

EROSIE VAN  
RIVIEROEVERS

Ir. E. Mosselman

juli 1987

Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek,  
Sectie Waterbouwkunde

## INHOUDSOPGAVE

|   | <u>pagina</u> |
|---|---------------|
| 1 INLEIDING                                 | 1             |
| 2 OEVEREROSIE                               |               |
| 2.1 Algemeen                                | 4             |
| 2.2 Invloedsfactoren                        | 5             |
| 2.3 Meanderen                               | 11            |
| 3 MAATREGELEN TEGEN OEVEREROSIE             |               |
| 3.1 Algemeen                                | 15            |
| 3.2 Vegetatie                               | 17            |
| 3.3 Kribvakken                              | 23            |
| 4 WEGEN VOOR VERDER ONDERZOEK               |               |
| 4.1 Algemeen                                | 27            |
| 4.2 Meanderen                               | 28            |
| 4.3 Invloed van begroeiing op waterbeweging | 29            |
| 4.4 Stabiliteit van kribvakken              | 30            |
| REFERENTIES                                 | 33            |

## 1. INLEIDING

Oevers staan sinds kort in het middelpunt van de belangstelling bij beheerders van oppervlaktewateren in Nederland. Niet langer beschouwt men oevers slechts als randverschijnsel, maar als objecten met een duidelijk eigen plaats en functie.

Het streven om te komen tot een integraal waterbeleid leidt automatisch ook tot een meer integrale visie op oeverbeheer. Dit betekent dat er niet alleen aandacht wordt besteed aan de technische functies van oevers (verdediging, gladheid, afdichting, scheepvaart), maar ook aan andere functies, met name die aangaande natuur en recreatie.

Binnen Rijkswaterstaat heeft dit geleid tot de instelling van het Project Milieuvriendelijke Oevers (PMO). Tevens is in mei 1987 vanuit de Stichting CUR de preadviescommissie PC 59 gestart, die onderzoek betreffende constructieve aspecten van milieuvriendelijke oevers voorbereidt.

Binnen PMO of PC 59 is nog geen sluitende definitie van het begrip "milieuvriendelijke oever" overeengekomen. Milieuvriendelijk materiaalgebruik en gelijkenis met natuurlijke oevers lijken vanuit civiel-technisch gezichtspunt de twee essentiële componenten:

### Milieuvriendelijk materiaalgebruik:

- Er wordt geen / zo weinig mogelijk gebruik gemaakt van schadelijke stoffen die het water verontreinigen (geteerd hout, verontreinigde grond, etc.).
- Ongewenst grondstoffenverbruik wordt zoveel mogelijk vermeden (bijvoorbeeld tropisch hardhout in het licht van de grootschalige ontbossing).
- Hergebruik van materialen kan wenselijk zijn (bijvoorbeeld versleten autobanden, zie Perry (1981)).

### Gelijkenis met natuurlijke oevers:

Milieuvriendelijke oevers benaderen zoveel mogelijk natuurlijke oevers.

Wat in een bepaald gebied een natuurlijke oever is, wordt bepaald door de geomorfologische genese van het gebied en de daaruit volgende grondsoorten, vegetatie, etc. In ruimere zin kan men ook het traditionele cultuurlandschap daarin betrekken. Van geval tot geval moet het begrip "natuurlijke oever" concreet ingevuld worden door landschapskundigen en biologen.

Het zal duidelijk zijn dat technische eisen primair blijven en dat men daarom vrijwel nooit de echt natuurlijke situatie terug kan halen. Deze overweging heeft er in de Bondsrepubliek toe geleid dat men er liever de term "naturnahe Umgestaltung" dan "Renaturierung" gebruikt (Kern, 1986).

Met een zo natuurlijk mogelijke oever (netwerk van oevers) scheidt men tevens de randvoorwaarden voor het ontstaan van voor de streek karakteristieke planten- en diergemeenschappen.

De twee componenten kunnen strijdig zijn, bijvoorbeeld de toepassing van puin afkomstig van een sloop: milieuvriendelijk in de zin van hergebruik van materialen, niet milieuvriendelijk in

de zin van een zo natuurlijk mogelijke oever.

Een fraai voorbeeld van hoe men met een meer natuurlijke inrichting van oeverzones, in dit geval uiterwaarden, hoopt de oorspronkelijke flora en fauna in het nederlandse rivierengebied terug te halen, vormt het plan Ooievaar (de Bruin et al., 1986). In dit plan wil men meer terrein onder invloed van de rivierdynamiek brengen en in de juiste verhoudingen voorzien van rivierbegeleidend bos (oobos), open water (diep/ondiep, stromend/stagnant), moerassen en grazige vegetaties. Men verwacht daarmee uit Nederland verdwenen planten en dieren terug te halen, tot eland en bever toe. Met dit doel wil men de uiterwaarden door het plaatselijk slechten van de zomerkaden in open verbinding met het laagwaterbed brengen. De consequentie is wel dat grond onttrokken wordt aan de landbouw, maar dat past in de huidige economische politiek van de Europese Gemeenschap (Kern, 1986), (de Bruin et al., 1986).

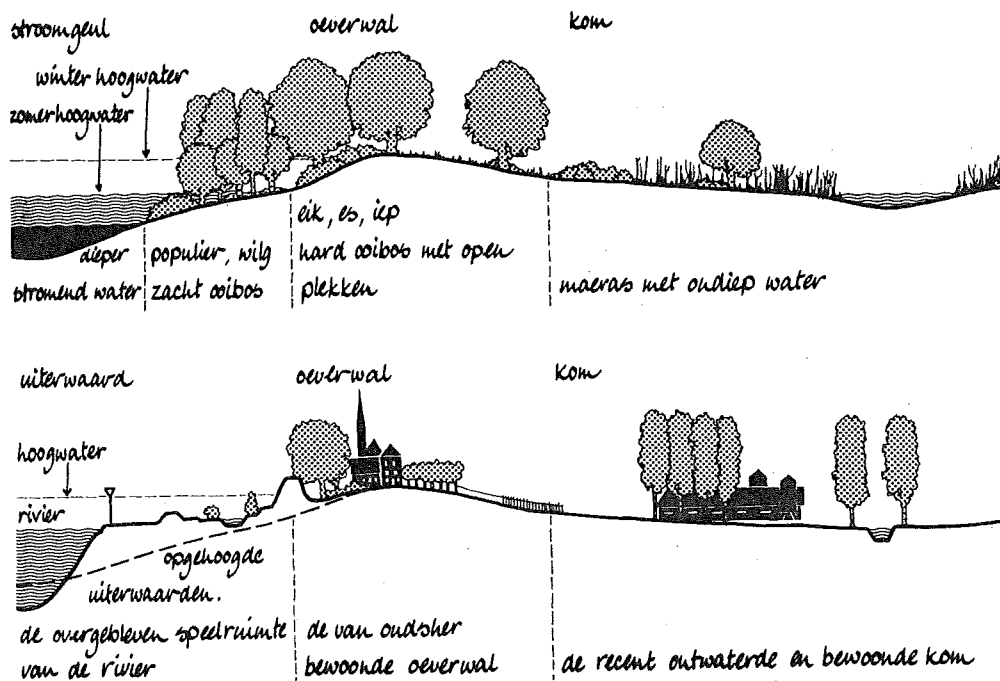


Fig 1.1 Een vergelijking tussen de natuurlijke en de huidige situatie langs de nederlandse rivieren.

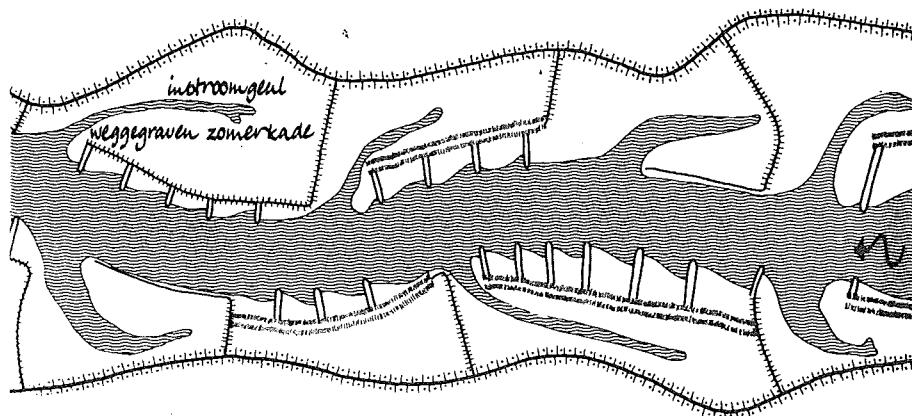


Fig 1.2 Plan Ooievaar.

Ter verkrijging van een zo natuurlijk mogelijke oever zal men in eerste instantie gebruik moeten maken van natuurlijke processen (morfologische processen, vegetatiegroei). Zijn de belastingen van een dussdanige aard dat toch een kunstmatige oeverbescherming aangebracht moet worden, dan ligt een flexibele constructie meer voor de hand dan een onvervormbare "harde". Flexibele constructies zijn constructies die onder invloed van belastingen (ongelijkmatige) zettingen van de ondergrond en ontgrondingen nabij de beëindigingen kunnen volgen zonder hun functie(s) te verliezen.

Het onderzoek waartoe dit rapport een aanzet vormt is geformuleerd vanuit PMO en PC 59. De oorspronkelijke opdracht luidt: "Onderzoek naar de belastingen en sterkte van natuurlijke oevers van waterlopen (al of niet verdedigd)" (Pilarczyk en Koolen, 1986). In een vergadering op 4 juni 1987 van vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat en de TU Delft is besloten het onderwerp te beperken tot rivieren. Meer specifiek gaat het om alluviale rivieren, dus geen getijrivieren. Alluviale rivieren zijn rivieren die in een bed stromen dat zij met hun eigen sediment hebben opgebouwd en nog steeds met dat sediment vormen en vervormen.

Dit rapport vormt een inventarisatie van wat bij de erosie van rivieroeveren een rol speelt: erosieprocessen en invloedsfactoren in hoofdstuk 2 en maatregelen daartegen in hoofdstuk 3. Gezien de context van het onderzoek ligt het accent op natuurlijke processen, dus op riviermorfologie (met name meanderen) en op de rol van vegetatie.

Kribben vormen een behoorlijk milieuvriendelijke oeververdediging, omdat de oevers van de tussenliggende kribvakken onbeschermd kunnen blijven. Onzeker is echter of deze verdediging ook goed blijft functioneren na invoering van de zesbaksduwvaart op de nederlandse grote rivieren. Daarom wordt ook op kribvakken dieper ingegaan.

Hoofdstuk 4 geeft een aantal mogelijke wegen voor verder onderzoek. De bedoeling is dat daaruit op basis van dit rapport een keuze wordt gemaakt. In concreto betekent dit een keuze tussen de onderwerpen "meanderen", "vegetatie" en "kribvakken".

## 2. OEVEREROSIE

### 2.1 Algemeen

Het is belangrijk onderscheid te maken tussen locale erosie en erosie die het gevolg is van grootschalige morfologische processen. Bij locale erosie verschuift de oever ter hoogte van de waterspiegel weliswaar landinwaarts, maar blijft de eigenlijke geul op zijn plaats. Met andere woorden, alleen het bovenste deel van de oever erodeert (Simons en Li, 1980). Bij niet locale erosie verplaatst de hele geul zich.

Locale maatregelen tegen erosie die het gevolg is van processen op grote schaal zullen nooit voldoen (Charlton, 1980).

Grootschalige morfologische processen komen tot uitdrukking in verticale verplaatsingen van de rivier (verandering in bodemligging) en in horizontale verplaatsingen (meanderen). Dat meanderen met oevererosie gepaard gaat spreekt voor zich, maar ook een verlaging van de bodem kan door ondermijning tot oevererosie leiden.

Dit verwijst al enigszins naar een tweede belangrijk onderscheid, namelijk dat tussen erosie van individuele gronddeeltjes en erosie via massabewegingen. Erosie van individuele gronddeeltjes komt in het hele bed voor. Massabewegingen zijn echter typische hellingprocessen en treden uitsluitend bij oevers en geulranden op. Een voorbeeld is het afschuiven van een stuk oever.

Paragraaf 2.2 geeft een overzicht van de verschillende factoren die bij oevererosie een rol spelen. Op het meanderen wordt ingegaan in paragraaf 2.3.

## 2.2 Invloedsfactoren

### 2.2.1 Hydraulische factoren

Tot de hydraulische invloedsfactoren moet men zowel de vloeistofeigenschappen als de waterbeweging rekenen.

Vloeistofeigenschappen zijn dichtheid en viscositeit. zwevend sediment beïnvloedt deze en daarmee ook de snelheidsverdeling, de schuifspanningen en de mate van erosie.

Waterbewegingen treden op ten gevolge van afvoer, scheepvaart en wind. De daardoor uitgeoefende krachten kunnen materiaal van bodem en oevers verplaatsen.

Simons en Li (1980) melden dat 90 tot 99 procent van de morfologische veranderingen tijdens hoge afvoeren gestalte krijgt. De extremen zijn maatgevend, met als belangrijke parameters de duur en de frequentie ervan. De erosie wordt veroorzaakt door de daarbij optredende hoge stroomsnelheden en waterstandsfluctuaties.

De variabele afvoer heeft overigens tot gevolg dat de parameters van een rivier nooit in evenwicht zijn. Het rivierbed verandert voortdurend mee. Erosie ten gevolge van hoge afvoeren kan daardoor bij lage afvoeren weer gedeeltelijk teniet gedaan worden.

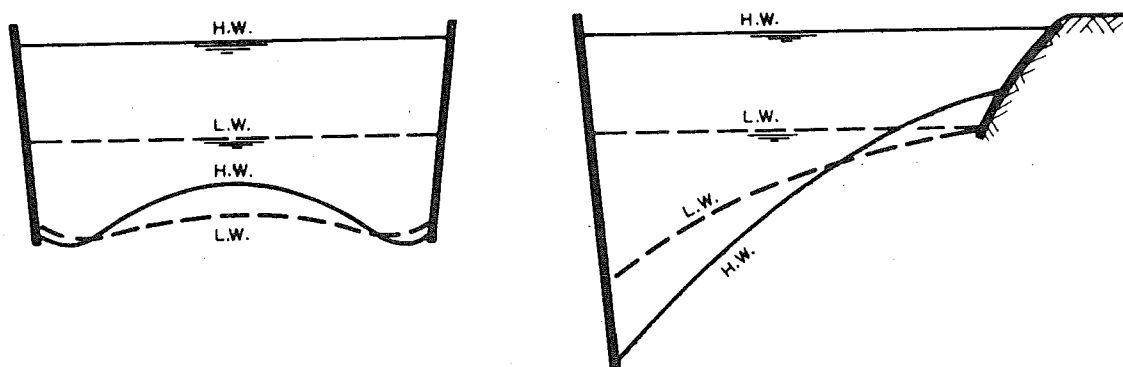


Fig 2.1 Verschillende "evenwichtsliggingen" van de bodem bij verschillende afvoeren.

Bij schepen onderscheidt men primaire waterbeweging (retourstroom en spiegeldaling), secundaire waterbeweging (divergerende en transversale golven, met interferentiepieken), boeggolf, haalgolf, volgstream en schroefstraal (Bouwmeester, 1987a). Ook de wind wekt golven op, die hoger zijn naarmate de beschikbare strijklengte groter is. Daarom wordt vooral de buitenbocht-oever benedenwinds van een in de windrichting liggend riviervak door windgolven bedreigd.

Bhowmik en Demissie (1983) zien wind- en scheepsgolven als de voornaamste oorzaak van oevererosie langs de Illinois River.

Belangrijk is het optreden van spiraalstromen in rivieren. Deze spelen een grote rol bij geul- en meandervorming. Een meanderende rivier bocht verder uit doordat de spiraalstroming oever- en bodemmateriaal van buitenbochten naar binnenbochten transporteert.

teert.

Grondwater beïnvloedt de stabiliteit van een oever. Het kan massabewegingen veroorzaken als afschuiven, kruipen of zelfs vloeien.

Inzijging tijdens een hoge rivierwaterstand werkt stabiliserend, maar de stromingsdruk van uittredend grondwater verlaagt de oeverstabiliteit. Veel bezwijkgevallen treden dan ook op als na een snelle daling van het rivierpeil het grondwaterpeil hoog blijft.

Golven kunnen zich in een oever voortplanten en lokaal tot zulke hoge waterspanningen leiden dat zettingsvloeiing optreedt, met massabewegingen als gevolg.

### 2.2.2 Oevereigenschappen

Natuurlijke oevers van een alluviale rivier bestaan uit granulair materiaal, cohesief materiaal of beide. In het laatste geval is er vaak sprake van opeenvolgende lagen met verschillende cohesie, te verklaren uit de achtereenvolgende sedimentaties in de geologische ontstaansgeschiedenis van een alluviale vlakte.

Cohesieve materialen onderscheiden zich van granulaire door een hoge weerstand tegen oppervlakteërosie en een lage doorlatendheid.

Een belangrijke parameter is de oeverhoogte, want die bepaalt hoeveel materiaal er bij erosie door het water afgevoerd moet worden.

De erodeerbaarheid van een oever hangt verder sterk af van de aanwezigheid van begroeiing of constructies. Daarop wordt in hoofdstuk 3 nader ingegaan.

#### Granulaire oevers

De erodeerbaarheid van granulaire oevers hangt af van korrel-eigenschappen als dichtheid, diameter, korrelverdeling, vorm en stapeling (poriëngehalte). De korrels laten zich door stromingskrachten (sleep- en liftkrachten) gemakkelijker in beweging brengen naarmate ze kleiner zijn. Zijn ze echter kleiner dan de in het stromingsbeeld aan te wijzen visceuze sublaag, dan hebben turbulente schuifspanningen geen invloed meer en komen de korrels pas bij hogere stroomsnelheden in beweging. Bij nog kleinere korrels speelt ook cohesie een rol. Dit verband wordt weergegeven in het diagram van Shields (figuur 2.2). Uit waarnemingen van de snelheid waarmee rivierbochten zich verplaatsen, destilleren Hickin en Nanson (1984) een soortgelijk verband tussen korrel-groottes van het oevermateriaal en kritische schuifspanningen.

Voor korrels op een talud moeten de kritische schuifspanningen uit het Shieldsdiagram met een reductiefactor vermenigvuldigd worden om recht te doen aan het effect van de zwaartekracht.

Als uit een mengsel van verschillende korreldiameters reeds fijnere korrels getransporteerd zijn, zodat in de bovenlaag relatief meer grove korrels aanwezig zijn die de overige fijnere korrels afschermen, kan verdere erosie onmogelijk worden. Dit verschijnsel noemt men "afpleistering".

Wanneer korrels aan de teen van de oever zijn weggenomen, kunnen bovenliggende korrels naar beneden rollen. Dit gebeurt volgens rechte vlakken waarvan de helling overeenkomt met het natuurlijk talud, in tegenstelling tot de ronde glijdvlakken van cohesieve



materialen (Hagerty, 1978).

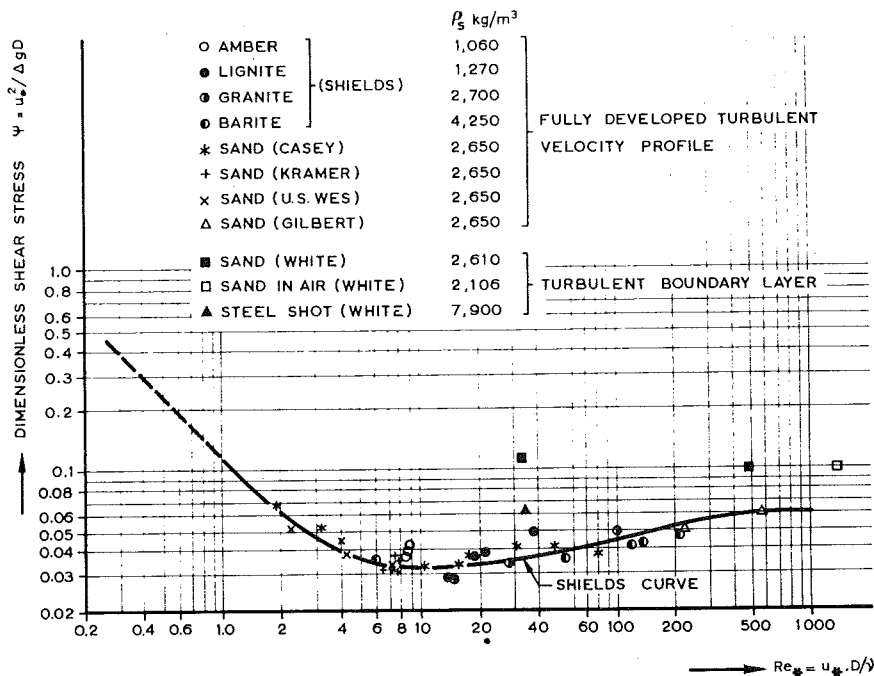


Fig 2.2 Diagram van Shields voor het begin van beweging, naar Jansen (1979).

### Cohesieve oevers

Cohesieve oevers hebben een hoge weerstand tegen oppervlakte-erosie. Het is nog altijd moeilijk om de erosieweerstand te kwantificeren, omdat deze afhangt van vele uiteenlopende parameters als kleigehalte, type kleimineraal, mate van verdichting, watergehalte, temperatuur en pH van de eroderende vloeistof, chemische eigenschappen van poriënvloeistof en eroderende vloeistof en ruwheid van het oppervlak waarop de eroderende vloeistof aangrijpt (Kamphuis en Hall, 1983).

Er is een verschil tussen de kritische snelheid waarbij erosie optreedt en die waarbij sedimentatie optreedt. Vooral voor de kleifractie liggen deze snelheden ver uitelkaar (figuur 2.3). Pas bij hoge stroomsnelheden wordt klei geërodeerd, maar een kleisuspensie sedimenteert slechts bij lage stroomsnelheden. De kromme voor het eroderen in figuur 2.3 is conform met het Shieldsdiagram voor het begin van beweging. Hoewel illustratief voor het feit dat de kritische snelheden voor erosie en sedimentatie niet identiek zijn, is dit uit 1935 stammende diagram van Hjulström wel achterhaald. De erosie kan men beter aan kritische schuifspanningen koppelen dan aan kritische snelheden.

Veel belangrijker echter dan oppervlakteerosie is bij cohesieve oevers het optreden van massabewegingen. Deze komen onder meer voor wanneer de oever ondermijnd wordt door oppervlakteerosie aan de teen of wanneer de oever verzadigd met water blijft tijdens een snelle daling van de rivierwaterstand. Het water in de oever

verlaagt de sterkte en draagt met zijn extra gewicht bovendien bij aan de aandrijvende kracht voor een eventuele afschuiving. Verder kunnen bij het drogen krimpscheuren ontstaan die zich tot glijdvlakken ontwikkelen. In de scheuren terecht komend water kan voor smering van de glijdvlakken zorgen (Charlton, 1980).

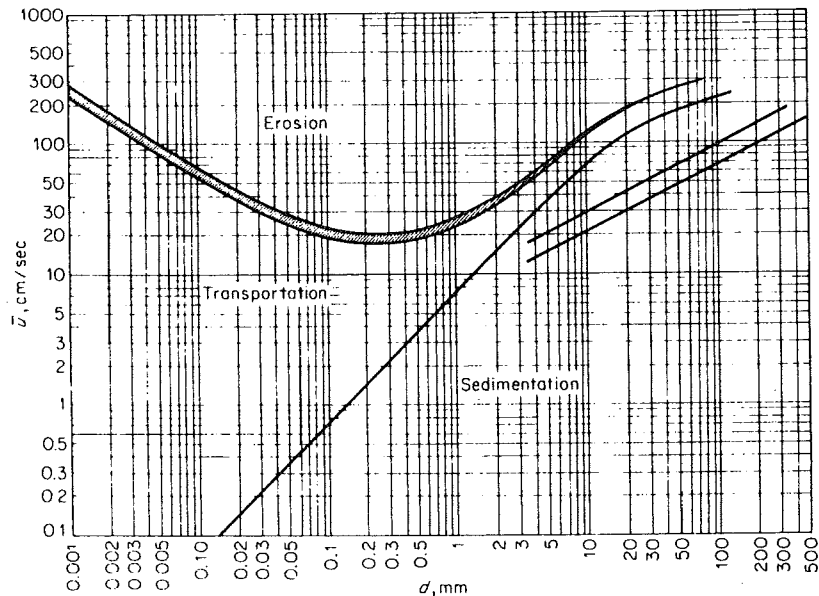


Fig 2.3 Kritische snelheden voor erosie en sedimentatie, aan Hjulström ontleend door Graf (1971).

### Gelaagde oevers

Een typisch erosiemechanisme van gelaagde oevers wordt beschreven door Simons en Li (1980):

Na het passeren van een hoogwatergolf is het rivierpeil gedaald, maar een uit granulaire en cohesieve lagen bestaande oever nog verzadigd met water. Grondwaterstroming naar buiten concentreert zich in de granulaire (watervoerende) lagen en neemt daaruit zanddeeltjes mee (piping). Na erosie van een watervoerende laag bezwijken de bovenliggende waterscheidende (cohesieve) lagen. Dit kan analoog aan het bezwijken van oevers na teenerosie gebeuren, maar ook volgens de door Springer et al. (1985) geanalyseerde "wedge failure", waarbij door krimpscheuren losgeraakte cohesieve delen van de oever over een granulaire laag rivierwaarts schuiven.

### 2.2.3 Geometrie

De mate waarin een oever wordt bedreigd hangt onder meer af van de taludsteilheid, de ligging in een binnen- of buitenbocht en de aanwezigheid van kribben.

### 2.2.4 Klimaat

Het klimaat bepaalt de rivierafvoer, de verwerking (en dus het af te voeren sediment), de intensiteit van de direct op de oevers vallende neerslag en de aanwezigheid van vegetatie. Verder

bepaalt het de voorkomende temperaturen.

De temperatuur beïnvloedt de viscositeit van het water en daarmee de optredende schuifspanningen. Tevens heeft zij invloed op erosieprocessen waarbij chemische of biologische factoren een rol spelen, en op het optreden van ijs.

IJs kan zowel in het rivierwater als in de oever bijdragen aan erosie.

IJsschotsen in de rivier kunnen delen van de oever uitschuren. Verder vergroot een ijsdek de stromingsweerstand, zodat het water stijgt en eventueel het land overstroomt. Daarbij worden de oevers mogelijk beschadigd. Vanuit dit oogpunt is een rivier met gladde oevers, zonder zandbanken of andere obstakels waarachter ijs kan accumuleren, het meest ideaal. De indruk bestaat overigens dat men door riviervervuiling en -verwarming steeds minder ijsgang op de nederlandse rivieren te duchten heeft (van Bendegom, 1979).

IJs in de grond kan oevermateriaal hellingafwaarts verplaatsen door "vorstcreep" en "gelifluctie" (Pannekoek en van Straaten, 1984).

Klimaatsveranderingen kunnen tot veranderingen van de zeespiegel leiden. Deze zeespiegel vormt de erosiebasis (benedenstroomse randvoorwaarde) voor een in zee uitstromende rivier, zodat wijziging ervan in principe om een morfologische aanpassing van de hele rivier vraagt. Oevererosie kan daarvan deel uitmaken. Dit is een actueel punt nu er gespeculeerd wordt over een versnelde zeespiegelrijzing ten gevolge van vervuiling van de atmosfeer.

#### 2.2.5 Bewegingen van de aardkorst

Vertikale bewegingen van de aardkorst beïnvloeden de riviermorfologie en kunnen dus tot erosie leiden. Bij een opheffing bijvoorbeeld zal een rivier zich dieper insnijden in het terrein (Pannekoek en van Straaten, 1984).

#### 2.2.6 Mechanische belastingen

Tot de mechanische belastingen behoren naast de reeds genoemde hydraulische belastingen:

- beschadigingen: door scheepsankers, strandende schepen, overboord geslagen deklasten, ijsschotsen, drijvend vuil, betreding of moedwillige vernieling;
- stoten: door drijvende objecten;
- trillingen: door verkeer of aardbevingen.

#### 2.2.7 Chemische factoren

Chemische stoffen kunnen oeververdedigingen aantasten. Plantengroei wordt erdoor beïnvloed. Bepaalde kleisoorten eroderen in zoet water gemakkelijker dan in zout water. Omgekeerd bevordert zout water het uitvlokken van een kleisuspensie (Graf, 1971). Volgens Parsons (1971) zijn in een waterloop grotere stroomsnelheden toelaatbaar als de pH van het water hoger is.

### 2.2.8 Biologische factoren

Biologische factoren die een oever bedreigen zijn: het graven van tunnels door dieren als de muskusrat, betreding door dieren (en mensen) en aantasting van constructies door paalwormen of algen. Ook plantengroei door een constructie kan een oeververdediging aantasten, maar vaak gaat vegetatie oevererosie juist tegen (paragraaf 3.2). Betreding en begrazing van de oevers kunnen de begroeiing bedreigen.

### 2.2.9 Invloed van de mens

Zowel directe ingrepen in rivieren (bijvoorbeeld de winning en lozing van water en sediment) als ingrepen in het stroomgebied (bijvoorbeeld ontbossing) beïnvloeden de riviermorfologie en kunnen dus tot erosie leiden.

Scheepvaart en recreatie leveren extra belastingen op oevers.

In feite spelen allerlei economische, politieke en sociale factoren een rol.

De mens is echter ook degene die maatregelen tegen oevererosie neemt. Een overzicht van mogelijke maatregelen wordt gegeven in hoofdstuk 3.

### 2.3 Meanderen

Door het vastleggen van de oevers zijn de rivieren in Nederland van het meanderende type. Ze worden gekenmerkt door een eenvoudige geul die bestaat uit een aaneenschakeling van bochten. Water nabij het oppervlak wordt minder door wrijving beïnvloedt dan water dichterbij de bodem en ondervindt daarom in bochten een kleinere centripetale versnelling. Zo ontstaat een spiraalstroming waarbij waterdeeltjes nabij de waterspiegel naar de buitenbocht bewegen en deeltjes nabij de bodem naar de binnenbocht. De bijbehorende bodemschuifspanning verplaatst bodemmateriaal in de richting van de binnenbocht. In de buitenbocht ontstaat een diepe geul, in de binnenbocht een zandbank, hetgeen doorgaat tot zich een evenwichtshelling in dwarsrichting heeft ingesteld. In het rechte stuk tussen twee bochten vindt men tussen de uitloper van de bovenstroomse geul aan de ene oever en het begin van de benedenstroomse geul aan de andere oever een ondiepe rivierovergang ("crossing").

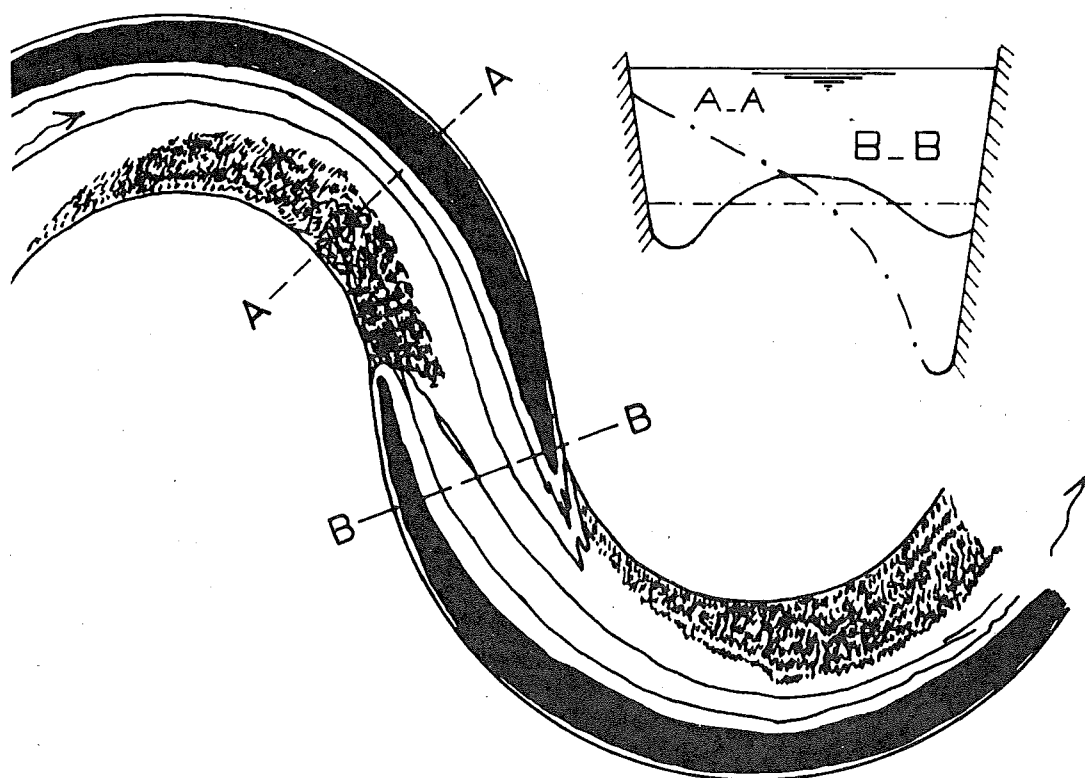


Fig 2.4 Bodemligging in een "crossing".

Vanuit de buitenbocht wordt door de spiraalstroom niet alleen bodemmateriaal naar de binnenbocht getransporteerd, maar ook oevermateriaal. Door deze oevererosie verplaatst de rivierbocht zich. Men onderscheidt translatie, waarbij de meanders met gelijkblijvende amplitude stroomafwaarts zakken, en extensie, waarbij de meanderamplitude toeneemt. Bij extensie bocht de rivier steeds verder uit, totdat kortsluiting optreedt en de dode tak als een hoefijzervormig meer achterblijft en geleidelijk dichtslibt. Ondertussen ontstaan weer nieuwe meanders.

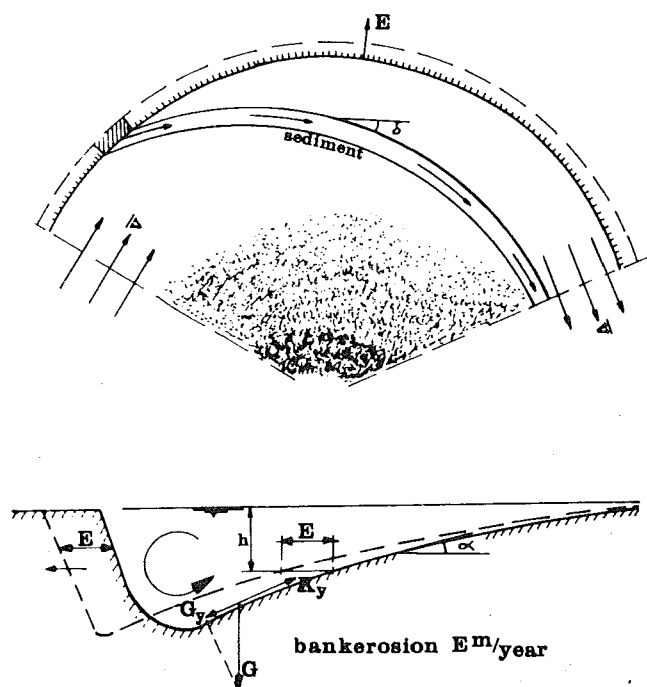


Fig 2.5 Zandtransport bij een opschuivende rivierbocht.

Het diepste deel van de geul en de grootste oevererosie treden niet in het midden van de bocht op, waar de rivier het meest gekromd is, maar meer benedenstrooms. Door haar traagheid heeft de stroming namelijk een zekere afstand nodig om zich aan de kromming van de rivier aan te passen. Eigenlijk zijn stroming en sedimentbeweging steeds bezig zich aan te passen aan een evenwichtssituatie, die niet bereikt wordt doordat de kromming stroomafwaarts gaande voortdurend verandert. Bovendien heeft niet alleen de stroming een zekere afstand nodig om zich aan het bed aan te passen, maar heeft het bed ook een zekere afstand nodig om zich aan de stroming aan te passen (Struiksma et al., 1985). De vorm van het dwarsprofiel laat zich door deze faseverschuiving niet alleen uit de lokale stromingssituatie verklaren. Voor voorspellingen over bodemligging en oevererosie moet men een heel riviervak in beschouwing nemen.

Een opeenvolging van meanders blijkt een meer natuurlijke en stabiele gedaante van rivieren te zijn dan een rechtlijnige loop. Het mechanisme waardoor een aanvankelijk rechte waterloop met onbeschermd oevers gaat meanderen is echter nog niet goed bekend. Onder anderen Shen (1983b) geeft een overzicht van de theorieën die er in omloop zijn.

Opvallend is de gelijkvormigheid van meanders op verschillende schalen. Voor stroming in een laboratoriumgoot gelden dezelfde empirische relaties tussen stroombreedte, meandergolflengte en kromming als voor grote rivieren. Nog opvallender is dat deze empirische geometrische relaties ook gelden voor meanders van stroming over ijs, waarbij geen sedimenttransport optreedt, en zelfs van meanders in de Golfstroom, die niet is ingesloten tussen geulranden (Leopold et al., 1964). Blijkbaar wordt het

meanderen primair door de stroming bepaald.

In Nederland bestaan nauwelijks meer vrij meanderende rivieren. Hun loop is met constructies vastgelegd. Toch is ook voor de nederlandse situatie kennis van het meanderen zinvol, bijvoorbeeld om te weten waar de oevers het zwaarst belast worden, of juist waar oeverbeschermingen onderbroken kunnen worden (Cunge, 1983). Dit laatste past goed in de filosofie van milieuvriendelijke oevers, evenals het idee dat men bij rivierverbetering de rivier niet moet forceren, maar ermee moet "samenwerken" (Winkley, 1983). Uit dit idee volgt dat men een rivier zoveel mogelijk speelruimte zou moeten geven, opdat een zo natuurlijk mogelijke situatie ontstaat die de randvoorwaarden biedt voor een gevariëerde, voor de streek karakteristieke flora en fauna. Keller en Brookes (1983) vermelden bijvoorbeeld dat meanderende rivieren een grotere biologische diversiteit en een grotere esthetische waarde kennen dan rechte waterlopen.

Een veelomvattend plan om de nederlandse grote rivieren meer speelruimte te geven is het plan Ooievaar (de Bruin et al., 1986). Verder zou men kunnen overwegen om ook een aantal gekanaliseerde beken weer te laten meanderen. In de Bondsrepubliek is dit onder andere uitgevoerd met een stuk van de Wiesack (Kern en Nadolny, 1986) en met waterlopen in Beieren (Keller en Brookes, 1983).

Voor de uitvoering van dit soort plannen is een goede kennis van de morfologische processen onontbeerlijk. Er bestaan inmiddels eendimensionale numerieke modellen voor morfologische veranderingen in het lengteprofiel van een rivier, zoals RIVMOR (Waterloopkundig Laboratorium) en ODIRMO (TU Delft). Een volledig tweedimensionaal numeriek model voor morfologische veranderingen in de plattegrond van een rivier is echter nog niet operationeel, al zijn er wel pogingen gedaan om met behulp van eenvoudiger modellen het meanderen te beschrijven:

Modellen waarbij de erosie een functie is van de geometrie in bovenaanzicht:

De meest eenvoudige meandermodellen maken geen gebruik van de beweging van water en sediment, maar koppelen de locale zijdelingse verplaatsing van de rivieras aan de locale geometrie van de plattegrond. Om precies te zijn, de locale zijdelingse verplaatsing is er een functie van de kromming ter plaatse en de kromming iets meer bovenstrooms. Dat ook de kromming bovenstrooms een rol speelt volgt uit het feit dat de stroming een zekere afstand nodig heeft om zich aan een veranderde kromming aan te passen.

Tot deze modellen behoren dat van Ferguson (1983) en dat van Howard (1983). Howard vermeldt dat zijn model achteraf in overeenstemming blijkt te zijn met de theoretische bochtvergelijking van Ikeda et al. (1981).

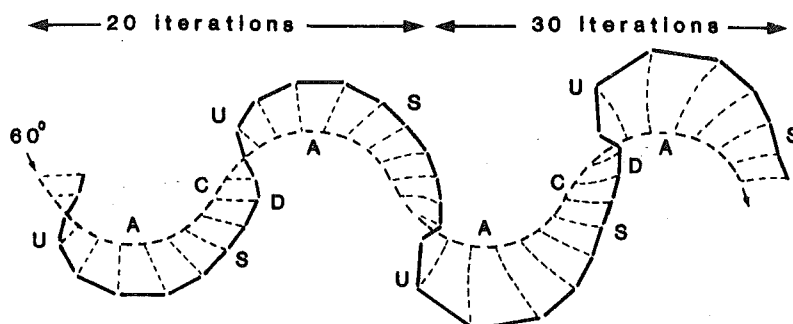


Fig 2.6 Meandersimulatie met het model van Ferguson (1983).

Een eendimensionaal model met kromming en erodeerbare oevers:

Ikeda et al. (1981) presenteren een meandermodel met twee differentiaalvergelijkingen:

- Een eendimensionale bewegingsvergelijking langs de oever, in de richting van de lokale rivieras.  
Het meerdimensionale karakter van de bochten is opgenomen in "krommingstermen", met daarin onder andere een parameter voor de ligging van de bodem in dwarsrichting.
- Een vergelijking voor de oevererosie.  
De oevererosie wordt evenredig gesteld met het verschil tussen de stroomsnelheid aan de oever en de gemiddelde stroomsnelheid.

In de afleiding is aangenomen dat de rivier niet sterk gekromd is.

Onder anderen heeft van der Linde (1985) een computerprogramma volgens dit model ontwikkeld en toegepast voor de Tana-rivier in Kenia.

Croisato is bezig dit model zodanig uit te breiden dat daarin ook rekening wordt gehouden met faseverschuivingen in de bodemligging.

Een tweedimensionaal model met vaste oevers:

Olesen (1987) heeft een tweedimensionaal model ontwikkeld voor de stroming en bodemligging in een matig gekromde alluviale rivier met vaste (vertikale) wanden. Een stabiliteitsanalyse van zijn model verklaart de ontwikkeling van alternerende zandbanken. Veel onderzoekers zien het ontstaan van alternerende zandbanken met daartussen een slingerende geul als het begin van meanderen. Olesen onderschrijft dit echter niet: de zandbanken verplaatsen zich te snel stroomafwaarts om een buitenbocht van de geul lang op één en dezelfde plaats van de oever te laten inwerken.

Verder onderzoek zou moeten leiden tot de ontwikkeling van een tweedimensionaal (horizontaal) morfologisch model met beweeglijke oevers. In paragraaf 4.2 wordt hierop verder ingegaan.



### 3. MAATREGELEN TEGEN OEVEREROSIE

#### 3.1 Algemeen

Oevererosie is te bestrijden door beïnvloeding van de beweging van water en sediment en door stabilisatie van de oever. Diverse maatregelen zijn mogelijk (Charlton, 1980), (Mertij, 1984):

#### Beïnvloeding van waterbeweging en sedimentbeweging

- Waterstanden beïnvloeden:  
Met regelbare stuwen kan men de waterstand in een rivier beheersen. Met name kan dan een snelle daling van de waterspiegel worden tegengegaan, die immers een veel voorkomend bezwijkmechanisme van oevers inluit. Waterspiegeldalingen ten gevolge van schepen kunnen gereduceerd worden door aan scheepvaart bepaalde beperkingen op te leggen, bijvoorbeeld ten aanzien van toelaatbaar scheepstype of toegestane vaarsnelheid.
- Stroomsnelheden beïnvloeden:  
Door de ruwheid van bodem of oevers te veranderen beïnvloedt men de optredende stroomsnelheden. Stromingen ten gevolge van schepen zijn te reduceren door bepaalde vaarrestricties in te stellen (scheepstype, vaarsnelheid, etc.).
- Stromingen afleiden:  
Met constructies als kribben, strekdammen, drempels, schermen en stroomgordijnen kan men stromingen van de oevers afhouden.
- Golven dempen:  
Golven zijn te dempen met behulp van strekdammen, drempels, ondiepe vooroevers, drijvende golfreductors, vegetatie, luchtbellenschermen en waterstraalschermen. Scheepsgolven kan men reduceren door bepaalde vaarrestricties in te stellen (scheepstype, vaarsnelheid, etc.).
- Spiraalstromingen induceren:  
Het is mogelijk om met schermen spiraalstromingen op te wekken die bodemmateriaal in de richting van de oevers transporteren. Deze schermen kunnen op bepaalde plaatsen in de rivier worden aangebracht (bandalling, Potapov-schermen, Iowa vanes (Odgaard en Kennedy, 1983)), of worden voortgetrokken door schepen.
- Sediment transporteren:  
Men kan morfologische processen bijsturen door uitbaggeren, suppleren of rondpompen van bodemmateriaal. Soms kan het voldoende zijn het materiaal op te woelen, waarna het water voor transport zorgt (agitation dredging).

#### Beïnvloeding van de oeverstabiliteit

- Oeverbodembeschermen met flexibele constructies:  
Voorbeelden van flexibele constructies zijn:
  - los materiaal, van slakken en puin tot stenen en blokken;
  - matten;
  - kunststof worsten;
  - gabions (ook wel "schanskorven" of "keienpakwerk" genoemd);

- vegetatie, bijvoorbeeld een goed doorwortelde grasmat. Belangrijk is het onderscheid tussen open en gesloten constructies. Bij open constructies is gewoonlijk een filter nodig, dat ervoor zorgt dat water wel uit kan treden, maar daarbij geen gronddeeltjes kan meevoeren.
- Oeverbodembeschermen met niet-flexibele constructies: Voorbeelden van niet-flexibele constructies zijn muren, damwanden, gesloten palenrijen en caissons.
- Oever verstevigen: Voorbeelden van oeververstevigingen zijn verdichting, injectie met cement en terre armée.
- De netto aandrijvende kracht voor een eventuele afschuiving verkleinen: Maatregelen om deze aandrijvende kracht te verkleinen zijn: verkleining van de taludhelling, vermindering van de bovenbelasting op de oever en het aanbrengen van een belasting tegen het lagere deel van het talud.
- Drainage: Veel bezwijkgevallen treden op wanneer oevers verzadigd zijn met water en het peil van het oppervlaktewater zover gedaald is dat dit geen tegendruk kan leveren. Met een goede drainage wordt dit zo veel mogelijk voorkomen. Blijft het freatisch vlak in de oever hoog ten gevolge van een continue grondwateraanvoer vanuit de landzijde, dan kan men de oever daarvan afsluiten door bijvoorbeeld een damwand te heien.

Wie streeft naar milieuvriendelijke oevers zal zijn maatregelen tegen erosie bij voorkeur zo kiezen dat een zo natuurlijk mogelijke oever gehandhaafd blijft. Het ligt dan voor de hand om gebruik te maken van natuurlijke processen, zoals morfologische processen en vegetatiegroei. Vegetatie stabiliseert oevers en beïnvloedt de water- en sedimentbeweging. Hierop wordt in paragraaf 3.2 nader ingegaan. Combinatie met kunstmatige constructies kan zeer goede oplossingen bieden: RVBP (=Reinforced Vegetative Bank Protection).

Kribben vormen een behoorlijk milieuvriendelijke oeververdediging, omdat de oevers van de tussenliggende kribvakken in een tamelijk natuurlijke staat kunnen blijven. Men zou zelfs kunnen beweren dat de kribben zelf inmiddels deel uitmaken van het traditionele cultuurlandschap van de nederlandse rivieren. Paragraaf 3.3 geeft enige informatie over kribvakken.

## 3.2 Vegetatie

### 3.2.1 Soorten

Naar de plaats van voorkomen kan men riviervegetatie als volgt indelen (van Bendegom, 1979), (de Bruin et al., 1986):

- Onder water groeiende planten:  
Deze zal men in stromende rivieren weinig aantreffen.
- Drijvende planten:  
Deze komen vooral in tropische rivieren soms overvloedig voor. Voorbeelden zijn de waterhyacinth (een lelieachtige waterplant) en watersla (lettuce).
- Onder water wortelende oever- en moerasplanten:  
In Nederland behoren hiertoe riet, bies, rietgras en grote lisdodde; in het buitenland verder nog papyrus, luchtwortelbomen als mangrove (voorkomend in vloedbossen op slibrijke bodems), Nipa-palm en bamboe.  
Om de vegetatie in stand te houden mogen de waterstandsvariatiaties niet te groot zijn.
- Boven water groeiende planten die periodiek in het groeiseizoen worden overstroomd. Hiertoe behoren de grassen van de uiterwaarden en de wilgen en zwarte populieren van het zacht hout-ooibos.
- Het hardhout-ooibos, dat slechts gedurende perioden buiten het groeiseizoen wordt overstroomd. In Nederland vormen eik, iep, es, meidoorn en sleedoorn de natuurlijke vegetatie van dit ooibos.

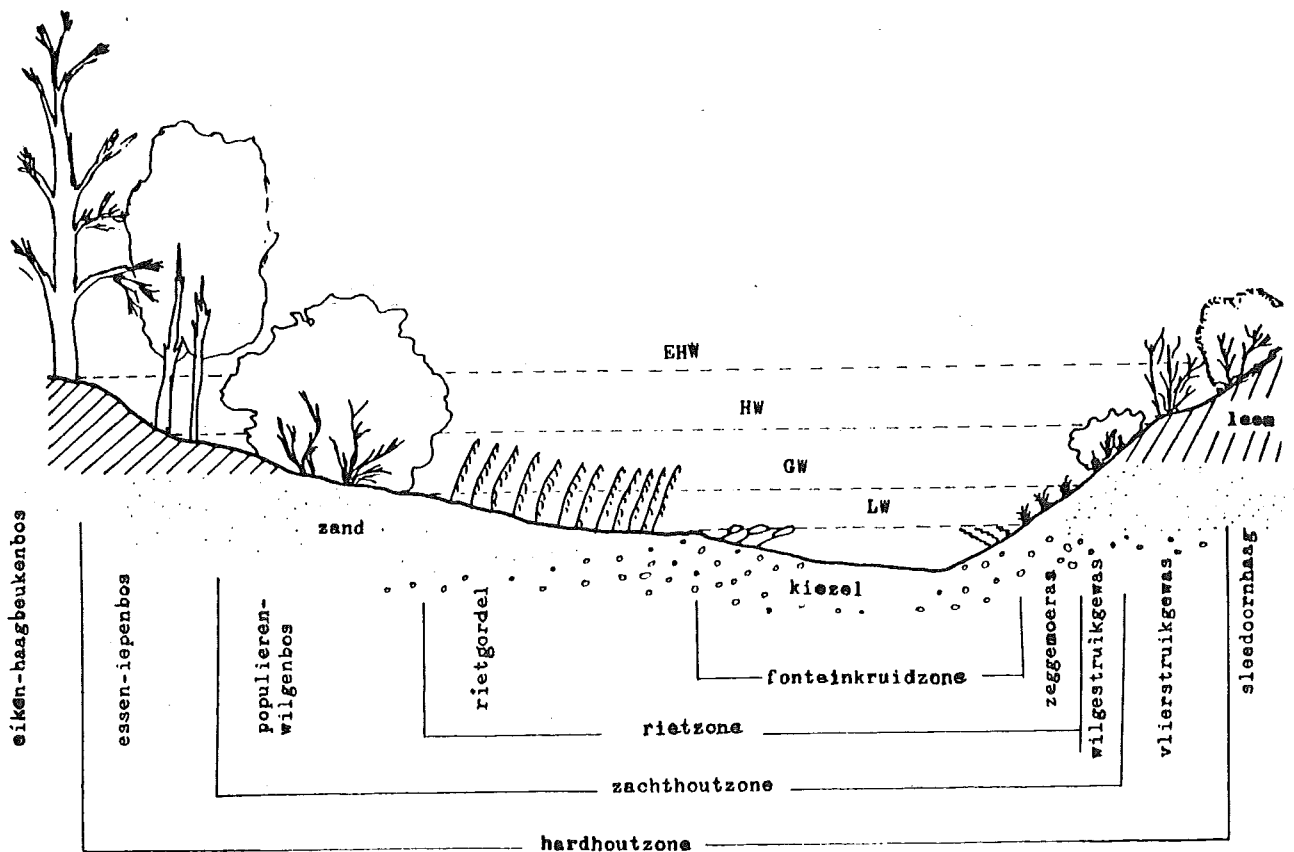


Fig 3.1 Zonering van oevervegetatie.

Bij de toepassing van vegetatie als oeververdediging denkt men in Nederland vaak het eerst aan riet. Het behoort tot de familie der grassen en komt in Nederland in slechts één soort voor: *Phragmites australis*. Daarbinnen zijn echter vier rassen of ecotypen te onderscheiden, elk met specifieke groeieigenschappen: zandriet, veenriet, rivierriet en zoutriet (Anonymus, 1986). Rivierriet is langstengelig riet met een geringe stengeldichtheid (Natuurbeschermingsraad, 1986).

Stengel en wortels van riet kunnen aan de oppervlakte gaan drijven en zo een kragge of zod gaan vormen. Dit drijvende riet vormt een steeds dichter wordende mat, waarop na een aantal jaren te lopen is. Aanvankelijk golft de kragge onder de voeten en trapt men er gemakkelijk doorheen, maar geleidelijk wordt deze steviger en dikker. Zo treedt verlanding op. Soms raken stukken los en ontstaan drijfkillen (Anonymus, 1986), (Staatsbosbeheer, 1985).

### 3.2.2 Invloed op water en oevers

Begroeiing stabiliseert oevers, reduceert stroming en golven, maar verhoogt de turbulentie. Een nadere bespreking volgt hieronder:

#### Stroming

Vegetatie verhoogt de stromingsweerstand:

- Individuele planten fungeren als aangestroomde lichamen met een vormweerstand en een huidweerstand. Vergeleken met de bodemwrijving leveren zij een grote weerstandskracht (Larsen, 1986).
- Drijvende planten verkleinen de hydraulische straal. Er zijn dan meer begrenzende oppervlakken waarlangs wrijving optreedt.
- Vegetatie is relatief ruw. Gras op een overstroomd weiland heeft een equivalente zandruwheid van 7 cm (Klaassen en van der Zwaard, 1973).
- Wanneer in een dwarsprofiel zones met verschillende stromingsweerstand, en daardoor verschillende stroomsnelheden, voorkomen, wordt tussen deze zones door turbulente menging impuls uitgewisseld. Langs de begrenzing tussen de twee zones drijven schuifspanningen wervels met verticale assen aan. Deze grotere wervels drijven kleinere wervels aan, die op hun beurt weer nog kleinere aandrijven totdat uiteindelijk de kleinste wervels, hoewel die nog vele malen groter dan moleculen zijn, de moleculaire warmtebeweging beïnvloeden. Zo wordt kinetische energie gedissipeerd (Myers en Elsayy, 1975), (Rajaratnam en Ahmadi, 1981).

Voor een vegetatiezoom is deze interactie nader onderzocht door Kaiser (1984). In een laboratoriumgoot nam Kaiser tevens zichzelf opslingerende dwarsgolven waar, maar hij verwacht dat deze in natuurlijke, minder homogene waterlopen niet zullen optreden.

- Een laatste, waarschijnlijk minder doorslaggevende factor is dat wortels de bodemruwheid vergroten (Rijkswaterstaat, 1986).

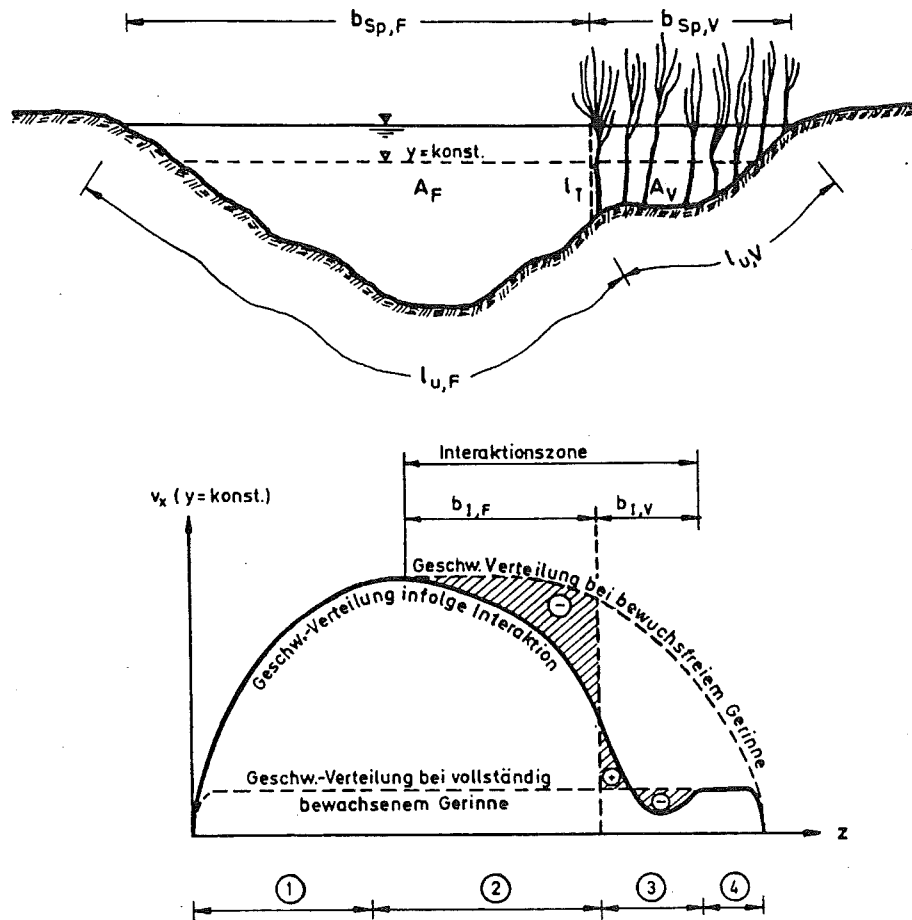


Fig 3.2 Invloed van een vegetatiezoom op de (tijdsgemiddelde) stroomsnelheidsverdeling volgens Kaiser (1984).

In verschillende universiteiten in de Bondsrepubliek wordt onderzoek verricht aan de stroming in een goot met gesimuleerde vegetatie in de vorm van verticale staafjes: in Aken (Pasche en Rouvé, 1985), Darmstadt (Kaiser, 1984) en Karlsruhe (Larsen, 1986).

#### Golfdemping

Vegetatie kan golven dempen door middel van dissipatie en absorptie van golfenergie:

- Dissipatie treedt op door wrijving en turbulentie tussen de planten. De wrijving werkt niet alleen aan de bodem, maar over de gehele hoogte, zodat er geen overstortende brekers ontstaan. Men zou kunnen zeggen dat begroeiing ervoor zorgt dat "spilling breakers" in plaats van "plunging breakers" optreden.
  - Absorptie geschiedt door inelastische vervorming van een drijvend vegetatiedek, waarbij de vervormingsenergie door inwendige wrijving in warmte wordt omgezet.
- Als riet door de wind wordt neergeblazen vormt het ook een

soort drijvende matras op het wateroppervlak. Riet dempt windgolven dus volgens een essentieel ander mechanisme dan scheepsgolven (Bouwmeester, 1987b).

Kragge (drijvend riet) achten Hagemeyer en Sessink (1982) echter niet geschikt als oeververdediging, omdat het gemakkelijk door wind en stroming losgeslagen kan worden. Men zou kunnen overwegen de drijvende mat te wapenen, maar kraggevorming is doorgaans juist niet gewenst omdat het deel uitmaakt van het verlandingsproces. Rietvegetatie moet daarom regelmatig onderhouden worden (maaien, branden, etc.) (Anonymus, 1986).

Parameters die de golfdemping beïnvloeden zijn (Rijkswaterstaat, 1986): de stengeldiameter, de stengeldichtheid, de waterdiepte, de stengelstijfheid, de breedte van de kraag, het effect van de pluim en de bladeren (luchtweerstand) en de hoeveelheid in beweging te zetten droge stof.

Als riet in de winter gemaaid wordt behoudt het desondanks een golfdempende werking. Er blijft een stevige stoppel over (Sessink, 1985), die in de late herfst verhout is (Hagemeyer en Sessink, 1982).

Inmiddels zijn er de nodige prototypemetingen verricht aan golfdemping in vegetatiegordels, maar een theoretische onderbouwing ontbreekt nog. In dat opzicht blijft onderzoek naar de invloed van begroeiing op golven achter op onderzoek naar de invloed op stroming. In paragraaf 4.3 wordt hierop verder ingegaan.

#### Zelfreiniging

Vegetatie vergroot het zelfreinigend vermogen van water:

- door de plant zelf (althans bij riet) (Anonymus, 1986);
- door micro-organismen (althans bij riet) (Anonymus, 1986);
- door verhoging van de turbulentie, en dus de zuurstofopname (Kern, 1986).

#### Aanzanding en ontgronding

Vegetatie reduceert stroomsnelheden, waardoor aanzanding kan optreden, onderschept meegevoerd sediment en levert na afsterven organisch bodem- en oevermateriaal (veen).

Vegetatie kan echter ook erosie veroorzaken (Kaiser, 1984): Begroeiing verhoogt de stroomweerstand, hetgeen bij gelijkblijvende afvoer een waterspiegelverhoging geeft. Dit leidt tot een vergroting van de gemiddelde schuifspanning op bodem en wanden, en dus mogelijk tot erosie. Daarnaast zorgt de hogere turbulentie rond de overgang van begroeiing op vegetatievrije zone voor ontgrondingen langs de vegetatierand. Bovendien brengen waterbewegingen dwars op de hoofdstroming gronddeeltjes uit de vegetatiezone naar de transportzone, zodat zelfs tussen de planten erosie optreedt.

#### Oeverstabilisatie

Het wortelstelsel van begroeiing bindt de bodem. De langere wortels van houtachtige planten (bomen, struiken) vormen een door potentiële oeverglijdvlakken heen stekende verankering die afschuiven tegengaat. Deze verankering blijft ook na het afsterven van de bomen of struiken behouden. Eventueel ontstaan

daaruit weer nieuwe spruiten (Willy, 1986). Bomen op de oever maken dus een steiler talud en daarmee een groter dwarsprofiel van de waterloop mogelijk. Daar staat tegenover dat bij overstroming bomen ontgrondingen aan de lijzijde kunnen veroorzaken die de stabiliteit van de oever in gevaar brengen (Willy, 1986). Verder kunnen bomen die ten gevolge van oevererosie in de rivier terecht komen "snags" vormen waarop schepen lek kunnen stoten (Hagerty, 1978), (van Bendegom, 1979). Een grondig doorwortelde oever weerhoudt muskusratten en andere dieren ervan tunnels te graven (Willy, 1986).

Zowel Gray et al. (1980) als Willy (1986) vermelden dat het drainerend effect van wortels de oeverstabiliteit positief beïnvloedt. Winders en Fryer (1981) stellen daarentegen dat een wortelstelsel zoveel water aan een oever kan onttrekken dat deze uitdroogt en scheuren ontwikkelt, hetgeen een negatieve uitwerking op de oeverstabiliteit heeft. Volgens Dharamdial et al. (1986) echter gaat een wortelstelsel de ontwikkeling van scheuren juist tegen.

Een grasachtig vegetatiedek beschermt oevers ook tegen erosie ten gevolge van neerslag, en wel door directe interceptie, door afremming en filtering van de oppervlakteafstroming en door handhaving van een goede infiltratie (Gray et al., 1980).

Een belangrijke eigenschap van vegetatie is tenslotte nog dat het zichzelf verjongt en tot op zekere hoogte herstelt.

### 3.2.3 Milieufactoren

Ofschoon in staat oevers te beschermen, is vegetatie ook kwetsbaar. Milieufactoren beïnvloeden planten, hetgeen af te meten is aan groeiparameters als stengeldichtheid, stengellengte en groeisnelheid. In meer extreme zin bepalen ze of vegetatie in stand blijft of afsterft.

De volgende milieufactoren spelen bij oevervegetatie een rol (Hagemeyer en Sessink, 1982):

#### Waterdiepte

Riet is mogelijk in water tot 2 meter diep, mits de andere milieufactoren gunstig zijn. In druk bevaren kanalen komt riet voor bij waterdiepten van maximaal 60 cm (Anonymus, 1986).

Bij "levendig" scheepvaartverkeer zijn waterdiepten tot 80 cm mogelijk (Hagemeyer en Sessink, 1982).

#### Waterstandsfluctuaties

Een verhoging van de waterstand kan leiden tot massaal afsterven van riet. Een verlaging kan indirect zorgen voor achteruitgang doordat de concurrentiekracht ten opzichte van andere soorten afneemt (anonymus, 1986).

Riet kan waterstandswisselingen van 50 cm verdragen (Sessink, 1985).

Kragge (drijvend riet) is ongevoelig voor waterstandsfluctuaties. Zegge overleeft aanzienlijke fluctuaties (Willy, 1986).

#### Stroming

Wilgen kunnen grote stroomsnelheden weerstaan (Willy, 1986).

Riet groeit niet bij stroomsnelheden boven 2 m/s (Anonymus, 1986).

Golven

Ondanks de golfdempende werking van rietkragen kan riet geen hevige golfslag verdragen. Vooral jonge aanplant is kwetsbaar (Sessink, 1985).

Substraat (samenstelling van de ondergrond)

Riet groeit niet goed in een pure zand- of kiezelbodem zonder voedingswaarde (Hagemeyer en Sessink, 1982).

Seizoen

Planten kennen vaak een groeiperiode en een rustperiode. In de groeiperiode is vegetatie kwetsbaarder dan in de rustperiode. Zo heeft een langdurige overstroming van gras in de winter (rustperiode) weinig invloed, maar kan een korte overstroming in de zomer (groeiperiode) reeds een sterke teruggang betekenen (van Bendegom, 1979).

Een gezonde rietkraag kan vorstschade (doorgaans optredend in de rustperiode) goed verwerken (Sessink, 1985).

WindLichtOevervorm en taludhelling

Onderspoeling van de wortellaag is vaak een probleem. Combinatie met een kunstmatige oeververdediging is dan zinvol (Hagemeyer en Sessink, 1982).

Drijfvuil

Drijvend vuil kan bij vegetatie accumuleren en zo de stroming beïnvloeden (Willy, 1986). Indirect beïnvloedt dit ook de vegetatie.

Drijfvuil beschadigt of vernietigt riet. Vooral jonge riet-scheuten zijn erg kwetsbaar (Sessink, 1985).

BetredingBegrazingWaterkwaliteit

Eutrofiëgraad en chemische samenstelling hebben invloed op begroeiing.

Onderhoud en beheer

Wanneer men riet zich ongestoord laat ontwikkelen ontstaan kraggevorming en verlanding. Andere vegetatie zal vervolgens het riet verdringen (Anonymus, 1986).



### 3.3 Kribvakken

Kribben zijn langwerpige, al of niet doorlatende constructies die vanaf de oever in een rivier steken. Ze dienen om de stroming te concentreren ter verkrijging van een geul met gewenste ligging en afmetingen en om de stroming van de oever af te leiden.

Belangrijke variabelen zijn kribvorm (in bovenaanzicht), hoek ten opzichte van de oever, kribvakafmetingen (kribdiepte en kribafstand), kruinhoogte, helling van de kribkop en doorlatendheid.

#### Kribvorm

Figuur 3.3 toont een aantal mogelijke configuraties. De L-vormige constructies vormen in feite een overgang tussen kribben en strekdammen. Uit literatuuronderzoek van Richardson et al. (1975) blijkt dat de L-vormige kribben meer sedimentatie in de kribvakken leveren, minder ontgrondingen bij de kribkoppen geven, oevers beter beschermen en tot effectievere geulvorming kunnen leiden dan gewone rechte kribben.

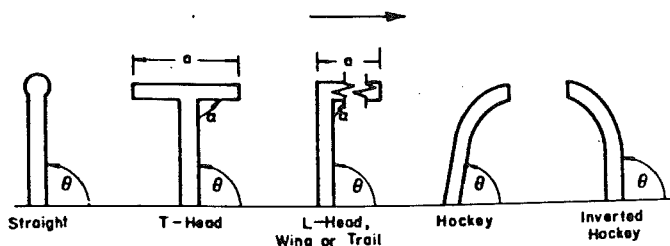


Fig 3.3 Kribvormen, ontleend aan Richardson et al. (1975).

#### Hoek ten opzichte van de oever

Een bespreking van de literatuur over dit onderwerp door Copeland (1983) laat zien dat er een behoorlijke controverse is tussen voorstanders van stroomopwaarts wijzende kribben (inclinante kribben) en van stroomafwaarts wijzende kribben (declinante kribben). De volgende voordelen worden door de partijen genoemd:

#### Voordelen stroomopwaarts wijzende kribben:

- Als een krib overstroomd wordt, staat de stroomrichting loodrecht op de as van de krib. Bij stroomopwaarts wijzende kribben wordt de stroming dus naar het midden geleid, bij stroomafwaarts wijzende naar de oevers.
- Bij stroomopwaarts wijzende kribben is sedimentatie aan de bovenstroomse zijde van de krib het meest waarschijnlijk. Deze zijde en de nabijgelegen oever behoeven daarom niet zwaar verdedigd te worden.
- Een stroomopwaarts wijzende krib brengt de ontgrondingskuil aan het uiteinde minder dicht bij de oever dan een stroomafwaarts wijzende krib.

#### Voordelen stroomafwaarts wijzende kribben:

- Bij een stroomafwaarts wijzende krib treedt minder turbulentie en een geringere ontgrondingsdiepte op aan het uiteinde.
- Bij een stroomafwaarts wijzende krib wordt de ontgrondings-

kuil van de krib af gericht.

- Vuil en ijs zullen achter een stroomafwaarts wijzende krib minder snel ophopen dan achter een stroomopwaarts wijzende krib.

Op basis van het handboek van Press (1956), literatuuronderzoek van Richardson et al. (1975), literatuuronderzoek en schaalmodelproeven van Copeland (1983) en recente schaalmodelproeven van Akantisz-Kornis en Gayer (1986) lijkt men de controversie te kunnen opheffen met de conclusie dat een stroomopwaartse oriëntatie de voorkeur verdient bij overstroombare kribben, en een stroomafwaartse oriëntatie bij niet overstroombare kribben. Het eerste geval vindt men doorgaans in de praktijk, maar het tweede is vaak in schaalmodellen onderzocht. Kribben loodrecht op de oever zijn in ieder geval de goedkoopste oplossing: zij vormen de kortste verbinding tussen kribkop en oever.

#### Kribdiepte en kribafstand

De kribdiepte is gelijk aan de afstand van de kribkop naar de oevers. Voor kribben loodrecht op de oever is de kribdiepte gelijk aan de kriblengte.

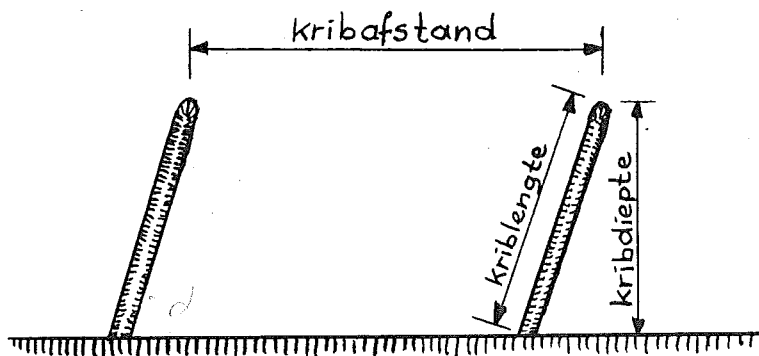


Fig 3.4 Kribdiepte en kribafstand.

De benodigde verhouding kribdiepte/kribafstand is voor oeverbescherming minder dan voor het creëren van scheepvaartgeulen. Literatuuronderzoek door Richardson et al. (1975) geeft aan dat voor oeverbescherming kribafstanden worden gebruikt van 2 tot 6 maal de kribdiepte, en ter verkrijging van een goed gedefiniëerde diepe geul kribafstanden van 1,5 tot 2 maal de kribdiepte. In het laatste geval is het de bedoeling dat zich in het kribvak een enkelvoudige elliptische neer ontwikkelt die optimale stroomgeleiding geeft.

Ter verzekering van terugstroming in de neer is de kribafstand gebonden aan een maximum dat afhangt van de waterdiepte en de bodemruwheid (van Bendegom, 1979).

#### Kruinhoogte

De kruinhoogte bepaalt bij welke afvoer de krib overstroomd wordt, en dus bij welke afvoer de stroomvoerende breedte toeneemt. Het al of niet overstroombaar zijn heeft invloed op de keuze van de hoek van de krib met de oever: stroomopwaarts wijzend of stroomafwaarts wijzend.

De kruin kan horizontaal lopen, of schuin aflopen van de oever naar het uiteinde in de rivier. Bij schuin aflopende kruin neemt de stroomvoerende breedte geleidelijk toe met stijgende afvoer,

hetgeen stroomsnelheden reduceert. Kribben met schuinafloppe kruin geleiden bovendien de stroom bij dalende afvoer effectiever terug naar het laagwaterbed en concentreren de stroming niet voor elke afvoer op dezelfde plaats (Richardson et al., 1975).

#### Helling van de kribkop

De Vries (1986) merkt op dat de ontgroning achter de kribkop waarschijnlijk sterk bepaald wordt door de helling van de kop aan de rivierzijde. Bij een flauwere helling is de ontgrondingskuil ondieper of zelfs afwezig.

#### Doorlatendheid

Een krib kan open zijn, zodat water er met een gereduceerde snelheid doorheen kan stromen, of gesloten, zodat de stroming er volledig wordt geblokkeerd. De doorlatendheid van een krib beïnvloedt het stromingsbeeld en dus de werking van de constructie. Open kribben geven locale ontgroningen achter de individuele palen te zien, gesloten kribben een ontgrondingskuil stroomafwaarts van de kribkop (de Vries, 1986), (Miller et al., 1983).

Kennis van de invloed van de genoemde variabelen berust nog hoofdzakelijk op ervaring en enkele onderzoeken met schaalmodellen. Een theoretische onderbouwing ontbreekt (Copeland, 1983).

Verder onderzoek zou moeten leiden tot een relatie tussen riviergeometrie, afvoer, sedimenttransport en oever- en bodem-materiaal enerzijds en een optimaal kribvakontwerp anderzijds.

Rijkswaterstaat zou daarop gesuperponeerd graag de invloed van scheepvaart onderzocht willen zien, mede in verband met de in te voeren zesbaksduwvaart.

Voor erosie is vooral de geladen duwvaart van belang. Deze komt overwegend voor in opvaart. Zesbaksduwstellen varen dan in de lange formatie, dat wil zeggen met drie bakken in lengterichting en twee bakken in breedterichting. Deze hebben een langere passagetijd, waardoor de resulterende belastingen langer aanhouden. Verder zijn ze langer dan kribvakken, zodat zij een ander stroombeeld te zien zullen geven dan vierbaksduwstellen. Daar staat tegenover dat zesbaksduwstellen bij een zelfde motorvermogen van de duwboot langzamer varen dan vierbaksduwstellen, en bij een zelfde hoeveelheid te vervoeren goederen minder passages leveren.

In de proefperiode zesbaksduwvaart (globaal het jaar 1986) is onderzoek verricht naar onder meer de oevererosie. Enkele conclusies daaruit zijn (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1987):

- In de huidige situatie zijn vrijwel alle oevers op het traject Rotterdam - Duitsland onderhevig aan erosie, deels veroorzaakt door scheepvaart, deels door natuurlijke oorzaken;
- Vooral de geladen duwvaart is voor erosie van belang. Deze komt overwegend voor in opvaart langs de zuidoever. Er is echter geen duidelijk verschil in erosie tussen noord- en zuidoevers te vinden;
- Voor oevers zonder kribben is de erosie bij zesbaksduwvaart ongeveer gelijk aan die bij vierbaksduwvaart;

- Onderzoek in een schaalmodel met kribben geeft aan dat zesbaksduwvaart een grotere verlaging van de kribvakbodem tot gevolg kan hebben dan vierbaksduwvaart. Deze vooroevererosie kan leiden tot terugschrijden van de oeverlijn en instabiliteit van de kribben;
- Of invoering van zesbaksduwvaart netto extra erosie veroorzaakt ten opzichte van de huidige vierbaksduwvaart is sterk afhankelijk van het "herstellend", dat wil zeggen aanzandend vermogen van een kribvak. Omdat hierover weinig bekend is, is onderzoek hiernaar gewenst.

In paragraaf 4.4 wordt op mogelijk onderzoek naar de stabiliteit van kribvakken nader ingegaan.

#### 4. WEGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

##### 4.1 Algemeen

Gezien het grote aantal factoren dat een rol speelt, is een groot aantal onderzoeken met betrekking tot de erosie van rivieroever denkbaar. Tegen de achtergrond van het Project Milieuvriendelijke Oevers komen vooral de volgende onderwerpen in aanmerking:

- de erodeerbaarheid van cohesieve gronden;
- de invloed van beworteling op de grondmechanische eigenschappen van oevers;
- de invloed van waterbewegingen op de groeiparameters van riviervegetatie;
- de invloed van begroeiing op waterbeweging;
- de mogelijkheden en eigenschappen van alternatieve (milieuvriendelijke) oeverbeschermingsconstructies en -materialen;
- de stabiliteit van kribvakken; *incl. Belang van de kribvakken (over de oevers)*
- het meanderen van rivieren.

De specialisatie van de onderzoeker in aanmerking nemend, ligt een onderzoek met een vloeistofmechanisch karakter het meest voor de hand. Dan blijven het meanderen, de invloed van begroeiing op waterbeweging en de stabiliteit van kribvakken over. In de volgende paragrafen wordt voor elk van deze mogelijke onderwerpen nader ingegaan op de huidige stand van de kennis, de mogelijkheden voor verder onderzoek en het te verwachten praktische nut van de resultaten.

## 4.2 Meanderen

Oevererosie maakt vaak deel uit van grootschalige morfologische processen, zoals het zich dieper insnijden in een bedding en het uitbochten van meanders. Er bestaan inmiddels eendimensionale numerieke modellen voor morfologische veranderingen in het lengteprofiel van een rivier, zoals RIVMOR (Waterloopkundig Laboratorium) en ODIRMO (TU Delft). Een volledig tweedimensionaal numeriek model voor morfologische veranderingen in de plattegrond van een rivier is echter nog niet operationeel, al zijn daartoe wel belangrijke aanzetten gegeven (paragraaf 2.3). Voor zo'n morfologisch model met beweeglijke oevers is verder onderzoek noodzakelijk.

Het model kan men ijken aan de hand van opeenvolgende rivierplattegronden uit het verleden, welke af te leiden zijn uit luchtfoto's, kaarten of de met geologische methoden te bepalen ouderdom van afzettingen in de omgeving. Dergelijke reconstructies van vroegere rivierlopen zijn reeds veelvuldig uitgevoerd. Bijzondere vermelding verdient een data base van de Mississippi (Clyde et al. 1983), waarin gegevens staan voor locaties met een interval van 600 m over een riviertraject van 445 km, voor vijf "tijdstoppen" tussen 1880 en 1975. Tot de gegevens behoren ligging, dwarsprofiel, codering voor vegetatie op de oevers en informatie over aanwezige constructies.

De Roer is een vrij meanderend riviertje in Nederland dat ook gebruikt kan worden om het model te ijken. Ter beschikking staan diverse uitgaven van de topografische kaart van Nederland vanaf het midden van de negentiende eeuw en verder bijvoorbeeld de Bodemkaart van Nederland van de Stiboka. Deze kaarten hebben de schaal 1:50.000.

De gelijkvormigheid van meanders op verschillende schalen lijkt ook ijking aan de hand van experimenten in een schaalmodel te rechtvaardigen, met als voordeel dat de verschillende invloedsfactoren afzonderlijk ingesteld kunnen worden.

Het tweedimensionale numerieke model kan gebruikt worden om te voorspellen waar en in welke mate de oevers van een rivier het zwaarst belast worden, of juist waar oeverbeschermingen onderbroken kunnen worden. Het model kan ook van dienst zijn wanneer men in navolging van de Bondsrepubliek besluit gekanaliseerde beken weer te laten meanderen.

Shen (1983a) stelt dat het uitermate nuttig is om theoretische modellen voor het meanderen te ontwikkelen, omdat die uiteindelijk de oplossingen voor de lange termijn geven.

*relatie met de rivier?*

#### 4.3 Invloed van begroeiing op waterbeweging

Vegetatie vormt een bij uitstek milieuvriendelijke oeververdediging. In paragraaf 3.2 is kwalitatief het een en ander gezegd over de invloed van vegetatie op waterbeweging. Kwantitatief is er nog weinig van bekend. In de Bondsrepubliek wordt onderzoek verricht aan de stroming in een goot met gesimuleerde vegetatie in de vorm van verticale staafjes. Daarmee vergeleken blijft het onderzoek naar de invloed van vegetatie op golven achter. Wel zijn in Nederland in een verbreding van het Waardkanaal metingen verricht aan de invloed van een rietkraag op scheepsgolven (Rijkswaterstaat, 1986). Een van de conclusies daaruit is dat er behoefte is aan experimenten onder laboratoriumomstandigheden, waarbij taludvorm, taludhelling en stengellengte (bepaald door het onderhoud) gevarieerd worden. Men zou daaraan nog de stengeldiameter, stengeldichtheid en stengelstijfheid kunnen toevoegen.

Getracht zal moeten worden om de golfdemping door vegetatie te beschrijven in een numeriek model, dat gecalibreerd kan worden aan de hand van experimenten in een laboratorium of in proefvakken in het veld.

Het praktisch bruikbare resultaat zal een richtlijn zijn voor het ontwerpen van een vegetatiekraag, afhankelijk van het golfklimaat en de bij de heersende milieufactoren te verwachten groeiparameters.

Het onderzoek geschiedt bij voorkeur in samenwerking met de Landbouw Universiteit Wageningen.

#### 4.4 Stabiliteit van kribvakken

Kribben vormen een behoorlijk milieuvriendelijke oeververdediging, omdat de oevers van de tussenliggende kribvakken in een tamelijk natuurlijke staat kunnen blijven.

Kennis van de water- en sedimentbeweging in kribvakken, en dus de werking van kribben als oeverbescherming, berust hoofdzakelijk op praktijkervaring en onderzoek in schaalmodellen. Een theoretische onderbouwing ontbreekt, waardoor het gedrag onder een gewijzigde belasting moeilijk te voorspellen is. Zo'n wijziging van de belasting is bijvoorbeeld het toestaan van zesbaksduwvaart op de nederlandse rivieren.

In de proefperiode zesbaksduwvaart (globaal het jaar 1986) is onderzoek verricht naar onder meer de oevererosie. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1987) Een van de conclusies daaruit is dat verder onderzoek naar het "herstellend", dat wil zeggen aanzandend vermogen van een kribvak gewenst is.

In het algemeen zal verder onderzoek moeten leiden tot een wiskundig model van de water- en sedimentbeweging in een kribvak. Voor de stromingen en sedimenttransporten ten gevolge van de afvoer kan waarschijnlijk in eerste instantie met een tweedimensionale beschrijving volstaan worden. De waterbeweging in een kribvak ten gevolge van schepen heeft echter een sterk driedimensionaal karakter. Driedimensionale stromingsmodellen zijn thans in ontwikkeling, maar morfologische berekeningen daarmee zullen de eerstkomende jaren nog erg kostbaar zijn. Voor nu te starten onderzoek lijkt een driedimensionale aanpak daarom niet zinvol.

Het wiskundige model zal geijkt moeten worden aan de hand van prototypemetingen en/of metingen in een schaalmodel. In de proefperiode zesbaksduwvaart zijn reeds dergelijke metingen uitgevoerd:

- Van de door zesbaksduwstellen te bevaren rivieren zijn in 1985 luchtfoto's gemaakt met schaal 1:5.000. Deze zijn verwerkt tot kaarten (deels schaal 1:2.000, deels schaal 1:5.000), waarop tevens de zogenaamde afslagrand (oeverafkalvingslijn) en de begroeiingslijnen gekarteerd zijn.
- Door de oeverafkalvingslijnen van 1985 te vergelijken met oudere luchtfoto's (1975-1979) zijn oeverafkalvingssnelheden bepaald.
- Van tien procent van de 327 km in aanmerking komende oevers zijn dwarsprofielen opgenomen door peiling en waterpassing. Daarbij zijn tevens bodemonsters genomen en is op de oever voorkomende vegetatie beschreven.
- In een kribvak bij Druten (recht stuk rivier) en een kribvak bij Sint Andries (buitenbocht) zijn gedetailleerde metingen verricht, zowel met als zonder passerende vaart: akoestische zandtransportmetingen, stroomsnelheidsmetingen, waterstandsfluctuaties, drijfvermetingen en peilingen. Van de passerende schepen werd geregistreerd: type schip, schatting snelheid (op- of afvaart), afstand tot kribkop en diepgang c.q. beladingsgraad.
- In een schaalmodel van de Waal bij Druten in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst zijn stroombeeldproeven en tracermetingen uitgevoerd, met en zonder opvaart van



duwstellen.

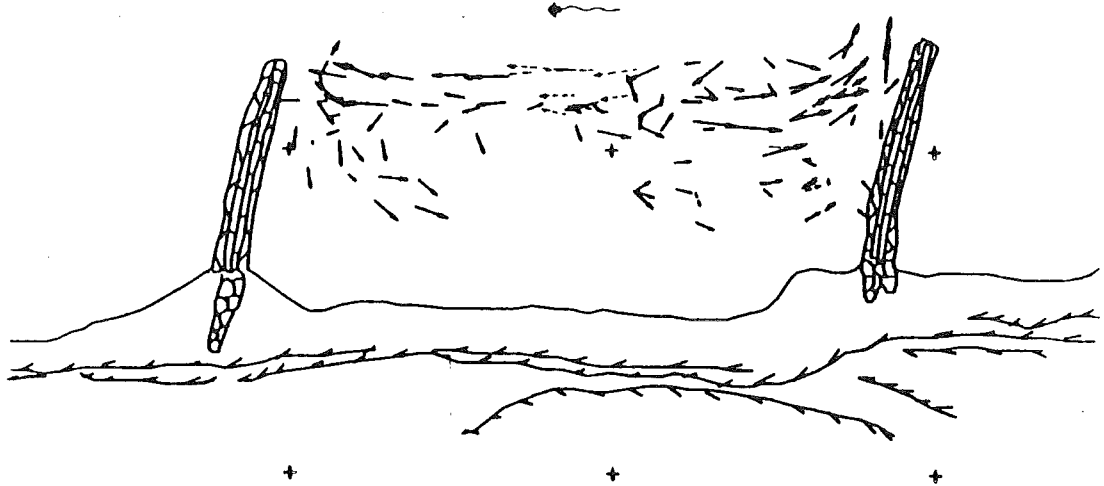


Fig 4.1 Gemeten stroombeeld in een kribvak bij Druten.

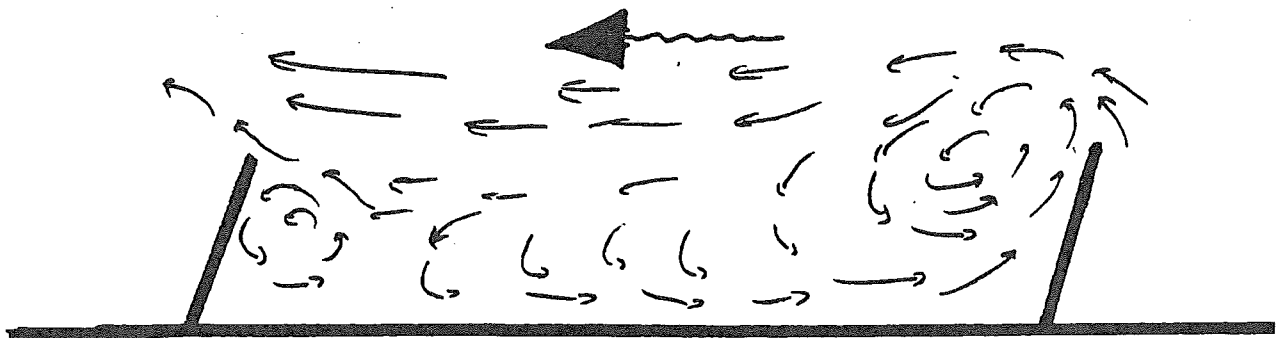
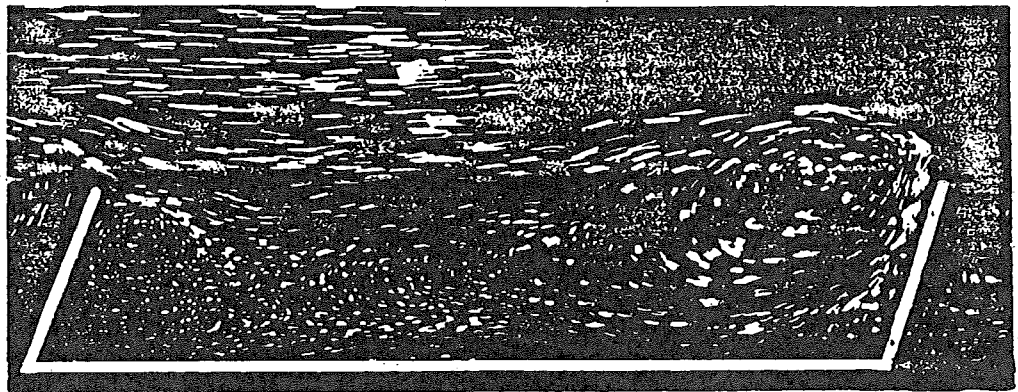


Fig 4.2 Stroombeeld in een schaalmodel van een kribvak bij Druten.

Op basis van de resultaten van verder onderzoek zou men een optimaal kribvak moeten kunnen ontwerpen bij gegeven riviergeometrie, afvoer, sedimenttransport en oever- en bodemmateriaal. In de context van milieuvriendelijke oevers houdt een optimaal kribvakontwerp in dat de oever tussen twee opeenvolgende kribben niet verdedigd hoeft te worden. In plaats daarvan kunnen eventueel de kribben landinwaarts verlengd worden.

Adriance ?

## REFERENTIES

- Akantisz-Kornis, Zs. en J. Gayer (1986),  
Effects of transverse river training structures on the sediment transport in alluvial streams.  
Proceedings of the Third International Symposium on River Sedimentation, Jackson, Mississippi, 1986. S.Y. Wang, H.W. Shen en L.Z. Ding, Editors.
- Anonymus (1986),  
Literatuurrapport rietoevers.  
Samenwerkingsverband "Asjeblijft...niet in 't riet!": SR, Ministerie van VROM, OVB, NVVS, Unie van Waterschappen, ANWB, RWS, Ministerie van L en V, NKB, Stichting Fonds Natuur- en Milieueducatie en Natuurmonumenten.
- Bendegom, L. van (1975-1979),  
Rivieren en rivierwerken.  
Collegehandleiding f8, TH Delft, Afdeling der Civiele Techniek.
- Bhowmik, N.G. en M. Demissie (1983),  
Bank erosion by waves.  
Proceedings Conference on Frontiers of Hydraulic Engineering, MIT, Cambridge, Massachusetts, August 9-12, 1983. New York, ASCE, 1983.
- Bouwmeester, J. (1987a),  
Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen.  
Collegedictaat f12N, TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, januari 1987.
- Bouwmeester, J. (1987b),  
Mondelinge mededeling.
- Bruin, D. de, D. Hamhuis, L. van Nieuwenhuijzen, W. Overmars, D. Sijmons en F. Vera (1986),  
Ooievaar, De toekomst van het rivierengebied.  
Uitgave Stichting Gelderse Milieufederatie, 1987.
- Charlton, F.G. (1980),  
River stabilization and training in gravel rivers.  
Proceedings International Workshop "Engineering problems in the management of gravel-bed rivers", Newtown, Wales, 1980.
- Clyde, E.S., R.S. McQuivey en D.R. Williams (1983),  
Meander analysis of the Mississippi River.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983, New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983. C.M. Elliott, Editor. New York, ASCE, 1984.
- Copeland, R.R. (1983),  
Bank protection techniques using spur dikes.  
Miscellaneous Paper HL-83-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Cunge, J.A. (1983),  
Feasibility of mathematical modeling of meanders.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983, New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983. C.M. Elliott, Editor. New York, ASCE, 1984.
- Dharamdial, R., R.M. Khanbilvardi en A.S. Rogowski (1986),  
Predicting sediment migration from river bank.  
Proceedings of the Third International Symposium on River Sedimentation, Jackson, Mississippi, 1986. S.Y. Wang, H.W. Shen en L.Z. Ding, Editors.

- Ferguson, R.I. (1983),  
Kinematic model of meander migration.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983. C.M. Elliott,  
Editor. New York, ASCE, 1984.
- Graf, W.H. (1971),  
Hydraulics of sediment transport.  
McGraw-Hill Book Company.
- Gray, D.H., A.T. Leiser en C.A. White (1980),  
Combined vegetative-structural slope stabilization.  
Civil Engineering - ASCE, January, 1980.
- Hagemeyer, M.L. en J.T.M. Sessink (1982),  
De invloed van golfwerking op oevervegetatie.  
Doctoraalscriptie Landbouwhogeschool Wageningen, tevens  
rapport 1982-288 Abw, Ministerie van Verkeer en Waterstaat,  
Rijksdienst voor de IJsselmeer-polders.
- Hagerty, D.J. (1978),  
Mechanisms of erosion. *← er zijn meer publicaties in Vogelz,*
- Hickin, E.J. en G.C. Nanson (1984),  
Lateral migration rates of river bends.  
ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.110, No.11,  
November, 1984.
- Howard, A.D. (1983),  
Simulation model of meandering.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott,  
Editor. New York, ASCE, 1984.
- Ikeda, S., G. Parker en K. Sawai (1981),  
Bend theory of river meanders. Part 1. Linear development.  
Journal of Fluid Mechanics (1981), Vol.112.
- Jansen, P. Ph. (Ed.) (1979),  
Principles of river engineering.  
Pitman, London, 1979.
- Kaiser, W. (1984),  
Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten  
Ufergehölzonen.  
Wasserbau-Mitteilungen Nr.23 des Instituts für Wasserbau,  
Konstruktiver Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technische  
Hochschule Darmstadt.
- Kamphuis, J.W. en K.R. Hall (1983),  
Cohesive material erosion by unidirectional current.  
ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.109, No.1,  
January, 1983.
- Keller, E.A. en A. Brookes (1983),  
Consideration of meandering in channelization projects:  
selected observations and judgements.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott,  
Editor. New York, ASCE, 1984.
- Kern, K. (1986),  
Ziele, Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Umgestaltung.  
Mitteilungen Heft 174/1986 des Instituts für Wasserbau und  
Kulturtechnik der Universität Fridericiana zu Karlsruhe.
- Kern, K. en I. Nadolny (1986),  
Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer-  
Projektstudie.  
Mitteilungen Heft 175/1986 des Instituts für Wasserbau und  
Kulturtechnik der Universität Fridericiana zu Karlsruhe.

- Klaassen, G.J. en J.J. van der Zwaard (1973),  
Roughness coefficients of vegetated flood plains.  
IAHR, Journal of Hydraulic Research, Vol.12, 1974.
- Larsen, P. (1986),  
Probleme und Lösungsansätze der Wasserspiegelberechnung von  
naturnahen Fließgewässern.  
Mitteilungen Heft 174/1986 des Instituts für Wasserbau und  
Kulturtechnik der Universität Fridericiana zu Karlsruhe.
- Leopold, L.B., M.G. Wolman en J.P. Miller (1964),  
Fluvial processes in geomorphology.  
W.H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- Linde, A.A. van der (1985),  
Numeriek model voor de ontwikkeling van vrije meanders in de  
Tana-rivier.  
R/1985/H/4, Technische Hogeschool Delft, Afdeling der  
Civiele Techniek, Vakgroep Vloeistofmechanica.
- MERTIJ (1984),  
Systematische analyse sturingsmiddelen morfologie.  
DDMI-84.25, Rijkswaterstaat, Deltadienst, projectgroep  
MERTIJ, november 1984.
- Miller, A.C., S.N. Kerr, H.E. Reams en J.P. Sartor (1983),  
Physical modeling of spurs for bank protection.  
River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott,  
Editor. New York, ASCE, 1984.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1987),  
Eindrapportage van de proefperiode zesbaksduwvaart.  
's-Gravenhage, 22 april 1987. Op 29 juni 1987 besproken door  
de Tweede Kamer in de vaste commissie voor Verkeer en  
Waterstaat.
- Myers, R. en E. Elsayy (1975),  
Boundary shear in channel with flood plain.  
ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol.101, No.HY7,  
1975.
- Natuurbeschermingsraad, Natuurwetenschappelijke Commissie,  
Werkgroep Oevers (1986),  
Riet als oeverbegroeiing.  
Natuurbeschermingsraad, Utrecht.
- Odgaard, A.J. en J.F. Kennedy (1983),  
River-bend bank protection by submerged vanes.  
ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.109, No.8.
- Olesen, K.W. (1987),  
Bed topography in shallow river bends.  
Proefschrift in voorbereiding, TU Delft.
- Pannekoek, A.J. en L.M.J.U. van Straaten (1984),  
Algemene geologie.  
Vierde, verbeterde druk, Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Parsons, D.A. (1971),  
Channel stability and drainage.  
SCS-ARS Drainage Workshop for the Southern Coastal Plains,  
March 30 - April 1, 1971, Florence, South Carolina.
- Pasche, E. en G. Rouvé (1985),  
Overbank flow with vegetatively roughened flood plains.  
ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.111, No.9,  
September, 1985.
- Perry, E.B. (1981),  
Streambank protection using auto tires.  
Proceedings Specialty Conference Water Forum 1981, San

- Francisco, August, 1981, Vol.II. New York, ASCE, 1981.
- Pilarczyk, K.W. en J.L. Koolen (1986),  
 Voorstel projektbeschrijving voor TH 2e fase (promotie):  
 Belastingen en sterkte van natuurlijke oevers.  
 RWS-DWW, Notitie aan J. Bouwmeester, TH Delft, 24 juli 1986.
- Press, H. (1956),  
 Binnenwasserstrassen und Binnenhäfen.  
 Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.
- Rajaratnam, N. en R.M. Ahmadi (1981),  
 Hydraulics of channels with flood plains.  
 IAHR, Journal of Hydraulic Research, Vol.19, No.1, 1981.
- Richardson, E.V., M.A. Stevens en D.B. Simons (1975),  
 The design of spurs for river training.  
 IAHR, July, 1975.
- Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart  
 (1986),  
 De invloed van een rietkraag op scheepsgolven.  
 S83.108, Dordrecht, oktober 1986.
- Sessink, J.T.M. (1985),  
 Kunnen oeverplanten voldoen aan technische eisen?  
 Lezing op themadag milieuvriendelijke oeververdedigingen,  
 Ede, 4 juni 1985.
- Shen, H.W. (1983a),  
 Examination of present knowledge of river meandering.  
 River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
 New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott,  
 Editor. New York, ASCE, 1984.
- Shen, H.W. (1983b),  
 Concluding session: discussion by conference participants.  
 River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983,  
 New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott,  
 Editor. New York, ASCE, 1984.
- Simons, D.B. en R.-M. Li (1980),  
 River regulation and channel stability.  
 Proceedings International Workshop "Engineering problems in  
 the management of gravel-bed rivers", Newtown, Wales, 1980.
- Springer, F.M., C.R. Ullrich en D.J. Hagerty (1985),  
 An analysis of streambank stability.  
 ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.111, No.5,  
 May, 1985.
- Staatsbosbeheer (1985),  
 Riet, natuur of cultuur?  
 Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Struiksma, N., K.W. Olesen, C. Flokstra en H.J. de Vriend (1985),  
 Bed deformation in alluvial channel bends.  
 IAHR, Journal of Hydraulic Research, Vol.23, No.1.
- Vries, M. de (1986),  
 Rivierwaterbouwkunde b.o.  
 Collegehandleiding f13B, TU Delft, Faculteit der Civiele  
 Techniek, juni 1986.
- Willy, H. (1986),  
 The advantages and disadvantages of near-natural waterway  
 flow in comparison to canalized flowing streams.  
 (Vor- und Nachteile des naturnahen Gewässerlaufes im  
 Vergleich zu kanalisiertem Fliessgewässern).  
 Reports Vol.173/1986, Institute for Hydraulic and Drainage  
 Engineering, University Fridericiana at Karlsruhe.  
 (Mitteilungen Heft 173/1986 des Instituts für Wasserbau

und Kulturtechnik der Universität Fridericiana zu Karlsruhe).

Winders, J.D. en G.A. Fryer (1981),

A method of assessment of the need for bank protection. A comparison of existing systems and a discussion on new types of revetment being developed.

Inland and Maritime Waterways and Ports, Design - Construction - Operation, Section I: Inland Waterways and Ports, XXV International Navigation Congress PIANC Edinburgh, May, 1981, Vol.1. Oxford, Pergamon Press.

Winkley, B.R. (1983),

Stable river alignment.

River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 1983, New Orleans, Louisiana, October 24-26, 1983, C.M. Elliott, Editor. New York, ASCE, 1984.

*Symp. on Sedimentation, 1986, Guelph*