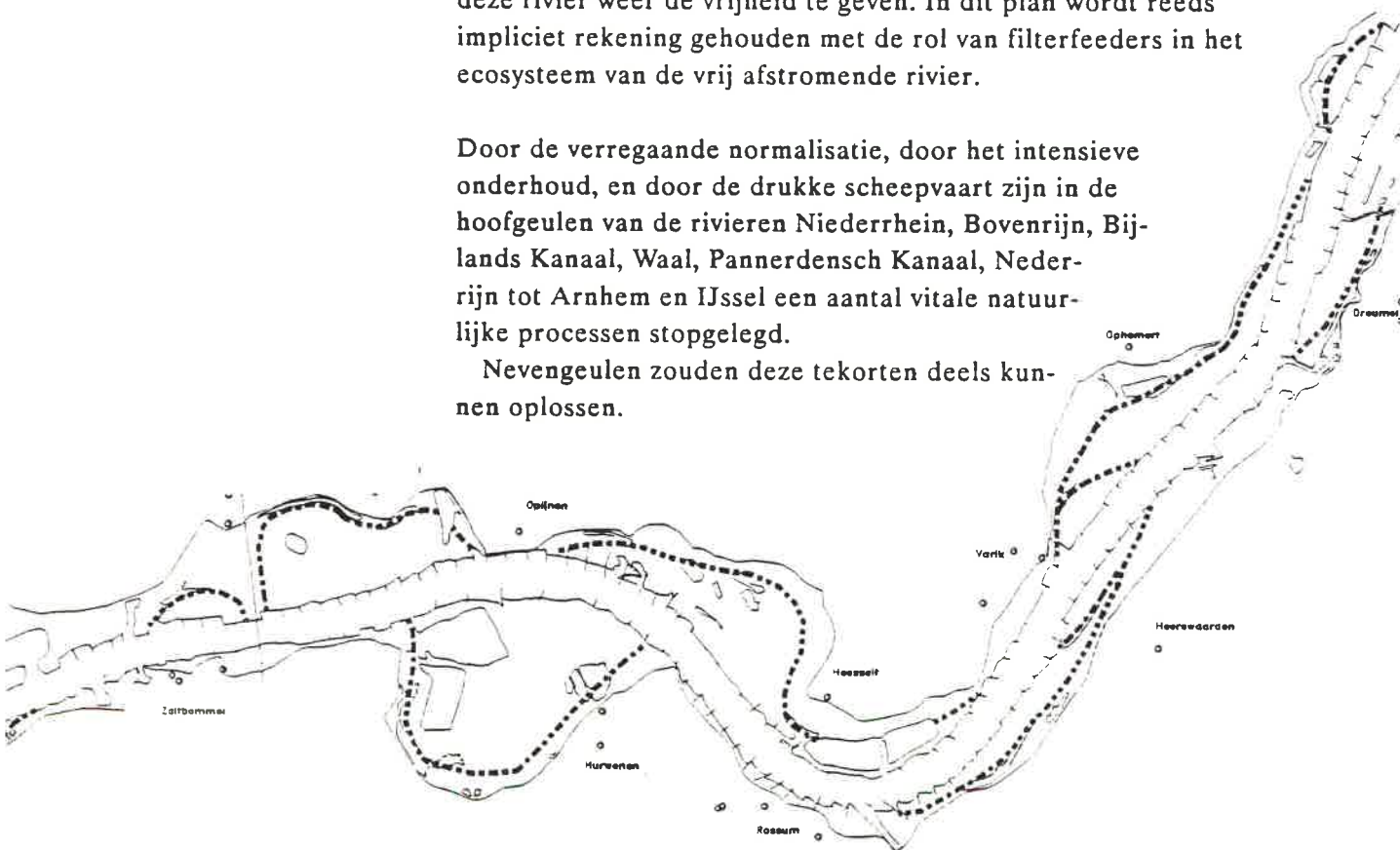
In de studie over de rivierkundige aspecten van het Waterloopkundig Laboratorium wordt de aanbeveling gedaan, om nevengeulen niet lokaal aan te leggen, maar steeds te bezien hoe de effecten zijn voor een hele riviertak, of het liefst voor de riviertakken samen. Er is een globaal lokatieonderzoek gedaan naar de mogelijkheden om langs de Nederlandse rivieren nevengeulen aan te leggen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen het vrij afstromende deel van de Nederlandse rivieren en het gestuwde deel. Voor wat betreft het gestuwde deel wordt ingehaakt op het vistrappenprogramma, aangezien vistrappen ook een soort nevengeulen zijn.

1.2 De vrij stromende rivieren

De Grensmaas in Limburg is een vrij afstromende rivier zonder scheepvaart. In het rapport "Toekomst voor een grindrivier (1991)" is voor dit snelstromende traject (50 km) een plan gemaakt om deze rivier weer de vrijheid te geven. In dit plan wordt reeds impliciet rekening gehouden met de rol van filterfeeders in het ecosysteem van de vrij afstromende rivier.

Door de verregaande normalisatie, door het intensieve onderhoud, en door de drukke scheepvaart zijn in de hoofgeulen van de rivieren Nederrijn, Bovenrijn, Bijlands Kanaal, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn tot Arnhem en IJssel een aantal vitale natuurlijke processen stopgelegd.

Nevengeulen zouden deze tekorten deels kunnen oplossen.



Het hiernavolgende overzicht geeft een eerste indruk van de riviergedelten, waar aanleg van een nevengeul mogelijk is :

NIEDERRHEIN

Achter het oude eiland Salmorth is een nevengeul mogelijk van ruim 9 km.

BOVENRIJN

De Rijnstrangen tussen Spijk en Candia bieden mogelijkheden voor een 15 km lange nevengeul.

WAAL

In principe zijn 30 uiterwaarden geschikt voor de aanleg van nevengeulen, met een gezamenlijke lengte van ca. 103 km (zie de kaarten).

AFGEDAMDE MAAS

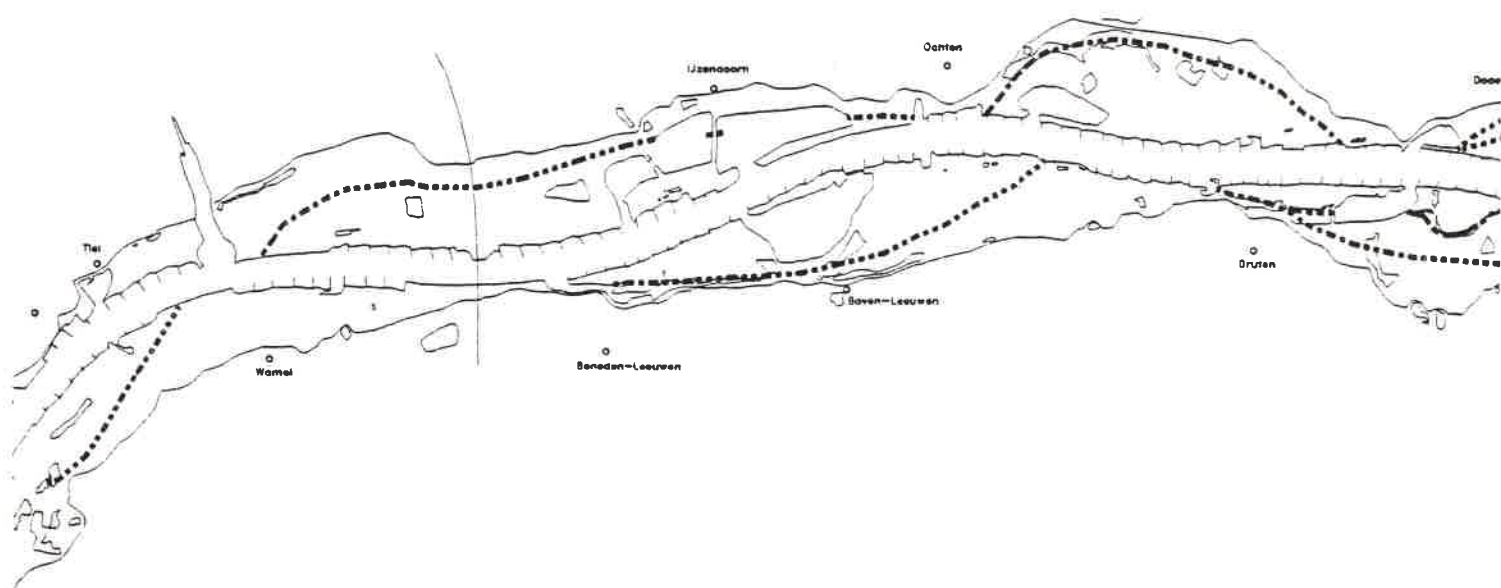
Weer opengemaakt levert dit een meestromende geul van ca. 17 km lengte op.

ONGESTUWDE RIJN/NEDERRIJN

Drie uiterwaarden met een mogelijke nevengeullengte van ca. 11 km.

IJSSEL

28 uiterwaarden, met ruimte voor 82,5 km nevengeul.



1.3 De gestuwde rivieren

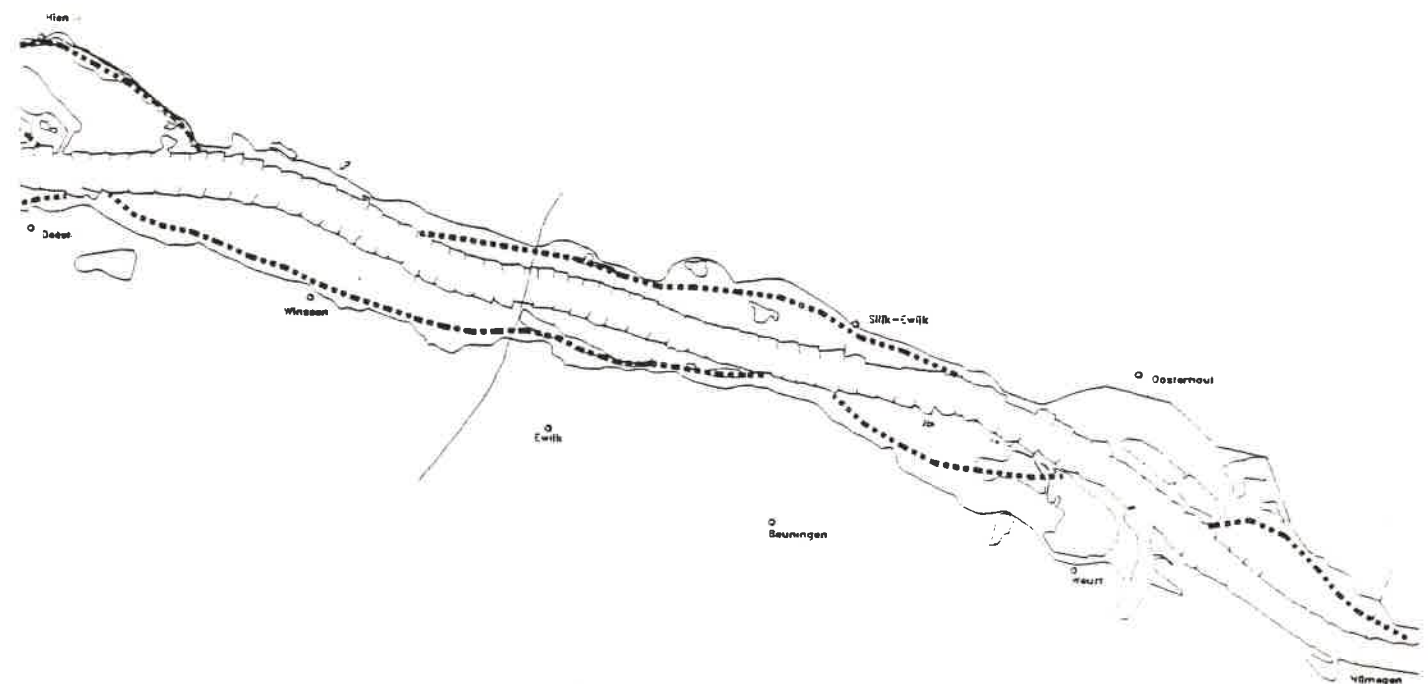
Vistrappen staan volop in de aandacht. Het zalm-programma voor de Rijn is daarbij een belangrijke stuwende kracht. De planning voor de aanleg van vistrappen langs de Nederlandse rivieren ziet er als volgt uit:

RIJN

- Hagestein 1992
- Amerongen 1994
- Driel: er wordt op dit moment nagegaan of deze vispassage ondergebracht kan worden in een natuurontwikkelingsproject in de uiterwaarden

MAAS

- Lith gereed
- Grave 1993/1994
- Sambeek 1992
- Belfeld 1992
- Roermond 1993
- Linne gereed
- Borgharen 1995/96



HUIDIGE PRAKTIJK

De twee vistrappen die tot dusver gereed gekomen zijn, worden gekenmerkt door een beperkte aandacht voor het probleem. Het zijn technocratische kunstwerken waarbij de aandacht gericht is op het passeren van een barrière. Er is geen aandacht voor de kwaliteiten en mogelijkheden van de passages zelf.

In Linne bijvoorbeeld ligt de passage pal naast de nieuwe waterkrachtcentrale. De afdalende vis kan evengoed in de turbine terechtkomen als in de vistrap. De vistrap in Linne is ongeveer 200 meter lang. De trap bestaat uit treden van tropisch hardhout, de bedding uit stortsteen. De oevers zijn met oeverplanten beplant die er soms wel, soms ook helemaal niet thuishoren.

Het hoogteverschil dat door de stuw veroorzaakt wordt zou ook op een heel andere manier kunnen worden benut. De grote uiterwaard bij Linne, de Linnerweerd, wordt omsloten door een verlande voormalige Maasarm. Deze oude loop had gebruikt kunnen worden om het hoogteverschil van de stuw over een afstand van een aantal kilometers te overbruggen. Daarbij zou dan een stromende nevengeul ontstaan zijn.

MOGELIJKHEDEN

Er liggen dus bij deze stuwen grote mogelijkheden om de vispassages niet langer in de vorm van korte trappen, maar in de vorm van lange stromende nevengeulen, met een hoge eigen betekenis, uit te voeren. De lengte van de nevengeulen/stuwpassages in onderstaande voorstellen is minimaal gehouden. Er bestaan zeker mogelijkheden om langere trajecten uit te voeren.

Plannen voor nevengeulen in plaats van vistrappen zijn al geopperd voor :

- Driel (natuurontwikkeling Nederrijn) 5 km
- Borgharen (waterpark Bosscherveld) 2 km
- Linne - Belfeld (12 kilometer lange geul langs twee stuwen bij Heel, Beegden en Horn)
- Roermond (passage water van de Roer) 1,5 km



Verder liggen er mogelijkheden bij:

- Grave 6 km (Keent)
- Amerongen noordzijde 6 km; zuidzijde 7 km

CONCLUSIE

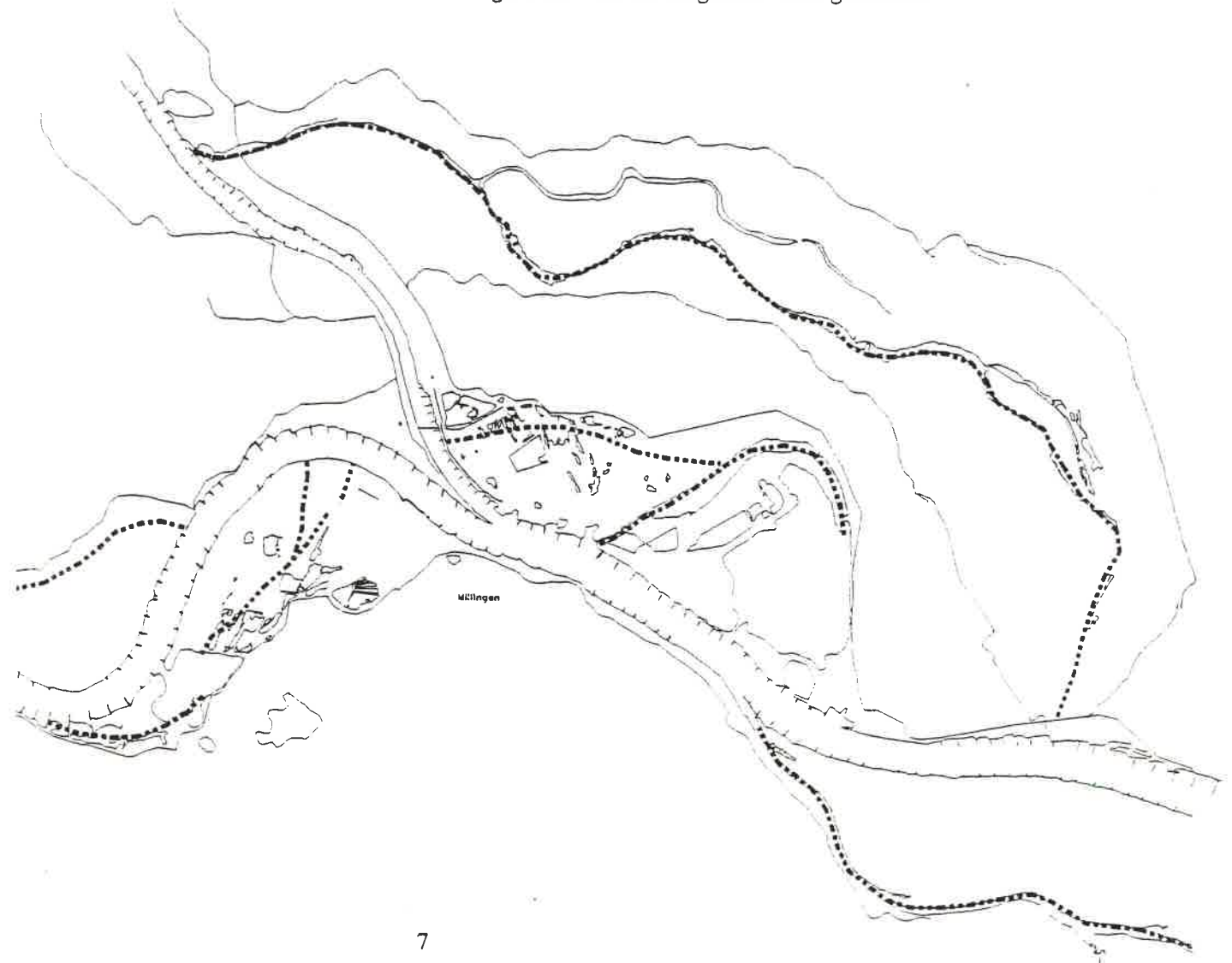
Langs de gestuwde rivieren liggen mogelijkheden om de stuwen te passeren met stromende nevengeulen. Als dat consequent en over een flinke lengte gebeurt, kunnen deze nevengeulen de ecologische kwaliteit van de rivier sterk positief beïnvloeden.

Een van de grootste ecologische nadelen van de gestuwde rivier, het stilvallen van de stroom bij laag water, vervalt gedeeltelijk. Het milieu van het stromende water komt op deze plaatsen weer terug. Op de nevengeul vindt geen scheepvaart plaats. Dat betekent dat erosie en sedimentatie (steilwanden en zandbanken) kunnen plaatsvinden en dat ook begroeiing van de oevers en hout in de nevengeul het riviermilieu verder herstellen.

1.4 Samenvatting

Bovenstaande inventarisatie is nog niet meer dan een grove opsomming van de plaatsen in Nederland waar stromende nevengeulen denkbaar zouden zijn.

Het gaat dan om de volgende ruwe getallen:



- Grensmaas :	50 km
- Gestuwde Maas Limburg en Brabant :	21,5 km
- Gestuwde Nederrijn :	18 km
- Niederrhein :	9 km
- Bovenrijn :	15 km
- Waal :	103 km
- Afgedamde Maas :	17 km
- Ongestuwde Nederrijn :	11 km
- IJssel :	<u>82,5 km</u>
- Totaal :	327 km

Bij langere trajecten langs de stuwen kan dit getal oplopen tot 400 km.

2 Delfstoffenwinning

De rivierbeddingen hebben zich sinds de normaliseringswerken op het eind van de vorige eeuw en in de dertiger jaren (door erosie en door zand/grindwinning) aanzienlijk in het landschap ingesneden.

Bij de Grensmaas is dat al heel sterk het geval. Het natuurontwikkelingsplan voor de Grensmaas voorziet dan ook in een verbreding van het zomerbed en een verdieping van de weerden er langs.

De uiterwaarden langs Waal en IJssel zijn door opslibbing van de waarden en door het wegzakken van de rivier verdroogd.

In de uiterwaarden lopen tal van oude geulen, die de meest logische tracé's vormen voor aan te leggen nevengeulen. Aangenomen mag worden, dat de oorspronkelijke zandige bodem van veel van deze geulen nu bóven het niveau van de hoofdgeul ligt. Bovendien zijn de meeste oude geulen geheel of gedeeltelijk gevuld met klei (zie de historisch morfologische studie).

Bij het openmaken van de oude geulen komt dus op de eerste plaats klei vrij, die gebruikt kan worden voor de baksteenindustrie en voor dijkverzwaring.

In samenwerking met het Landmeetkundig Buro Meet, en in overleg met de Grontmij is er een ruwe schatting gemaakt van de hoeveelheden klei die geschikt zijn voor gebruik in de baksteenindustrie.

Kleivoorraden langs de Rijntakken:
(in miljoenen kubieke meters)

Waal:	25
Nederrijn:	10
IJssel:	20
Rijnstrangen:	10
totaal:	65 miljoen kubieke meter.

Bij een gebruik van ruim 1 miljoen kuub per jaar is dat een produktievoorraad van 50 jaar.

Bij uitdieping van de bodem van de geulen en bij verbreding komt ook zand vrij. Het is denkbaar dat bij deze oppervlakkige winning een deel van de Nederlandse behoefte aan industriezand gewonnen kan worden. Dit moet nader onderzocht en gekwantificeerd worden.

De Rijn voert nog steeds slib aan. Ook bij de aanleg van nevengeulen zal het om allerlei redenen nodig zijn om toch bekade uiterwaarden te handhaven. In zulke uiterwaarden kan het opslibbingsproces doorgaan. Bij een verstandig beleid kan daar zoveel slib ingevangen worden, dat de baksteenindustrie voortdurend met deze grondstof vooruit kan.

We hebben er daarmee een belangrijke reden bij om ervoor te zorgen dat de gifstoffen uit de Rijn verdwijnen.

Wereld Natuur Fonds

POSTBUS 7 3700 AA ZEIST TELEFOON 03404 22164 TELEFAX 03404 12064