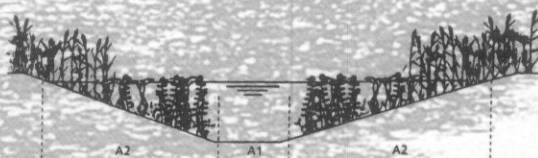


Natuurvriendelijke oevers



Belasting en sterkte



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

.....
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Informatie en Documentatie

Postbus 20900

2500 EX 1 - Den Haag

070 3516000 - fax 070-3518003

201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte

CUR Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Deze publicatie is onder de volgende trefwoorden opgenomen in het CUR-infobestand:

hydraulische belastingen
natuurvriendelijke oevers
oeverbeschermingsmaterialen
constructieve aspecten
ontwerp
materiaalkundige aspecten
oevers
oeververdediging
vegetatie
scheepsgolven
windgolven

AUTEURSRECHTEN

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de CUR.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. "© CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte, Stichting CUR, Gouda, 1999."

AANSPRAKELIJKHEID

De CUR en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en de CUR sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens de CUR en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

ISBN 90 376 04706

Voorwoord

In 1994 heeft het Civieltechnische Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR) in samenwerking met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (RWS, DWW) het handboek 'Natuurvriendelijke Oevers' uitgebracht. In dit handboek wordt veel aandacht besteed aan het ontwerp, de constructie en de inrichting van oevers op een zo natuurlijk mogelijke manier. Bijlagen 5 en 6 handelen over de belastingen die op de oever worden uitgeoefend en de algemene constructieve aspecten.

Diverse onderzoeken zijn sindsdien gedaan en een groot aantal projecten met betrekking tot natuurvriendelijke oevers zijn uitgevoerd. Hierbij is de kennis over de belastingen en de constructieve aspecten van natuurvriendelijke oevers aanzienlijk toegenomen. De nieuwe kennis en ervaringen maken het mogelijk het handboek van 1994 te herzien. Gekozen is bij deze uitgave de bijlagen uit het handboek van 1994 in afzonderlijke delen uit te brengen. De grote lijn wordt echter wel gehandhaafd.

In dit deel worden de hydraulische belastingen op de oever en de specifieke aspecten van verschillende constructies belicht. Vervolgens worden natuurvriendelijke oevers behandeld die gebonden zijn aan een bepaald watertype. Het handboek scheidt een referentiekader voor de toepassing van natuurvriendelijke oevers. Hiermee wordt de verantwoorde toepassing van de natuurvriendelijke oevers verder mogelijk gemaakt.

De publicatie is uitgebracht onder verantwoordelijkheid van CUR-kennisoverdrachtscommissie F11 "Natuurvriendelijke oevers":

PROF.IR. J. STUIP, VOORZITTER Stichting CUR
IR. A.D. BOS, SECRETARIS Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
IR. R.E.A.M. BOETERS Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
DRS. B. BOTMAN Unie van Waterschappen
ING. J.H. BRINKMAN Waterschap Regge en Dinkel
IR. T. VAN ELLEN DHV Milieu & Infrastructuur B.V.
C. VAN MEETEREN VBKO/Bitumarin B.V.
ING. C. NIJBURG ONRI/ARCADIS Heidemij Advies
ING. W. PAAS IPO/Provincie Drenthe Vaarwegenbeheer
ING. L.W. PIJNING Gemeente Helden
IR. G.J. SCHIERECK TU Delft Faculteit der Civiele techniek
IR. W. SCHIPPERS IKC Natuurbeheer
IR. A.A.M. WEVERS Christelijke Hogeschool Windesheim Studiehuis faculteit Techniek
IR. G.J. VERKADE, COÖRDINATOR Stichting CUR
IR. J.L. KOOLEN, MENTOR Stichting CUR

De CUR spreekt haar dank uit aan de volgende organisaties die met een financiële bijdrage deze publicatie mogelijk maakten:

- > Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde;
- > Vereniging van Waterbouwers in Bagger-, Kust en Oeverwerken (VBKO);
- > Provincies Drenthe, Friesland en Zuid-Holland.

Mei 1999

Het bestuur van de CUR

Inhoudsopgave

		Samenvatting	8
		Summary	9
Hoofdstuk	1	Inleiding	11
	1.1	Algemeen	11
	1.2	Dimensioneringsfilosofie	14
Hoofdstuk	2	Hydraulische belastingen	19
	2.1	Algemeen	19
	2.1.1	Keuze maatgevende belastingen	19
	2.2	Door scheepvaart veroorzaakte waterbewegingen	20
	2.2.1	Varende schepen	20
	2.2.2	Manoeuvrerende schepen	27
	2.2.3	DIPRO	29
	2.2.4	Golven in kribvakken	30
	2.2.5	Samenvatting	30
	2.3	Stroming	31
	2.3.1	Algemeen	31
	2.3.2	Stroming in kribvakken	31
	2.4	Windgolven	33
	2.5	IJsgang	36
Hoofdstuk	3	Constructieve aspecten	37
	3.1	Inleiding	37
	3.2	Onbegroeide natuurlijke oevers	37
	3.2.1	Profiel bij stroombelasting (zonder scheepvaart)	37
	3.2.2	Profiel bij stroombelasting (met scheepvaart)	39
	3.2.3	Profiel bij golfbelastingen	40
	3.3	Begroeide oevers	42
	3.3.1	Riet en mattenbies	43
	3.3.2	Wilgen	45
	3.3.3	Grasmatten	47
	3.4	Tijdelijke golfwerende constructies	47
	3.4.1	Algemeen	47
	3.4.2	Verticale verdedigingen	48
	3.4.3	Taludvormige verdedigingen en onverdedigde oevers	51
	3.4.4	Verdediging vóór de oever	52
	3.4.5	Drijvende golfdemping	53

	3.5	Doorgroeiconstructies	54
	3.5.1	Breuksteen op een dun, klassiek kraagstuk	54
	3.5.2	Betonblokkenmatten	56
	3.5.3	Schanskorfmatten	58
	3.5.4	Drie-dimensionale structuurmatten	59
	3.5.5	Gevezelde open steenasfalt	61
	3.6	Geotextielen	63
	3.6.1	Algemeen	63
	3.6.2	Geotextielen van natuurlijke materialen	63
	3.6.3	Doorgroeibaarheid van geotextielen	64
	3.6.4	Aanplant van riet in combinatie met een geotextiel	66
	3.6.5	Ontwerpen van een geotextiel als filter	66
	3.7	Zwaarte van het civieltechnische onderdeel van de taludverdediging	67
	3.7.1	Stroomaanval	67
	3.7.2	Golfaanval	69
	3.8	Golfoploop op taludverdediging	71
	3.9	Zwaarte van het civieltechnische onderdeel van de verticale verdediging	72
	3.9.1	Damwandlengte	72
	3.9.2	De invloed van bomen op verticale verdedigingen	72
	3.9.3	De stabiliteit van schanskorven tegen kantelen	73
Hoofdstuk	4	Oevers per watertype	75
	4.1	Kleine wateren	75
	4.1.1	Inleiding	75
	4.1.2	Dimensionering waterloop	75
	4.1.3	Voorzieningen kleine wateren	76
		Beschoeiing of betuining	78
		Taludverdedigingen	79
	4.1.4	Ijsbelasting	80
	4.2	Rivieren	80
	4.2.1	Inleiding	80
	4.2.2	Rivier of beek zijn gang laten gaan	80
	4.2.3	Verdediging met kribben en kribvakken	81
		Waterbeweging in kribvakken	82
		Kribben	82
	4.2.4	(Kribvak) Strekdammen	83
	4.2.5	Hydraulische weerstand uiterwaarden	84
	4.2.6	Waterkeringen	86
	4.2.7	Ijsbelasting	86
	4.3	Kanalen	86
	4.3.1	Inleiding	86

4.3.2	Oever met vooroeververdediging	86
	De verdedigende constructie	87
	De natte strook	91
	Wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal	92
	Het achter gelegen talud	93
4.3.3	Ijsbelasting	94
4.4	Meren	95
4.4.1	Inleiding	95
4.4.2	De afstand tussen vooroeververdediging en de vaste oever	96
4.4.3	Extra voorzieningen bij vooroeververdedigingen	97
	Openingen	97
	Maatregelen tussen vooroeververdediging en vaste oever	98
4.4.4	De hoogte van de kruin van de vooroeververdediging	99
	Eenvoudige regel voor breukstenen dammen	99
	Nauwkeuriger regels voor meerdere typen dammen	100
	Enkele of dubbele palenrij	101
4.4.5	Constructieve kenmerken van diverse varianten	102
	Breuksteen vooroeververdediging	102
	Kern met schanskorfmattas of blokkenmat als toplaag	103
	Dam opgebouwd uit schanskorven	103
	Palenrijen, al dan niet opgevuld	104
4.4.6	Ijsbelasting	104
4.5	Getijdewateren	105
4.5.1	Algemeen	105
4.5.2	Groene dijken	105
4.5.3	Inrichten van niet-groene dijken	106
Bijlage I	Overzicht standaardsoorten breuksteen	109
	Symbolenlijst	111
	Literatuur	115
	Verantwoording	118

Samenvatting

De oever vormt de grens tussen het land en het water. Naast de verdedigende functie en andere functies als het afmeren van schepen en recreatie, hebben oevers een belangrijke ecologische functie en grote landschappelijke waarde. Het is belangrijk dat de oever, in verband met de veiligheid maar ook vanwege ongewenst landverlies, 'ongeveer' op zijn plaats blijft. Dat vereist grote aandacht voor de belastingen die op de oever worden uitgeoefend en daarmee voor de toe te passen constructie, de inrichting en het onderhoud van de oever. In dit handboek worden vooral de belasting, de constructieve aspecten en de dimensioneringsfilosofie behandeld.

Een oever staat onder invloed van verschillende belastingen. De belangrijkste belastingen zijn de door de scheepvaart veroorzaakte waterbewegingen, de stroming door getij of afvoer van water, de windgolven en de ijsbelasting. Afhankelijk van het beschouwde watersysteem en de lokatie is een bepaald type belasting maatgevend. Dit wordt in dit handboek duidelijk behandeld, ondermeer via het presenteren van rekenregels. Voor ijsbelastingen ontbreken deze, hiervoor worden alleen de mogelijke effecten beschreven. Afhankelijk van de grootte van de belastingen komt een aantal constructies in aanmerking als natuurvriendelijke oeververdediging. De constructies kunnen onderverdeeld worden in onbegroeide natuurlijke constructies, begroeide constructies, tijdelijke golfwerende constructies, doorgroeiconstructies en verticale verdedigingen. Naast de grootte van de belasting speelt bij de keuze van de constructie het watertype een rol. De praktische toepassing van natuurvriendelijke oevers verschilt als zodanig tussen de behandelde wateren: kleine wateren, rivieren, kanalen, meren en getijde wateren. De rekenregels voor constructies worden overeenkomstig gepresenteerd en behandeld.

Summary

The bank forms the boundary between land and water. In addition to protecting the land from flooding and its functions relating to the provision of moorings for ships and recreation, the bank has an important ecological function and great landscape value. In relation to safety, it is important that the bank remains stable. Because of these varied demands, careful attention must be paid to the loading on the bank and thus to its appropriate construction, layout and maintenance. This handbook concentrates on the loads, the construction and the dimensioning philosophy.

The stability of a bank is affected by a variety of loads. The most important loads result from the ship-induced water movements, tidal currents or currents caused by the discharge of water, wind-formed waves and the effects of ice. The type of load permitted depends on the water system under consideration and on its location. This aspect is clearly treated in the handbook, which also includes appropriate rules for calculating the loads. No such rules are available for loading by ice, so only the possible effects of ice are described. Depending on the size of the load a number of constructions can be considered as nature-friendly bank protections. These can be subdivided into natural constructions with or without vegetation, temporary wave deflecting constructions, constructions that promote the growth of vegetation and those that provide vertical protection. In addition to the size and nature of the load, the type of water body dictates the choice of the design. In practice, the construction of nature-friendly banks also varies according to whether they are designed for small waterways, rivers, canals, lakes or tidal waterways. The rules for the calculation of constructions for these are also given and discussed.

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Nederland bezit van klein tot groot vele kilometers aan waterlopen, watergangen, waterwegen plus nog eens een groot oppervlak aan plassen, meren en estuaria. Het aantal kilometers aan oeverlengte loopt daarom in de duizenden (ca. 10.000 km). Alleen al vanwege die omvang bepalen zij in grote delen van het land in belangrijke mate het landschap. Bovendien hebben de Nederlandse wateren met hun oevers een essentiële ecologische en recreatieve waarde.



Afbeelding 1

Natuurvriendelijke oevers in de Biesbosch.

Bij het huidige gebruik van de wateren en het land blijft er weinig ruimte over voor volledig natuurlijke oevers. Immers de onnatuurlijke belastingen op de oevers als gevolg van intensief scheepvaartgebruik, de wens voor grote waterdieptes direct langs de wal en de betrekkelijk geringe beschikbare ruimte laten dit niet toe. Gelukkig is er de laatste jaren meer oog voor de functies als natuur, landschap en recreatie, waardoor de natuur en het landschap niet nodeloos geweld worden aangedaan. Bovendien worden er ondertussen op vrij ruime schaal herstelmaatregelen uitgevoerd waardoor eerdere aantastingen van natuur en landschap teniet worden gedaan.

De beheerder zal daarom zowel bij het ontwerp van nieuwe oevers als bij het onderhoud van bestaande oevers rekening moeten houden met de eisen die de verschillende functies aan die betreffende oever stellen. Die eisen onderbouwen waarvoor en waarom die oever wordt aangelegd en welke functies die specifieke oever moet vervullen. Daarna kan op basis van de gewenste vormgeving en van de verwachte belastingen de oever worden gedimensioneerd. Doorgaans zijn dat geen gescheiden activiteiten die achter elkaar worden uitgevoerd, maar activiteiten die in samenhang met elkaar plaatsvinden.



Afbeelding 2

Natuurvriendelijke oever langs een traject waar recreatievaart plaatsvindt.

Onder dimensioneren wordt hier verstaan het bepalen van de benodigde afmetingen en sterkte (zwaarte) van waterbouwkundige constructies, de onderdelen daarvan, of het bepalen van de omvang en capaciteit van de natte infrastructuur (bijvoorbeeld dwarsprofielen t.b.v. scheepvaart, afwatering, watervoorziening).

Randvoorwaarden vormen de uitgangspunten voor de vormgeving en dimensionering. Civielttechnisch gesproken zijn dit veelal de hydraulische en grondmechanische belastingen zoals waterstand, stroming, golven en gronddruk. Daarnaast kan er ook sprake zijn van randvoorwaarden in de zin van ruimte en financiën (aanleg- en onderhoudskosten). Primair echter is er sprake van functionele randvoorwaarden. Deze worden gevormd door de eisen die gesteld worden door de gebruiksfuncties (scheepvaart, aan- en afvoer van water, natuur, recreatie etc.) waarvoor de ingreep wordt verricht en vormen daarmee in feite de motivatie waarvoor de ingreep wordt uitgevoerd. Voor natuurvriendelijke oevers is het ecologische streefbeeld bepalend voor ecologische functie-eisen.

Daarnaast zal de oever echter ook moeten voldoen aan de eisen die vanuit andere ter plaatse geldende functies worden gesteld. Zo kan het gebruik van de achterliggende grond (wegen, wonen, waterkering etc.) eventuele oeverafslag onacceptabel maken, of vormt hoogopgaande begroeiing een te grote belemmering voor het uitzicht van de scheepvaart. Ook kan een te grote vegetatie-ontwikkeling, zowel boven als onder water, de afvoer van water belemmeren en bij hoge afvoer tot onacceptabele waterstandsverhogingen leiden.



Afbeelding 3

Vooroeververdediging in de IJssel met golfbelasting.

Functie-eisen zijn die eisen waaraan een beheersobject (in dit geval een oever) moet voldoen om aan het streefbeeld (=beheersopdracht) te kunnen voldoen. Deze multi-functionele benadering bij het beheer van oevers is beschreven in de publicatie "Aanpak en toepassingen" van deze serie over natuurvriendelijke oevers (CUR-200, 1999). In dit boek wordt uitsluitend ingegaan op de civieltechnische dimensioneringsaspecten.

In dit boek komen na deze inleiding achtereenvolgens aan de orde de methoden om maatgevende hydraulische belastingen te bepalen, de diverse constructieve aspecten van natuurvriendelijke oevers en de specifieke eigenschappen van oevers per type water.

De typen hydraulische belastingen die in hoofdstuk 2 aan de orde komen zijn belastingen als gevolg van:

- > scheepvaart;
- > stroming;
- > windgolven;
- > en ijsgang.

Diverse constructieve aspecten van de natuurvriendelijke oevers per soort oever en oeververdedigingen worden in hoofdstuk 3 beschreven.

In hoofdstuk 4 komen die zaken aan de orde die specifiek gericht zijn op de volgende typen wateren:

- > kleine wateren;
- > rivieren;
- > kanalen;
- > meren;
- > en getijdewateren.

Bij dit boek is een tweetal computerprogramma's meegeleverd die als hulpmiddel kunnen worden gebruikt bij het civieltechnisch dimensioneren van oevers. Deze programma's, DIPRO en PLONS, zijn hulpmiddelen voor respectievelijk het bepalen van belastingen op oevers als gevolg van de varende of manoeuvrerende schepen inclusief de daarbij behorende oeververdediging en voor het bepalen van de wateruitwisseling tussen natte strook en vaarweg als gevolg van waterspiegeldaling door passerende schepen. DIPRO (Dimensioning bankPROtections) wordt nader beschreven in § 2.2.3 en PLONS (Positionering en Lengteverdeling Openingen Natte Strookverdediging) in § 4.3.2 De handleidingen van deze programma's worden op diskette als tekstbestanden bijgeleverd.

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat (DWW), en degenen die aan de totstandkoming van genoemde programma's en de handleidingen hebben meegewerkt, hebben de opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in de programma's en/of de handleidingen voorkomen. Het Rijk sluit, mede ten behoeve van degenen die aan de totstandkoming van DIPRO en PLONS hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens en rekenmethoden mocht voortvloeien.

Voor beide programma's is geen ondersteuning beschikbaar in de vorm van een helpdesk. Voor vragen over eventuele cursussen en ondersteuningsmogelijkheden kunt u contact opnemen met de productgroep Oevers van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, tel. 015-2518518.

1.2 DIMENSIONERINGSFILOSOFIE

Zoals hiervoor is beschreven bepaalt de beheerder vanuit de beheersopdracht (streefbeeld zie CUR-200, 1999) de functie-eisen van de oever. Deze eisen vormen samen met de maatgevende belastingen en de mogelijke gevolgen van een overschrijding van die belastingen of van het geheel of gedeeltelijk bezwijken van de oever, de randvoorwaarden voor het ontwerp en de dimensionering. Als de functie-eisen op een juiste manier tot stand zijn gekomen, heeft een eerste afweging van (tegenstrijdige) belangen van de functies (scheepvaart, afvoer, natuur, recreatie etc.) reeds plaatsgevonden. De functie-eisen zijn in combinatie met de lokale (on)mogelijkheden veelal bepalend voor de oplossingsrichting van het ontwerp van de oever. Uiteraard zullen bij de verdere uitwerking nog tegenstrijdigheden op detailniveau moeten worden opgelost. Naast de functie-eisen kunnen er ten behoeve van het beheer van de oever aanvullende eisen gesteld worden. Te denken valt hierbij aan de bereikbaarheid in geval van inspectie, onderhoud, calamiteiten etc.

Ter illustratie staat hieronder een aantal punten die bij het ontwerp van een oever in overweging genomen kan worden en een kwalitatief voorbeeld van een veel voorkomende situatie:

- > functies;
- > streefbeeld;
- > functie-eisen;
- > oplossingsrichtingen;
- > bepalen maatgevende belastingen op de oever;
- > hoogte, diepte, breedte van de civiel-technische component van de oever;
- > zwaarte eventuele verdedigingselementen;
- > gevolgen en rendement van over- of onderdimensioneren civieltechnische component van de oever;
- > gevolgen overschrijden maatgevende belastingen;
- > en gevolgen van geheel of gedeeltelijk bezwijken van de oever.

VOORBEELD:

Oevers in een kanaal

Functies en huidige situatie

De functies van dit kanaal zijn: beroepsvaart (weinig intensief), doorgaande recreatievaart, regionale watervoorziening, natuur & landschap en oeverrecreatie.

Het huidige diepe kanaal bestaat uit een horizontale onverdedigde bodem en kale bestorte taluds als gevolg van begrazing. De ruimte aan de ene zijde wordt sterk beperkt door de aanwezigheid van een provinciale weg. Aan de andere zijde is een strook grond van gemiddeld 10 m breedte in eigendom van de vaarwegbeheerder. Aan de eisen van de functies beroepsvaart, recreatievaart en regionale watervoorziening wordt voldaan, plaatselijk zelfs ruimschoots, zodat daar een eventuele uitbreiding van de oeverzone ook in de richting van het kanaal gerealiseerd kan worden. Aan de functies natuur en landschap en oeverrecreatie wordt niet voldaan.

Streefbeeld en functie-eisen

Vanuit ecologische overwegingen wordt gestreefd naar een toename van open, ondiep water en een in breedte variërende oevervegetatie. Met deze aanpassing in combinatie met de aanleg van enkele vissteigers, wordt tevens aan de eisen van de oeverrecreatie voldaan. Over een traject van ongeveer 5 km dient deze oever in verband met de corridorfunctie zoveel mogelijk ononderbroken te worden gerealiseerd. Waar ruimte de beperkende voorwaarde is, wordt eerst de open, ondiep waterzone opgeofferd. Een natuurlijke oever is gezien de belastingen en de beperkte ruimte niet realiseerbaar. Een nadere uitwerking van het streefbeeld voor deze specifieke oevers leidt tot toetsbare functie-eisen.

Oplossingsrichting

Op grond van beschikbare ruimte en ecologische overwegingen is besloten oevers aan te leggen bestaande uit aan de ene zijde een natte strook verdedigd door een breukstenen



Afbeelding 4

Breukstenen vooroeververdediging met natte strook.

vooreverdediging en aan de zijde van de weg uit een doorgroeibare aanliggende verdediging. Deze aanpassing tast het vereiste natte profiel van het kanaal niet aan en beïnvloedt de functies beroepsvaart, regionale watervoorziening en doorgaande recreatievaart nauwelijks. Voor de oever met natte strook wordt de beschikbare strook grond van 10 m geclaimed.

Belastingen en dimensionering

Voor de dimensionering van de oeververdedigingen is de beroepsvaart maatgevend. De belastingen van de recreatievaart overstijgen die van de beroepsvaart niet, en de stroomsnelheden die een gevolg zijn van de regionale watervoorziening zijn beduidend kleiner dan die van de retourstroom als gevolg van scheepspassages. De interferentiepieken zoals die door de sleepboten, patrouillevaartuigen en grote motorjachten worden opgewekt, zijn bepalend voor de golfploop en hoogte van de vooreverdediging. Ook de belasting van de windgolven is ondergeschikt aan die van de scheepsgolven. In hoofdstuk 2 van dit boek staan methoden om de genoemde hydraulische belastingen af te schatten.

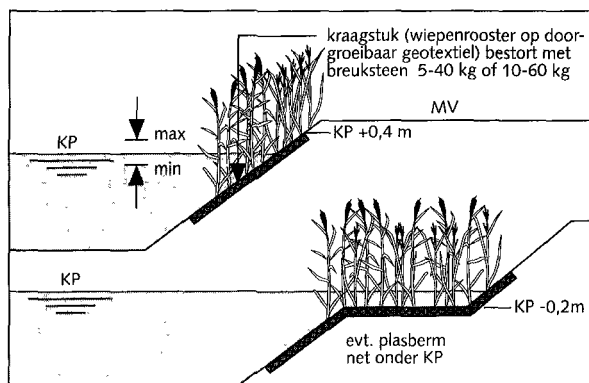
Doorgroeibare aanliggende verdediging

De doorgroeibare verdediging (talud 1:3) bestaat uit een simpel kraagstuk dat opgebouwd is uit een wiepenrooster op een doorgroeibaar synthetisch (dus permanent) geotextiel, afgestort met een laag breuksteen (zie ook § 3.5.1). Om de doorgroeibaarheid te bevorderen is het zinvol de bestorting voldoende "open" te laten. Dit kan gerealiseerd worden met een breuksteensortering die wat aan de zware kant is en in één in plaats van in twee lagen wordt aangebracht. Dit geldt met name in de zone waar de doorgroeiing mag worden verwacht. In een scheepvaartkanaal is dat de zone boven de stilwaterlijn tot maximaal enkele decimeters daaronder. Onder gunstige omstandigheden, dus niet in een intensief bevaren scheepvaartkanaal, kan riet, lisdodde of biezen echter groeien tot een waterdiepte van 1 à 1,5 m.

Een breuksteensortering 5-40 kg of 10-60 kg (zie Bijlage 1 voor standaardsorteringen) in een scheepvaartkanaal op een talud van 1:3 kan zeer zware belasting weerstaan. (Ter vergelijking: het drukbevaren Noordzeekanaal heeft oevers met een talud van 1:3 die bestort zijn met een breuksteensortering 10-60 kg). Zelfs bij een overschrijding van de maatgevende belastingen zal niet snel schade optreden (zie ook § 3.7.2). Hierdoor zal het onderhoud aan de bestorting worden geminimaliseerd. Een lichtere bestorting zal weinig winst opleveren. Winst kan wel worden behaald bij het optimaliseren van de afmetingen van de constructie. Vooral het minimaliseren van de hoogte van de verdediging leidt tot ruimtewinst, minder materiaal, lagere kosten, hoger ecologisch rendement en landschappelijk aantrekkelijkere oevers.

Bij de bepaling van die hoogte moet men zich bedenken dat de grote belastingen (retourstroom en haalgolf) zich voornamelijk op en onder de stilwaterlijn voordoen. De interferentiepieken bevinden zich grofweg voor de helft onder en voor de helft boven de stilwaterlijn. Voorts moet men zich realiseren dat een begroeiing de nodige golfbelasting kan weerstaan. Dus de golfploop van een maatgevende golf (zie ook § 3.8), welke niet zo vaak voorkomt, mag best tot boven de bestorting uitkomen. Ook bij een calamiteit waarbij de maatgevende belasting wordt overschreden zal dit niet leiden tot een aantasting van het begroeide talud boven de

bestorting. De hoogte van de taludverdediging hoeft zich dus niet persé uit te strekken tot aan de maximale golfoploop die behoort bij een taludhelling van 1:3. In dat geval zal bij de aanleg, wanneer de aansluitende onverdedigde grond nog onbegroeid is, een tijdelijke voorziening in de vorm van een vastgekremde kokosmat noodzakelijk zijn. De maximale golfoploop op het breuksteentalud bedraagt hier volgens § 3.8 uitgaande van een golfperiode van 2 à 3 s en een taludhelling van 1:3, 1 à 1,2 maal de hoogte van de inkomende golf. De hoogte van de taludverdediging kan zich daarom in dit geval beperken tot ca. één maal de maatgevende golfhoogte. Dit komt in dit geval overeen met 0,4 m boven het kanaalpeil (zie afbeelding 5).



Afbeelding 5

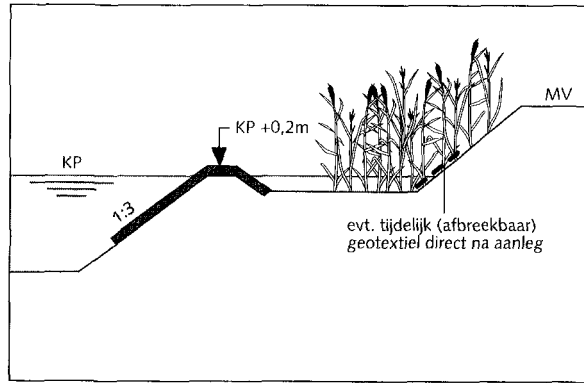
Oever met doorgroeibare aanliggende verdediging.

Oever met vooroeververdediging en natte strook

Voor de oever aan de overzijde gelden dezelfde uitgangspunten met dien verstande dat die vooroeververdediging niet de volledige golfbelasting moet wegnemen, maar moet reduceren tot een aanvaardbare hoogte. Enige golfslag in de natte strook geeft de nodige natuurlijke dynamiek. Een dam tot op de waterlijn reduceert de golfhoogte tot circa 50 %. Van een inkomende golfhoogte van 0,4 m (komt al niet zo vaak voor) blijft bij een vooroeververdediging van 0,2 m boven de waterlijn (zichtbaarheid voor de scheepvaart) nog zo'n 0,1 m over (zie ook § 4.3.2 of § 4.4.4). Een dergelijke lage vooroeververdediging zal daarom vrijwel overal voldoen.

Tijdelijke maatregelen

Direct na aanleg is een tijdelijke bescherming (zie ook § 3.4) van het achterliggende, onverdedigde en geroerde talud door een biologisch afbreekbaar geotextiel (kokos) veelal wenselijk (zie afbeelding 6). Om de oevervegetatie tot ontwikkeling te laten komen en in stand te houden is een afrastering noodzakelijk om het grazende vee uit de oever te weren.



Afbeelding 6

Oever met plasberm en vooroeververdediging.

Hoofdstuk 2: Hydraulische belastingen

2.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden betrekkelijk eenvoudige formules gegeven voor de berekening van door scheepvaart veroorzaakte waterbewegingen en van windgolven. Deze belastingen moeten bekend zijn bij het ontwerpen van constructies in of langs de oever. Voor niet standaard gevallen is men aangewezen op beschikbare literatuur (zie de lijst met literatuurverwijzingen) of op de kennis van gespecialiseerde afdelingen of bureaus. Hoewel belastingen door ijsgang feitelijk niet tot de hydraulische belastingen behoren wordt hieraan in § 2.5 toch enige aandacht besteed.

Afhankelijk van het gekozen oevertype in combinatie met mogelijke zware mechanische belastingen op het droge deel van de oeverzone kunnen grondmechanische belastingen een rol van betekenis gaan spelen. Bij de meeste natuurvriendelijke oevers waar geleidelijke overgangen met flauwe taluds (flauwer dan 1:3) gewenst zijn, zullen grondmechanische aspecten niet relevant zijn. Echter daar waar wegens ruimtegebrek of door compromissen met andere ter plaatse geldende functies noodgedwongen gebruik moet worden gemaakt van damwanden, steile taluds of zware schanskorfstapelingen moeten de grondmechanische aspecten wel worden meegenomen. Deze aspecten worden bij de desbetreffende onderdelen verderop in dit boek beknopt behandeld.

Steile vooroevers die ontstaan in morfologisch dynamische gebieden kunnen grondmechanisch gezien ook instabiliteit van oevers (oeverval) veroorzaken. Deze problematiek gaat echter te ver om in dit handboek te behandelen. In deze gevallen dienen grondmechanische specialisten of specialistische literatuur geraadpleegd te worden. Om voornoemde reden wordt in dit boek geen apart hoofdstuk gewijd aan grondmechanische belastingen.

2.1.1 KEUZE MAATGEVENDE BELASTINGEN

Met de hierna genoemde formules kan een redelijke afschatting worden gemaakt van hydraulische belastingen. Echter als u gebruik maakt van die formules, of van het computerprogramma DIPRO, moet u nog wel keuzes maken voor de maatgevende situaties. Die situaties zijn namelijk niet zo voor de hand liggend als vaak wordt gesuggereerd. Bij oevers is niet of nauwelijks sprake van officiële normen wat betreft belastbaarheid. Voor bijvoorbeeld primaire waterkeringen is de acceptabele kans van overschrijding van de maatgevende hoge waterstand vastgelegd in de Wet op de Waterkeringen. Voor oevers zult u de keuze van de maatgevende situatie zelf moeten maken.

- > Voor kleine wateren zoals beken, watergangen en sloten zijn stromingsbelastingen vaak maatgevend, echter omdat die belasting nogal eens gering is, kan de voortdurende aanwezigheid van kabbelende windgolfjes vooral in zandige gebieden van grote invloed zijn.
- > In de kleine wateren in stedelijke gebieden is vaak alleen de invloed van de nagenoeg altijd aanwezige kleine windgolfjes de maatgevende hydraulische belasting.
- > In kanalen zijn de hydraulische belastingen veroorzaakt door de scheepvaart meestal maatgevend.
- > Voor rivieren is vaak een combinatie van belastingen door stroming en scheepvaart maatgevend.
- > Bij meren, getijdewateren, brede rivieren en smallere rivieren tijdens hoogwater, is de rol van windgolven vaak overheersend of speelt een belangrijke rol bij de maatgevende belasting.

2.2 DOOR SCHEEPVAART VEROOorzaakte WATERBEWEGINGEN

In de volgende twee paragrafen wordt de achtergrond beschreven van de waterbewegingen veroorzaakt door respectievelijk varende (zie § 2.2.1) en manoeuvrerende schepen (zie § 2.2.2). Een aantal vereenvoudigde rekenregels geeft u de gelegenheid een goede inschatting te maken van de grootte van de door de scheepvaart veroorzaakte belastingen op de oever. Vervolgens wordt in § 2.2.3 ingegaan op het bij dit boek geleverde computerprogramma DIPRO, waarmee u niet alleen de door de schepen veroorzaakte waterbeweging kunt berekenen, maar ook de benodigde zwaarte van een eventuele oeververdediging. Die paragraaf is vooral van belang voor scheepvaartkanalen, omdat de scheepvaart daar meestal bepalend is voor de maatgevende belasting. Windgolven en stroming als gevolg van aan- of afvoer van water zijn daar vrijwel nooit maatgevend. DIPRO is bedoeld voor situaties met een relatief kleine natte doorsnede, zoals kanalen. Voor open water zoals de zee, estuaria, brede benedenrivieren en meren is DIPRO dan ook niet geschikt. Met het programma kunt u de belastingen op de oever nauwkeuriger bepalen dan met de hieronder aangegeven rekenregels, omdat in dat programma met meer op de situatie toegespitste en complexere rekenregels wordt gewerkt.

2.2.1 VARENDE SCHEPEN

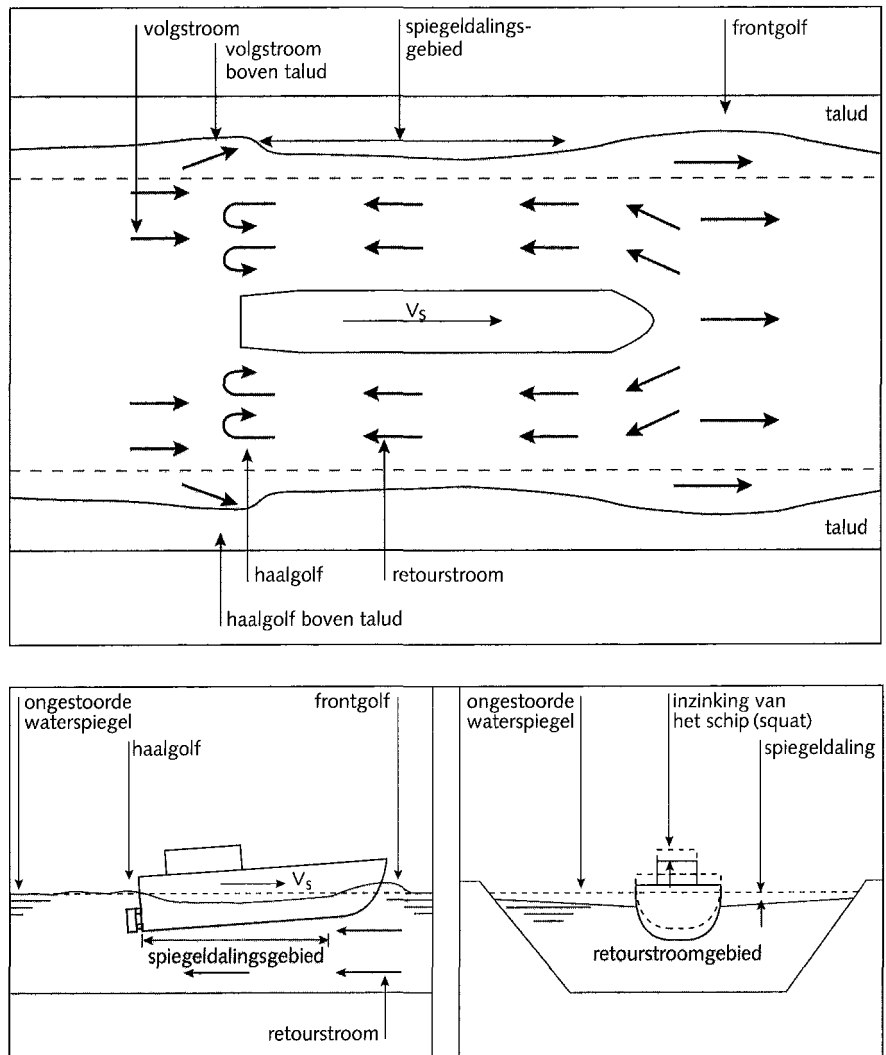
De waterbeweging zoals die door een varend schip wordt opgewekt, kan worden opgedeeld in drie hoofdcomponenten: primaire golf, secundaire golven en schroefstraal (zie afbeelding 7 en 8). De zones in de oever die door deze waterbewegingen worden beïnvloed zijn weergegeven in afbeelding 9.

Primaire golf

Deze ontstaat doordat water van voor naar achter het varende schip moet worden verplaatst. De hierbij te onderkennen verschijnselen zijn de retourstroom en de waterspiegeldaling, die voorafgegaan wordt door de frontgolf en beëindigd wordt door de haalgolf (afbeelding 7).

De primaire golf bestaat uit:

- > frontgolf, voorste begrenzing van de waterspiegeldaling;
- > waterspiegeldaling, aan weerszijden van het schip;
- > retourstroom, aan weerszijden en onder het schip en in richting tegengesteld aan de vaarrichting van het schip;
- > haalgolf, achterste begrenzing van de waterspiegeldaling;
- > en volgstroom, stroming achter het schip en boven het talud met een stroomrichting gelijk aan de vaarrichting.



Afbeelding 7

Karakteristieke waterbeweging door varende schepen; primaire golven.

Van deze verschijnselen zijn de frontgolf en de volgstroom niet relevant voor de oever. De grootste primaire waterbeweging wordt doorgaans veroorzaakt door geladen schepen (motorschepen en duweenheden). Als het schip meer dan 10 maal de scheepsbreedte van de oever verwijderd is kan de invloed van de primaire waterbeweging op die oever worden verwaarloosd.

De waterspiegeldaling zorgt voor "zuiging" op de oever, waarbij de oever gedeeltelijk en tijdelijk droog kan komen te staan. Bij natuurlijke oevers kan dit leiden tot erosie of aantasting van de oevervegetatie. De waterspiegeldaling die optreedt is in belangrijke mate afhankelijk van de grootte van het passerende schip in verhouding tot de grootte van de dwarsdoorsnede van de vaarweg, de vaarsnelheid en de afstand van het passerende schip tot de oever. In scheepvaartkanalen met gangbare afmetingen zijn waterspiegeldalingen ter plaatse van de oever van 0,3 tot 0,5 m vaak voorkomende waarden, die niet alleen door de beroepsvaart in

scheepvaartkanalen maar ook door snel varende grote recreatievaartuigen in smalle wateren kunnen worden opgewekt. In extreme gevallen zijn waarden tot 1 m mogelijk. De maximale duur van de waterspiegeldaling is afhankelijk van de scheepslengte en de vaarsnelheid en ligt meestal tussen 20 en 60 s.

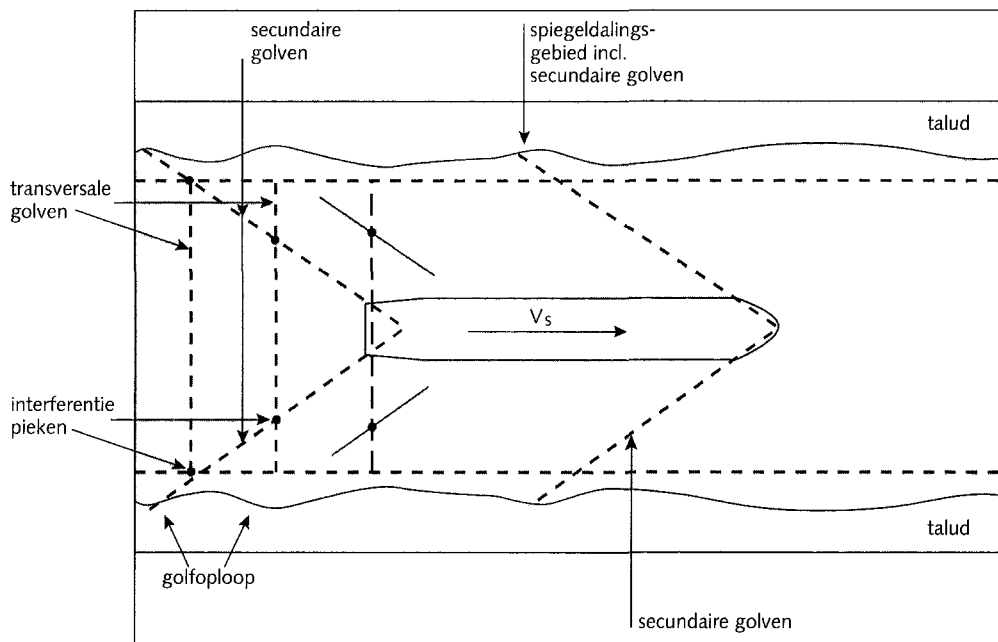
Deze tijdelijke dalende waterstand op de vaarweg is voor het civieltechnische deel van de oever doorgaans niet maatgevend. Bij oevers met een natte strook achter een vooroeververdediging levert deze waterspiegel-fluctuatie wel een groot aandeel in de verversing van het water in de natte strook (zie ook PLONS § 4.3.2).

De retourstroom treedt gelijktijdig en in combinatie op met de waterspiegeldaling. De hierbij optredende stromingsbelasting is doorgaans niet van invloed op de dimensionering van de civieltechnische oeververdediging rond de waterlijn. De belasting treedt echter niet alleen op bij de oever maar ook dieper op het onderwatertalud en de bodem van de vaarweg. Deze belasting kan daar wel van invloed zijn op het ontwerp. Retourstromingsnelheden tot circa 1 m/s zijn niet ongebruikelijk.

De haalgolf treedt op bij de vrij abrupte beëindiging van de waterspiegeldaling. Dit gaat doorgaans gepaard met een continu brekende golf. De top van deze brekende golf bevindt zich slechts even boven het stilwaterniveau. Omdat deze golf zich evenwijdig aan de oever verplaatst, leidt deze slechts tot een zeer geringe golfoploop. Het effect van de haalgolf op de oever strekt zich uit tot de zone die ligt tussen het niveau van de waterspiegeldaling en even boven het stilwaterniveau. De belasting van deze brekende haalgolf is meestal maatgevend voor de zwaarte van de civieltechnische oeververdediging. De hoogte van de maatgevende haalgolf in een scheepvaartkanaal met gangbare afmetingen (breedte van 50 m en een waterdiepte van 4 m) ligt in de orde van 0,3-0,5 m.

Secundaire golven

Het secundaire golfsysteem bestaat uit transversale en divergerende golven (zie afbeelding 8). De combinatie van deze twee golfsoorten leidt tot de kenmerkende verschijnselen die interferentiepieken worden genoemd.



Afbeelding 8 Karakteristieke waterbeweging door varende schepen; secundaire golven.

Deze interferentiepieken bevinden zich grofweg voor de helft onder en voor de helft boven de stilwaterlijn en hebben effect op de oever in een zone rond die stilwaterlijn. Met name deze golven zorgen voor golfploop en -overslag en zijn daarom van belang voor de bepaling van de hoogte van de civieltechnische oeververdediging. In de praktijk zal in de meeste vaarwegen de maatgevende interferentiepiek de waarde van 0,4 m niet vaak overschrijden, waarbij de golfperiode ligt tussen 2 en 3 s. De maximale interferentiepiek wordt doorgaans veroorzaakt door relatief snel varende ongeladen schepen of kleine vaartuigen (sleeptboten, recreatievaartuigen).

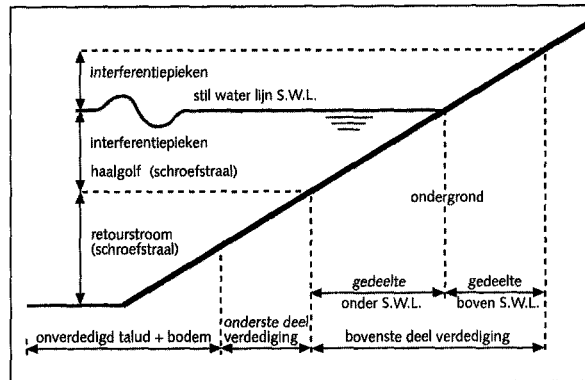
Schroefstraal

Dit is de stroming direct achter het schip als gevolg van de voortstuwing van dat schip (scheepsschroef) of direct naast het schip ter hoogte van de boeg als gevolg van een boegschroef. De boegschroef wordt gebruikt om de manoeuvreerbaarheid van met name stilliggende of langzaam varende schepen te vergroten. Deze schroefstralen kenmerken zich door een sterk geconcentreerde stroming met hoge snelheid en sterke turbulentie. Door uitwaaiering neemt de snelheid in de schroefstraal af naarmate de afstand tot de schroef toeneemt.

Vanwege de geconcentreerdheid, de hoge stroomsnelheden, de hoge turbulentie en de toenemende vermogens van boegschroefinstallaties kan de schroefstraal tot op redelijk grote afstand van de schroef schade aanbrengen aan de oever, het onderwatertalud of de bodem. Met name kan schade ontstaan daar waar nagenoeg stilliggende schepen, soms liggend tegen de oever of kade, manoeuvreren door gebruik te maken van boegschroeven of toerenstoten van de hoofdschroef al of niet in combinatie met een grote roerhoek waardoor de schroefstraal sterk kan worden afgebogen naar de oever en of de bodem. Vooral bij wachtplaatsen voor bruggen en sluizen, afmeergelegenheden en zwaaikommen moet met de invloed van schroefstalen op het al of niet verdedigde onderwatertalud en de bodem rekening gehouden worden. Bij verticale oevers zoals afmeerkades kunnen schroefstralen door de sterke afbuiging bij de botsing tegen de kade tot grote lokale ontgrondingskuilen leiden waardoor de stabiliteit van de kade (damwand) kan worden aangetast.

Bepaling scheepsgeïnduceerde belastingen

De grootte van de opgewekte waterbewegingen ter plaatse van de oever is afhankelijk van de grootte en de vorm van zowel het schip als het natte profiel van het kanaal, de verhouding tussen de vaarwegdoorsnede en de scheepsdoorsnede, de plaats van het schip ten opzichte van de as van de vaarweg en de scheepssnelheid ten opzichte van het water.

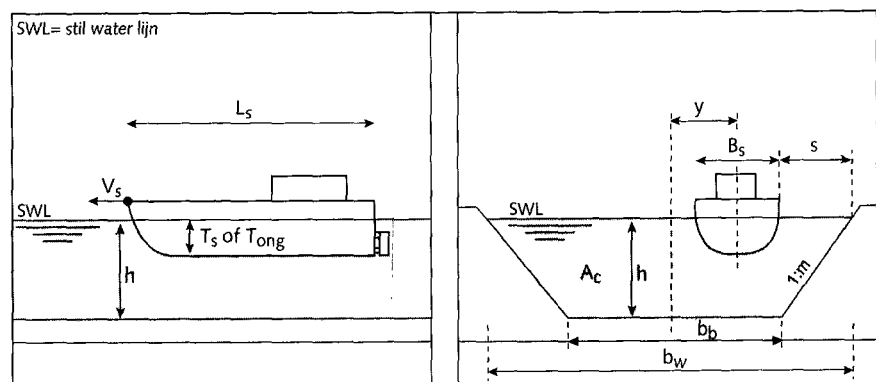


Afbeelding 9

Plaats van aangrijpen van belastingen op oevers.

Voor de berekening van de golfkarakteristieken van primaire en secundaire scheepsgolven zijn de waarden van de volgende invoergrootheden benodigd (zie ook afbeelding 10 en de symbolenlijst):

- | | | |
|--|-----------|-------------------|
| > scheepslengte | L_s | [m] |
| > scheepsbreedte | B_s | [m] |
| > diepgang geladen schip | T_s | [m] |
| > over de scheepslengte gemiddelde diepgang ongeladen | T_{ong} | [m] |
| > excentriciteit (afstand scheeps-as tot de as van de vaarweg) | y | [m] |
| > afstand van zijkant schip tot oever | s | [m] |
| > oppervlak van de natte vaarwegdoorsnede | A_c | [m ²] |
| > taludhelling (1:m) | m | [-] |
| > waterdiepte | h | [m] |
| > breedte vaarweg op de waterspiegel | b_w | [m] |
| > breedte vaarweg op de bodem | b_b | [m] |
| > vaarsnelheid schip | V_s | [m/s] |



Afbeelding 10

Relevante scheeps- en vaarwegafmetingen.

Vaarsnelheid

De vaarsnelheid is een belangrijke factor bij de bepaling van belastingen op oevers. De werkelijke vaarsnelheid van de scheepvaart is echter veelal niet bekend. Zelfs in vaarwegen waarvoor een maximum snelheid is vastgesteld is het niet uitzonderlijk dat er sneller gevaren wordt dan toegestaan. Voor diegenen, die voor dimensioneringsdoeleinden meer in maatgevende omstandigheden geïnteresseerd zijn, is een benadering met behulp van de grenssnelheid een goede. Deze grenssnelheid (V_1) is theoretisch de maximaal haalbare snelheid van een bepaald schip in een bepaald vaarwater. De grenssnelheid kan worden bepaald met de formule van Schijf (iteratie berekening) (Waterloopkundig Laboratorium, 1988).

$$\frac{V_1}{(gh')^{0,5}} = 0,544 \left[1 - \frac{A_m}{A_c} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{(gh')^{0,5}} \right)^2 \right]^{3/2} \quad (1)$$

waarbij $h' = A_c/b_w$. De waarde van A_m volgt uit:

$$A_m = C_m \cdot B_s \cdot T_s \text{ met blokcoëfficiënt } \begin{array}{l} C_m = 1,0 \text{ voor duweenheden, motorschepen} \\ C_m = 0,9 \text{ voor overige schepen} \end{array} \quad (2)$$

Een reële inschatting voor de werkelijke maximale vaarsnelheid volgt uit:

$$V_s = 0,9 \cdot V_1 \quad (3)$$

Er wordt daarbij vanuit gegaan dat het motorvermogen van de schepen geen beperkende factor is.

Wanneer het oppervlak (A_c) van de natte kanaaldoorsnede tussen de 3,3 en 10 keer groter is dan het oppervlak (A_m) van de natte scheepsdoorsnede (A_m/A_c ligt tussen 0,1 en 0,3) kan V_1 worden afgeschat met de volgende vereenvoudigde formule:

$$V_1 = 0,7(gh')^{0,5} \left(1 - \frac{A_m}{A_c} \right)^{2,25} \quad (4)$$

Voor kleine schepen (klein t.o.v. van het vaarwegprofiel A_c : $A_m/A_c < 0,1$) zoals sleepboten en recreatievaartuigen wordt de grenssnelheid uitsluitend bepaald door de lengte van het schip op de waterlijn (L_s) of door de waterdiepte (h).

$$V_1 = (gL_s/2\pi)^{0,5} \quad \text{of} \quad V_1 = (gh)^{0,5} \quad (5)$$

Van de op bovenstaande wijze bepaalde grenssnelheden (volgens Schijf, op basis van L_s of van h) dient de laagste snelheid te worden aangehouden. De gangbare maximale vaarsnelheid ligt, gesteld dat het motorvermogen geen beperkende factor is, zo'n 10 % lager dan de grenssnelheid ($V_s = 0,9V_1$).

Retourstromsnelheid en waterspiegeldaling

Voor in de as varende schepen kunnen bovengrenzen van de gemiddelde retourstromsnelheid en de gemiddelde spiegeldaling iteratief worden bepaald. De resultaten daarvan zijn de belastingen zoals ze ter

plaatse van de oever optreden. Hiertoe wordt een ééndimensionale benadering volgens de energiemethode volgens Schijf gebruikt. De te gebruiken formules zijn:

$$A_c \cdot V_s = A_w(V_s + \bar{u}_r) \quad (6)$$

$$\bar{\Delta h} = \frac{V_s^2}{2g} \left[\alpha_s \left(\frac{A_c}{A_w} \right)^2 - 1 \right] \quad (7)$$

$$A_w = b_b(h - \bar{\Delta h}) + m(h - \bar{\Delta h})^2 - A_m \quad (8)$$

$$\alpha_s = 1,4 - 0,4 \cdot \frac{V_s}{V_l} \quad (9)$$

De formules zijn alleen toepasbaar in situaties waarbij de vaarweg niet breder is dan ca. 12 maal de scheepsbreedte. ($b_w/B_s \leq 12$). Opgemerkt dient te worden dat halfgeladen schepen door hogere vaarsnelheden en grotere excentriciteit soms grotere retourstroomsnelheden veroorzaken dan geladen schepen.

Voor niet in de kanaal-as, dus excentrisch, varende schepen ($y \neq 0$) kunnen de extreme retourstroom-snelheden en spiegeldalingen worden bepaald met de volgende formules, waarin A'_c het oppervlak (m^2) van de natte kanaaldoorsnede is tussen de scheeps-as en de oever.

I. Voor situaties waarbij de breedte van het kanaal op de waterlijn (b_w) kleiner is dan 1,5 maal de lengte (L_s) van het schip. ($b_w/L_s < 1,5$):

$$\frac{\hat{u}_r}{\bar{u}_r} = 1,5 - 1,0 \cdot \frac{A'_c}{A_c} \quad (10)$$

$$\frac{\hat{\Delta h}}{\bar{\Delta h}} = 2,0 - 2,0 \cdot \frac{A'_c}{A_c} \quad (11)$$

$$A'_c = 0,5 \cdot A_c - y \cdot h \quad (12)$$

II. Voor situaties waarbij de breedte van het kanaal op de waterlijn (b_w) groter is dan 1,5 maal de lengte (L_s) van het schip. ($b_w/L_s > 1,5$):

$$\frac{\hat{u}_r}{\bar{u}_r} = 2,5 - 3,0 \cdot \frac{A'_c}{A_c} \quad (13)$$

$$\frac{\hat{\Delta h}}{\bar{\Delta h}} = 3,0 - 4,0 \cdot \frac{A'_c}{A_c} \quad (14)$$

Frontgolf

De frontgolf is niet relevant voor de dimensionering van oevers, daarom zijn hier geen formules voor de bepaling van de hoogte en steilheid opgenomen. In DIPRO worden deze waarden echter standaard berekend.

Haalgolf

De maximale grootte van de haalgolf (Z_{\max}) is in het geval van duweenheden en conventionele motorschepen globaal gelijk aan 1,5 maal de waterspiegeldaling ($Z_{\max} = 1,5\Delta h$). Voor kleine schepen (sleepboten, etc) geldt voor de maximale haalgolf dat deze grofweg gelijk is aan de waterspiegeldaling. ($Z_{\max} = 1,0\Delta h$).

Interferentiepieken

De kenmerkende grootheden van interferentiepieken zijn: golfhoogte H_i (m), golflengte L_{wi} (m) en golfperiode T_i (s). Als de vaarsnelheid kleiner is dan $0,8(gh)^{0,5}$ kunnen die kenmerkende grootheden worden berekend met de relaties:

$$H_i = 1,2 \cdot \alpha_1 \cdot h \cdot \left(\frac{s}{h}\right)^{-0,33} \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}}\right)^{4,0} \quad (15)$$

$$L_{wi} = 4,2 \cdot \frac{V_s^2}{g} \quad (16)$$

$$T_i = 5,1 \cdot \frac{V_s}{g} \quad (17)$$

De waarde van α_1 voor van belang zijnde scheepstypen bedraagt:

$\alpha_1 = 0,35$ ongeladen conventioneel motorschip

$\alpha_1 = 0,50$ ongeladen duweenheid

$\alpha_1 = 1,0$ dienstverlenende vaartuigen, sleepboten en geladen conventionele motorschepen

De parameter s is de afstand tussen de scheepswand en de plek waarvoor de hoogte van de interferentiepieken wordt berekend (meestal de oever).

Opgemerkt wordt dat geladen schepen wat betreft interferentiepieken niet maatgevend zijn door de lagere vaarsnelheid ten opzichte van ongeladen schepen.

Bij vaarwegen met verticale oevers treedt een sterke reflectie van golven op. Voor de bepaling van de golfloop of -overslag moet in verband met die reflectie de berekende inkomende golfhoogte (H_i) worden vermenigvuldigd met 1,5 à 1,8.

2.2.2 MANOEUVRERENDE SCHEPEN

De schroefstralen van schepen kunnen plaatselijk belangrijke bronnen van bodem- en oeverserosie vormen. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen varende en manoeuvrerende schepen. Met name in havens, nabij sluizen en wachtplaatsen kan de aantasting van bodems en oevers door manoeuvrerende schepen aanzienlijk zijn. In deze situaties wordt ten behoeve van de manoeuvreerbaarheid van de vrijwel stilliggende schepen veel gewerkt met hoge en wisselende toerentallen (toerenstoot) van zowel de hoofdschroef, al of

niet in combinatie met maximale roeruitslag, als van de boegschroef. De hoge stroomsnelheden in de geconcentreerde schroefstraal in combinatie met een zeer hoge turbulentie zorgen voor grote erosieve krachten. De stroomsnelheden in de schroefstraal en de mate van uitwaaiering van deze geconcentreerde stroom worden bepaald door een groot aantal factoren zoals het type (boeg)schroef, de schroefdiameter, het motorvermogen, de vaarsnelheid, het roertype, de roerhoek, de afstand schroef/bodem, de afstand schroef/oever, etc. In het reeds genoemde programma DIPRO is het mogelijk om voor tamelijk veelvoorkomende situaties een goede indruk van de te verwachten maximale stroomsnelheden op het onderwatertalud te krijgen. Hieronder volgt een aantal rekenregels waarmee een goede schatting van de stroomsnelheden in schroefstralen kan worden gemaakt.

Schroefstraal hoofdschroef

De maximale stroomsnelheid (u_b) in de schroefstraal op de bodem (zie ook afbeelding 11) op een afstand z_b onder de schroef-as of op een talud¹, op x meter van de scheepsschroef in de straal-as, veroorzaakt door een praktisch stilliggend schip ($V_s \approx 0$) is te schatten met respectievelijk:

$$u_b = 0,3 \cdot u_o \cdot \frac{D_o}{z_b} \quad \text{of} \quad u_b = 1,7 \cdot u_o \cdot \frac{D_o}{x} \quad (18)$$

waarbij:

$$u_o = 1,15 \left(\frac{P}{\rho D_o^2} \right)^{0,33} \quad (19)$$

Hierin is u_o de maximale stroomsnelheid in de as van de schroefstraal die optreedt juist achter de schroef waar ten gevolge van contractie de diameter van de schroefstraal het kleinst is (zie afbeelding 11), P_d (Watt) het aangewende vermogen van het schip en ρ (kg/m^3) de dichtheid van het water.

$D_o = 0,7 \cdot D_p$ voor een schroef zonder straalbuis

$D_o = 0,85 \cdot D_p$ voor een schroef in een tunnel (duweenheden)

$D_o = 1,0 \cdot D_p$ voor een schroef in een straalbuis

In geval D_p , de schroefdiameter, onbekend is, kan hiervoor worden gehanteerd:

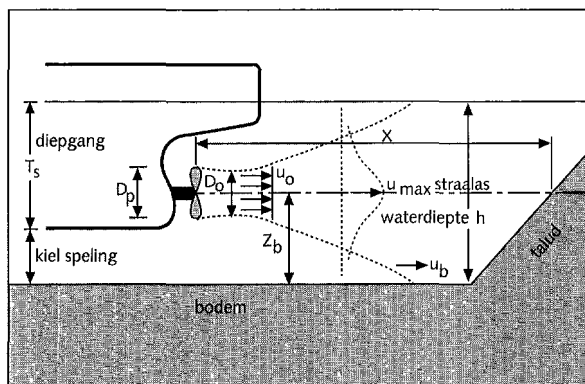
$D_p = (0,6 \text{ à } 0,7) T_s$ voor conventionele motorschepen

$D_p = 1,05 T_s$ voor duweenheden

Voor varende schepen zijn de stroomsnelheden veel geringer. Als indicatie kan worden gehanteerd:

$$(u_b)_{\text{varend}} = (u_b)_{\text{stilliggend}} - 0,5 V_s \quad (20)$$

¹ De vervorming van de schroefstraal door de botsing van die straal tegen het talud wordt hierin niet verdisconteerd. De gegeven stroomsnelheid moet dus geïnterpreteerd worden als de snelheid in de ongestoorde schroefstraal op de plaats waar het talud zich ten opzichte van de schroef zou bevinden. De werkelijk optredende maximale snelheid op het talud zal door afbuiging en contractie als gevolg van dat talud veelal hoger zijn.



Afbeelding 11

Schroefstralen.

Schroefstraal boegschroef

Voor een indicatie van de stroomsnelheid in de schroefstraal van de boegschroef kunnen dezelfde formules als die voor de hoofdschroef worden aangehouden. Omdat de boegschroef haaks staat op hoofdschroef is die veelal gericht op de oever. Bij gebruik van de boegschroef zal de oever belast kunnen worden. Ook hierbij geldt dat de belasting zich vooral manifesteert bij zeer lage snelheden. Zodra de vaarsnelheid toeneemt wordt de schroefstraal dusdanig afgebogen dat die de oever niet of nauwelijks meer bereikt.

Bij stilliggende manoeuvrerende schepen, waarbij de afstand tot de oever zeer klein kan zijn, kunnen aanzienlijke schades aan de onderwatertaluds van oevers optreden. Vooral bij verticale oevers, zoals damwanden en kades kunnen grote ontgrondingskuilen ontstaan waardoor de stabiliteit van die oevers aangetast kunnen worden. Nadere bepaling van de belastingen vergt een dermate specialistische aanpak dat dit buiten de doelstelling van dit handboek valt. Voor zover het programma DIPRO geen oplossing biedt is men aangewezen op de kennis en ervaring van specialisten.

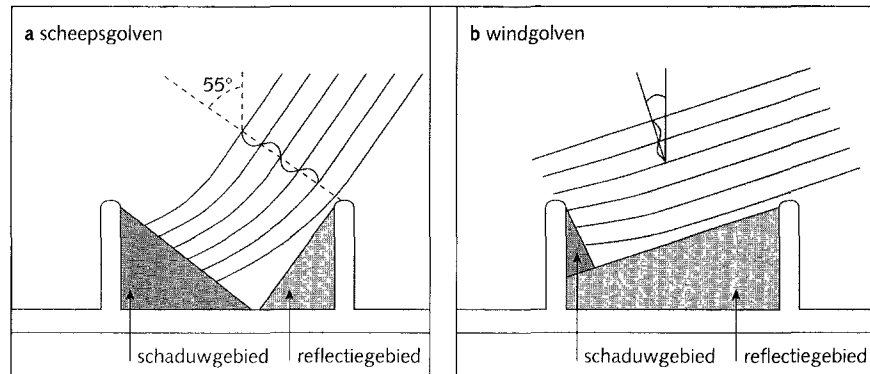
2.2.3 DIPRO

DIPRO (DIMensioning PROtections) is een rekenprogramma voor het ontwerp van oeververdedigingen in vaarwegen. De nadruk bij dit programma ligt op de relatie tussen de door schepen veroorzaakte belastingen op de oever en de stabiliteit van de toplaag van een oeververdediging en de onderliggende filterlagen. Op basis van keuzes van vaarwegprofiel, scheepstype, afstand schip/oever en vaarsnelheid worden de primaire- (waterspiegeldaling, retourstroomsnelheid, haalgolf) en secundaire waterbewegingen (interferentiepieken) ter plaatse van de oever berekend. Vervolgens kan daarmee de toplaag en de filterlaag worden berekend. Het programma kan snel inzicht geven in de gevoeligheid van de resultaten voor variaties in de invoerparameters. Met het inzicht dat daarmee wordt verkregen kan een uitgekend ontwerp worden gemaakt of kunnen bestaande verdedigingen worden getoetst op stabiliteit bij toenemende belastingen. De formules waarop DIPRO is gebaseerd zijn grotendeels ontleend aan het rapport M1115 van het Waterloopkundig Laboratorium (Laboyrie en Verheij, 1988), dat een samenvattend overzicht geeft van de ontwerpmethodieken en rekenregels zoals die door het WL in het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen" zijn ontwikkeld. Ook latere ontwikkelingen zijn in de huidige versie 3.02n van DIPRO verwerkt. Dit computerprogramma is samen met dit handboek op bijgaande floppy disks geleverd. Op de installatie floppy disks treft u ook de handleiding aan. U wordt verwezen naar paragraaf 1.1 van de DIPRO-

handleiding met betrekking tot de verantwoordelijkheden en aansprakelijkheden bij het gebruik van dit computerprogramma.

2.2.4 GOLVEN IN KRIBVAKKEN

Niet alleen passerende schepen, maar ook de wind veroorzaakt golven, die het kribvak binnenvallen. In onderstaande afbeeldingen 12a en b is aangegeven in welk deel van het kribvak de invallende golven van invloed zijn (Waterloopkundig Laboratorium, 1991). Afbeelding a) geldt voor invallende secundaire scheepsgolven en b) voor invallende windgolven uit een willekeurige richting.



Afbeelding 12

Golfdoordringing in kribvakken.

Enerzijds is er een gedeelte in het kribvak waar golven nauwelijks een rol spelen, door de "schaduwwerking" van de krib. Anderzijds is er een gebied waar de golven worden versterkt, tot 1,5 keer hun oorspronkelijke hoogte, door reflectie tegen de kribconstructie. Wanneer golven doorgaans vanuit één bepaalde richting invallen, bijvoorbeeld vanwege een overheersende windrichting of een constant vaargedrag van passerende schepen, is er sprake van een min of meer vast reflectiegebied, dat een aanzienlijke golfbelasting kent en van een schaduwgebied waar de golfbelasting veel minder is. Het centrum van het kribvak zal altijd door golven belast worden.

De golfvoortplanting is afhankelijk van de waterstand in het kribvak. De waterstand in combinatie met het bodemverloop in het kribvak bepaalt wanneer de golven breken (ongeveer bij een verhouding golfhoogte/waterdiepte van 0,6). Door golfbreking neemt de golfhoogte sterk af.

2.2.5 SAMENVATTING

In een scheepvaartkanaal met gangbare afmetingen (een breedte van 50 m en een waterdiepte van 4 m) moet rekening worden gehouden met waterspiegelfluctuaties in de orde van 0,30–0,50 m ten gevolge van spiegel daling, frontgolf en haalgolf. Incidenteel kunnen waarden van 1,0 m optreden. De duur van frontgolf en haalgolf varieert van 2 tot 5 s en de duur van de spiegel daling van 20 tot 60 seconden (afhankelijk van het scheepstype en de vaarsnelheid). Wat betreft de hoogte van de secundaire scheepsgolven moet gerekend worden op waarden van 0,25 tot 0,50 m bij een periode van 2 tot 3 seconden.

Geladen schepen (duweenheden, motorschepen) zullen daarbij maatgevend zijn voor de primaire scheepsgolf en ongeladen schepen en kleine vaartuigen (sleepboten, recreatievoertuigen) voor secundaire golven.

Voor watertypen waarbij de oever meer dan 10 keer de maximale scheepsbreedte van de vaargeul is verwijderd kan de invloed van de waterspiegeldaling worden verwaarloosd. Dit is niet het geval voor de secundaire golven.

2.3 STROMING

2.3.1 ALGEMEEN

Natuurlijke stroming ten gevolge van de afvoer van water uit bovenstroomse gebieden kan voor oevers een maatgevende belasting zijn. Dergelijke situaties kunnen zich voordoen op rivieren, beken en kleine waterlopen. Onder de Nederlandse omstandigheden worden stroomsnelheden van 0,5 m/s nabij de oever zelden overschreden. Tijdens hoogwaters op de grote rivieren is echter een stroomsnelheid van 1,0 m/s zeker niet onmogelijk. De verschillen in stroomsnelheid tussen de binnen- en de buitenbocht kunnen aanzienlijk zijn. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat stroming in een waterloop ook kan optreden als gevolg van spuien of doorspoelen.

In samenhang met de afvoer van overtollig water treden laagfrequente waterspiegelfluctuaties op.

De periode van deze zogenaamde hoogwatergolven bedraagt meerdere dagen.

Voor een juiste bepaling van de te verwachten waterstanden tijdens hoogwaters is kennis noodzakelijk van de vloeistofmechanica en de hydrologie, zie bijvoorbeeld (Jansen, 1979).

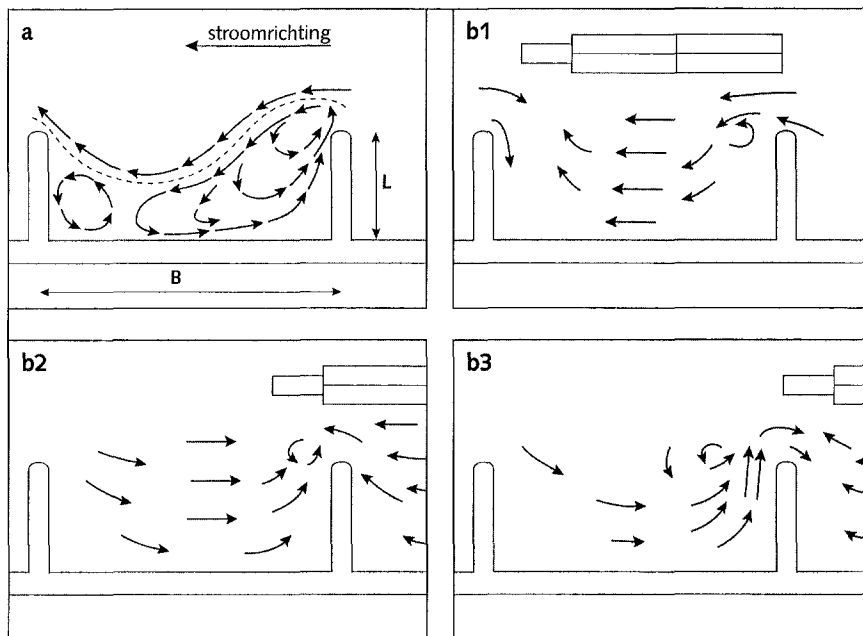
2.3.2 STROMING IN KRIBVAKKEN

In afbeelding 13 (Pilarczyk, 1990b) zijn schematisch enkele kribvakken getekend en is de waterbeweging geschetst die optreedt door de natuurlijke afvoer (a) en de waterbeweging die optreedt bij de passage van een groot, geladen schip, bijvoorbeeld een duwstel (b1 t/m b3).

De geometrie van een kribvak wordt bepaald door de lengte van de kribben, L , en de afstand tussen de kribben, B . Wanneer alleen sprake is van afvoer op de rivier (a) wordt de stroming in de geul door de krib naar de rivier-as gedwongen. Hierbij is een wervelstraat aanwezig, direct benedenstrooms van de kribkop. Benedenstrooms van de krib verbreedt het stroomprofiel en stroomt de hoofdstroom in het kribvak. De benedenstroomse krib verhindert een gedeelte van de hoofdstroom het kribvak te verlaten. Dit gedeelte stroomt daarom terug, daarbij een neer vormend. Bij een verhouding $B/L > 2$ kunnen zich twee neren vormen.

De stroomsnelheden in het kribvak zijn in deze situatie in de orde van 0,4 maal de snelheid in de hoofdstroom. In de neer bij de bovenstroomse kribkop is de snelheid ongeveer 0,5 maal de snelheid in de hoofdstroom.

Nabij de kribkoppen en in het centrum van het kribvak vindt dus de meeste stroomaanval plaats. Op die plekken treedt dus ook de meeste erosie van het bodemmateriaal op.



Afbeelding 13

Waterbeweging in kribvakken bij afvoer en duwstelpassage.

Rivierafvoer en scheepvaart

Door de passage van een groot, geladen schip zoals een duwstel, wordt het stroombeeld in het kribvak wezenlijk anders. De volgende fasen zijn te onderscheiden:

- > De boeg passeert een kribkop (b1). Het bovenstroomse kribvak wordt door de retourstroom, veroorzaakt door het schip, gedeeltelijk leeggezogen. In het kribvak naast het duwstel zorgt de retourstroom voor stroming stroomafwaarts tot het hek van het duwstel. Dit gebeurt over de gehele breedte van het kribvak. De kleine neer in het benedenstroomse deel van het kribvak is vrijwel geheel verdwenen. De grote neer is eveneens vrijwel weg. Bij de kribkop ontstaat tussen boeg en kribkop een wervel.
- > De achterkant van de duwbakken passeert de kribkop (b2). De stroomrichting keert om, het kribvak wordt weer opgevuld door de volgstroom. Het omgekeerde van de situatie zonder scheepvaart vindt plaats.
- > Het hek passeert de kribkop (b3). De volgstroom wordt door de krib naar de rivier-as gedwongen en ontmoet daar de nog aanwezige retourstroom naast het hek. De wervel bij de kribkop wordt daardoor versterkt.

Bij metingen is geconstateerd dat door de passage van een duwstel, de van nature aanwezige snelheden in het kribvak worden vergroot met een factor 1,5 à 3. Dat wil zeggen dat bij een snelheid van 1,0 m/s van de hoofdstroom ten gevolge van natuurlijke afvoer de aanwezige snelheden in het kribvak van ongeveer 0,40 m/s bij de passage van een duwstel tijdelijk toenemen tot 0,6 à 1,2 m/s.

Door de passage van een schip kunnen de snelheden in een kribvak dus aanzienlijk toenemen ten opzichte van de situatie met alleen natuurlijke afvoerstroming. Dit betekent dat ook het bodemmateriaal in het kribvak

sneller en in grotere mate zal eroderen. Afgaande op het stroombeeld bij de passage van een groot schip zal deze erosie tamelijk gelijkmatig over het kribvak verdeeld zijn.

2.4 WINDGOLVEN

Factoren die bepalend zijn voor windgolven zijn windsnelheid, windduur, strijklengte en waterdiepte. Met behulp van empirische formules zijn de significante golfhoogte (H_s) en bijbehorende golfperiode (T_p) te schatten. (Technische adviescommissie voor de Waterkeringen, 1989). De significante golfhoogte is gelijk aan de gemiddelde golfhoogte van het hoogste derde deel van een golfveld. De significante golfhoogte wordt gebruikt in rekenregels om constructie-onderdelen te dimensioneren, zie ook hoofdstuk 3 "Constructieve aspecten" van dit boek.

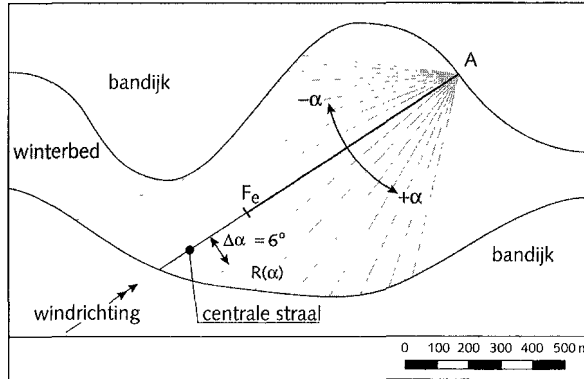
Aanbevolen wordt gebruik te maken van windgegevens van het KNMI, waarbij de windsnelheid het gemiddelde is over een periode van één uur. Voor constante waterdiepten van respectievelijk 1, 2 en 4 m zijn de significante golfhoogten met de bijbehorende golfperiodes als functie van windsnelheid (tot 25 m/s) en strijklengte (tot 5 km) in de hieronder staande tabel 1 gepresenteerd.

Tabel 1 *Significante golfhoogte H_s [m] en bijbehorende golfperiode T_p [s] bij waterdieptes van 1, 2 en 4 m volgens Bretschneider (Bft = Beaufort).*

Waterdiepte ⇒ Strijklengte ↓		Windsnelheid op 10 m hoogte														
		5 m/s (Bft 3-4)			10 m/s (Bft 5-6)			15 m/s (Bft 7)			20 m/s (Bft 8-9)			25 m/s (Bft 10)		
		1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m
250 m	H_s [m]⇒	0,06	0,06	0,06	0,13	0,13	0,14	0,19	0,21	0,21	0,25	0,29	0,30	0,31	0,36	0,39
	T_p [s]⇒	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0
500 m	H_s [m]⇒	0,08	0,08	0,08	0,16	0,17	0,18	0,24	0,27	0,29	0,30	0,36	0,39	0,36	0,45	0,50
	T_p [s]⇒	1,0	1,0	1,1	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3
1000 m	H_s [m]⇒	0,10	0,11	0,11	0,19	0,22	0,24	0,27	0,34	0,37	0,34	0,45	0,51	0,40	0,54	0,64
	T_p [s]⇒	1,2	1,2	1,2	1,6	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7
2000 m	H_s [m]⇒	0,12	0,14	0,14	0,23	0,28	0,31	0,30	0,41	0,48	0,36	0,52	0,64	0,41	0,62	0,80
	T_p [s]⇒	1,3	1,4	1,4	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,6	2,8	2,6	2,9	3,1
5000 m	H_s [m]⇒	0,15	0,19	0,20	0,25	0,36	0,43	0,32	0,49	0,63	0,38	0,60	0,82	0,42	0,69	0,99
	T_p [s]⇒	1,5	1,6	1,7	2,0	2,3	2,4	2,4	2,7	2,9	2,7	3,0	3,3	2,9	3,3	3,7

Voor de in rekening te brengen strijklengte F wordt aanbevolen een effectieve strijklengte F_e te bepalen. Deze kan worden afgestemd op de configuratie van het vóór de oever gelegen wateroppervlak. De effectieve strijklengte wordt dan in een willekeurige situatie gelijk gesteld aan een gewogen gemiddelde van de projecties $R(\alpha_w)$ op de windrichting van alle strijklengten in alle richtingen α_w . Aanbevolen wordt om een sector van 45° ter weerszijden van de normaal op de oever te beschouwen (zie afbeelding 14 en tabel 2).

$$F_e = \frac{\sum R(\alpha_w) \cos^2 \alpha_w}{\sum \cos \alpha_w} \tag{21}$$



Afbeelding 14 Voorbeeld van de bepaling van de effectieve strijklengte.

Tabel 2 Voorbeeldberekening effectieve strijklengte uit afbeelding 14.

α_w in graden	$\cos \alpha_w$	$\cos^2 \alpha_w$	$R(\alpha_w)$ in meters	$R(\alpha_w) \cos^2 \alpha_w$
-42	0,743	0,552	520	287
-36	0,809	0,654	570	373
-30	0,866	0,750	640	480
-24	0,914	0,835	720	601
-18	0,951	0,904	830	750
-12	0,978	0,956	1340	1281
-6	0,995	0,990	1240	1228
0	1,000	1,000	1140	1140
6	0,995	0,990	1050	1040
12	0,978	0,956	980	937
18	0,951	0,904	920	832
24	0,914	0,835	880	735
30	0,866	0,750	830	623
36	0,809	0,654	780	510
42	0,743	0,552	730	403
$\sum \cos \alpha_w = 13,512$			$\sum R(\alpha_w) \cos^2 \alpha_w = 11220$	

De effectieve strijklengte F_e volgt uit:

$$F_e = \frac{\sum R(\alpha_w) \cos^2 \alpha_w}{\sum \cos \alpha_w}$$

$$F_e = \frac{11220}{13,512} = 830 \text{ m}$$

Van belang voor de achteruitgang van een onverdedigde oever is ook het aantal golven dat de oever belast. In de praktijk is gebleken dat hoge aantallen lage golven (lager dan circa 0,10 m) een aanzienlijke erosie van met name zandige oevers veroorzaken. Het aantal golven dat tijdens een storm met een bekende duur de oever belast, kan geschat worden via deze duur en de periode van de significante golfhoogte. In hoofdstuk 3 is een methode gegeven om de achteruitgang van een onverdedigde oever belast door golven te bepalen.

Diepwater golven

Voor de bepaling van de golflengte bestaat een universele doch ingewikkelde formule (KNMI, 1958). Voor relatief diep water (waterdiepte gelijk aan of groter dan de halve golflengte) bestaat echter een eenvoudig verband tussen golflengte (L_0) en golfperiode :

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (22)$$

Voor de voortplantingssnelheid van golven op datzelfde relatief diepe water (C_0) geldt:

$$C_0 = (1,56L_0)^{0,5} = 1,56 T \quad (23)$$

Ondiepwater golven

Voor golven op zeer ondiep water (waterdiepte kleiner dan 1/25 keer de golflengte) geldt voor de golflengte:

$$L_w = T(9,81h)^{0,5} \quad (24)$$

en voor de voortplantingssnelheid

$$C_w = (9,81h)^{0,5} \quad (25)$$

Golfvervorming

Wanneer golven een oever bereiken, vervormen deze en wordt de golfenergie omgezet in warmte. De hierbij optredende verschijnselen zijn golfbreking, golfoploop, golfneerloop en golfreflectie.

Een karakteristieke parameter hierbij is de brekerparameter ξ , gedefinieerd als:

$$\xi = \tan \alpha (H/L_w)^{-0,5} \quad (26)$$

waarin α ($^\circ$) de taludhoek voorstelt van het talud waarop de golf breekt.

Tabel 3 Brekerparameter (ξ) als functie van $\cot \alpha$ en H/L .

$\cot \alpha = m$	$\tan \alpha$	H/L				
		0,02	0,04	0,06	0,08	
2	0,50	3,54	2,50	2,04	1,77	
3	0,33	2,35	1,67	1,36	1,18	
4	0,25	1,77	1,25	1,02	0,88	
5	0,20	1,41	1,00	0,82	0,71	
6	0,17	1,17	0,83	0,68	0,59	

- In de tabel staat m voor de taludhelling (1:m).

In tabel 3 staan enkele waarden voor ξ vermeld. Aan de hand van ξ zijn verschillende typen brekers te onderscheiden. Voor de sterkte van oevers zijn golven met ξ gelegen tussen 2,5 en 4,0 het gevaarlijkst omdat dan sprake is van vrij plotselinge en heftige breking waarbij de golfenergie over een korte afstand wordt omgezet. Vaak worden daarbij Engelstalige termen als "plunging" en "collapsing" brekers gebruikt.

Golfbreking op diepte treedt overigens op bij een verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte van:

$$H = (0,5 \text{ à } 0,6)h \quad (27)$$

Een berm of een dam gelegen beneden de ongestoorde waterspiegel reduceert door breking de golfhoogte van inkomende hoge en lange golven sterker dan die van lage en korte golven.

Tenslotte wordt opgemerkt dat windgolven en secundaire scheepsgolven veranderingen ondergaan door de vorm en het diepteverloop van de oever. Bij het ontwerp zal daarom rekening moeten worden gehouden met verschijnselen als golfvorming (shoaling), refractie, diffractie, reflectie en breking. Enige vuistregels hiervoor worden gepresenteerd in (CUR, 1992). Deze verschijnselen zijn onder andere relevant bij oeverprojecten met flauwe taluds, vooroeververdedigingen met openingen, verticale verdedigingen, bij kribvak-oevers etc.

2.5 IJSGANG

Ijsbelasting op oevers is een fenomeen waaraan in het algemeen niet zoveel aandacht wordt besteed, omdat in de Nederlandse situatie de daardoor ontstane schade doorgaans betrekkelijk gering is. Toch is het goed stil te staan bij de verschillende facetten die hierbij een rol kunnen spelen. Om te beginnen speelt het type water een rol. Het maakt verschil of het een poldersloot, een scheepvaartkanaal, een rivier of een meer betreft. De mogelijke effecten van de ijsbelasting op oevers zullen daarom in hoofdstuk 3 per watertype nader worden aangegeven.

De ijsbelasting op oevers bestaat uit kruierend ijs en voornamelijk horizontale trek- en drukbelastingen als gevolg van scheepvaart (ijsbrekend), stromend water, waterstandsvariaties en uit de oever tredend grondwater. De mate waarin deze ijsbelasting optreedt is afhankelijk van de weerssituatie vlak voor en tijdens de vorst- en dooi inval. Met name de daarbij behorende windsnelheden en wisselingen in waterstand zijn van grote invloed. Het berekenen van ijsbelastingen is in het kader van oevers op zich niet relevant, maar het kennen van de effecten van ijsgang op oevers of oeverconstructies is voor het ontwerp en onderhoud wel van belang.

Hoofdstuk 3: Constructieve aspecten

3.1 INLEIDING

In de publicatie "Aanpak en toepassingen" (CUR-200, 1999) uit de serie van dit handboek zijn voor de beschouwde typen wateren oplossingsrichtingen aangedragen om te komen tot natuurvriendelijke oevers. In dit hoofdstuk wordt de daar gegeven informatie verder uitgewerkt, zodanig dat (onderdelen van) een groot aantal varianten kan worden gedimensioneerd. Dat wil zeggen dat met behulp van de hier gepresenteerde reken- en vuistregels de afmetingen kunnen worden bepaald van complete oeverconstructies of onderdelen daarvan.

Dit hoofdstuk is zo opgebouwd dat wordt begonnen met constructies of constructie-elementen die algemeen, binnen diverse typen, toepasbaar zijn. Voorts zijn daarin stabiliteitsformules opgenomen voor de civieltechnische onderdelen van natuurvriendelijke oevers. Deze zijn geldig voor alle typen wateren. In het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 4) volgen beschrijvingen van en rekenregels voor varianten van natuurvriendelijke oevers die aan een bepaald watertype zijn gebonden.

Achtereenvolgens worden in dit hoofdstuk behandeld: onbegroeide natuurlijke oevers (3.2), begroeide oevers (3.3), tijdelijke golfwerende constructies (3.4), doorgroeiconstructies (3.5), geotextielen (3.6), de zwaarte van het civieltechnische onderdeel van de taludverdediging (3.7), golfoploop op taludverdediging (3.8) en de zwaarte van het civieltechnische onderdeel van de verticale verdediging (3.9).

3.2 ONBEGROEIDE NATUURLIJKE OEVERS

Het is niet altijd nodig om een oever of elk onderdeel van de oever te verdedigen. Wanneer voldoende ruimte beschikbaar is en/of de hydraulische belastingen op de oever laag zijn, kan een verdediging wellicht achterwege blijven. De oevers die in deze paragraaf worden besproken, zijn onverdedigde kale oevers waarbij de ter plaatse aanwezige grondsoort direct wordt belast door stroming en/of golven. Er is hierbij dus geen sprake van een constructieve of een natuurlijke verdediging (begroeiing).

Hier worden rekenregels gegeven om de mate te berekenen waarin een onverdedigde oever of een deel daarvan kan eroderen, onder de beschouwde belastingomstandigheden. De volgende situaties worden bekeken:

- > Een volledig onbeschermd oever, alleen belast door stroming als gevolg van afvoer van water.
- > Een gedeeltelijk beschermd kanaaloever, met het onbeschermd onderwatertalud belast door retourstroming door scheepvaart.
- > Een volledig onbeschermd oever, belast door scheeps- of windgolven.

3.2.1 PROFIEL BIJ STROOMBELASTING (ZONDER SCHEEPVAART)

Wanneer uitsluitend sprake is van een stroombelasting als gevolg van een debiet, dan is een verdediging veelal niet nodig en zal de oever in een evenwichtssituatie bij benadering een (co)sinusvormig profiel aannemen (Commissie Vaarwegbeheerders, 1989), zie afbeelding 15. Om dit profiel te kunnen berekenen

moet het benodigde doorstroom-oppervlak (A_c) bekend zijn. Dit kan berekend worden via de maximale afvoer Q en de toelaatbare stroomsnelheid u_{toel} . Indicatieve waarden voor u_{toel} zijn hier opgesomd:

Grondsoort	u_{toel} (m/s)
Zand	0,30
Veen	0,50
Zandige klei	0,40
Slappe klei	0,60
Redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belastingen)
Vaste klei	1,20 (1,5 bij kortdurende belastingen)

Het doorstroom-oppervlak A_c volgt nu uit:

$$A_c = Q / u_{toel} \tag{28}$$

Het profiel kan vervolgens worden berekend met de formules:

$$b_{hor} = \frac{1}{h} \left(A_c - \frac{2h^2}{\sin \phi_n} \right) \tag{29}$$

$$x_m = \frac{\pi h}{2 \sin \phi_n} \tag{30}$$

waarin:

- A_c natte oppervlak van de waterloop (m²)
- h waterdiepte (m)
- ϕ_n hoek van natuurlijk talud (grondsoort-afhankelijk) (°)
- b_{hor} parameter bij evenwichtsprofiel belast door stroming (m)
- x_m parameter bij evenwichtsprofiel belast door stroming (m)

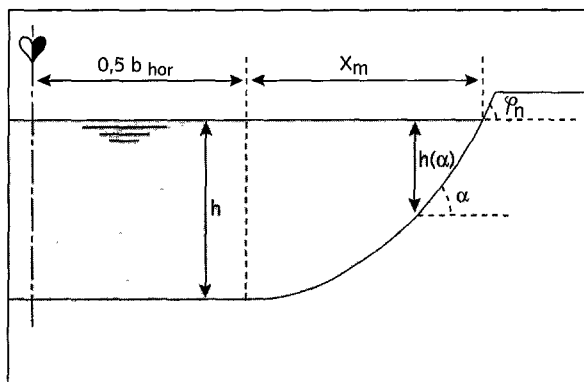
De breedte op de waterlijn is dan gelijk aan $b_{hor} + 2 x_m$.

De helling van het onverdedigde talud kan worden berekend met:

$$\tan \alpha = \left(\frac{h^2 - h(\alpha)^2}{h^2} \right)^{0,5} \tan \phi_n \tag{31}$$

waarin:

- $h(\alpha)$ lokale waterdiepte (m)
- h waterdiepte (m)
- α taludhoek (°)
- ϕ_n hoek van natuurlijk talud (°)

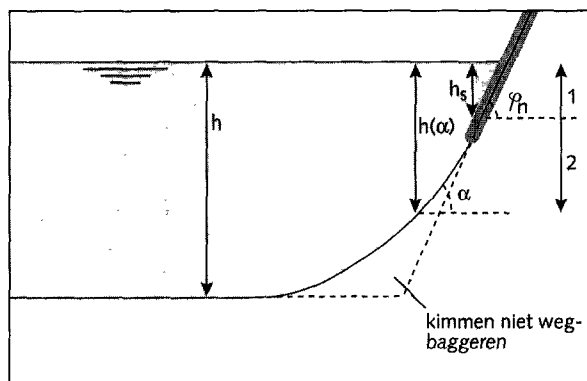


Afbeelding 15

Evenwichtsprofiel bij stroombelasting.

3.2.2 PROFIEL BIJ STROOMBELASTING (MET SCHEEPVAART)

In het geval van scheepvaart bestaan richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaarwegen, opgesteld door de Commissie Vaarweg Beheerders (1996). Vanwege de door scheepvaart opgewekte golven, is het bovenste deel van de oever vaak verdedigd. Het gedeelte daaronder kan onverdedigd zijn, afhankelijk van de toelaatbare retourstroomsnelheden. Wanneer het verdedigde talud voldoende flauw (zie formule 31) is en aansluit op het onverdedigde evenwichtsprofiel, ontstaat een stabiele situatie. De waterdiepte tot waar de verdediging door moet lopen (h_s) is iets groter dan twee keer de maximale scheepsgolfhoogte. (Dat kan de haalgolf zijn of de secundaire scheepsgolf, zie § 2.2.1.). Hiermee is punt A in afbeelding 16 gefixeerd en daarmee het profiel van de oever. Bij een op deze manier uitgevoerde oever mogen de kimmern niet worden weggebaggerd.



Afbeelding 16

Evenwichtsprofiel bij retourstroombelasting.

- 1 bovenste gedeelte oever (verdedigd, golfbelasting)
- 2 onderste gedeelte oever (onverdedigd, retourstroombelasting)

Een noodzakelijke voorwaarde in deze situatie is dat de retourstroomsnelheid u_r , opgewekt door de scheepvaart, kleiner is dan de toelaatbare snelheid in de waterloop, u_{toel} . Dit zal dus gecontroleerd moeten worden door middel van metingen of berekeningen met de rekenregels zoals vermeld in § 2.2.1 of met het programma DIPRO (§ 2.2.3). Als de retourstroomsnelheid hoger uitvalt dan de toelaatbare, zal door erosie ondermijning van de taludverdediging optreden.

Een te steil opgezet verdedigd talud geeft eveneens stabiliteitsproblemen (zie paragraaf 3.7).

3.2.3 PROFIEL BIJ GOLFBELASTINGEN

Voor het geval uitsluitend windgolven op de oever aangrijpen kan op grond van erosieprofielen, zoals waargenomen bij strandprofielen en grind- en breuksteentaluds (Waterloopkundig Laboratorium, 1988) (afbeelding 17), de vorm van de onverdedigde oever worden bepaald met de volgende formules.

Deze formules gelden uitsluitend voor los-korrelige, dus niet-cohesieve, grondsoorten.

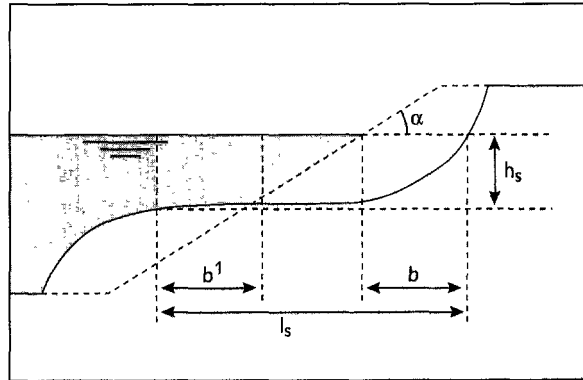
$$h_s = 0,22 N^{0,07} H_s \cdot \left(\frac{H_s}{L_z}\right)^{-0,3} \quad \text{voor } H_o T_o > 300 \cot \alpha \text{ en } \cot \alpha \leq 5 \quad (32)$$

$$l_s = (h_s / \rho)^{1,28} \quad (33)$$

(Voor $H_o T_o < 300 \cot \alpha$, zie (Van der Meer, 1988))

waarin:

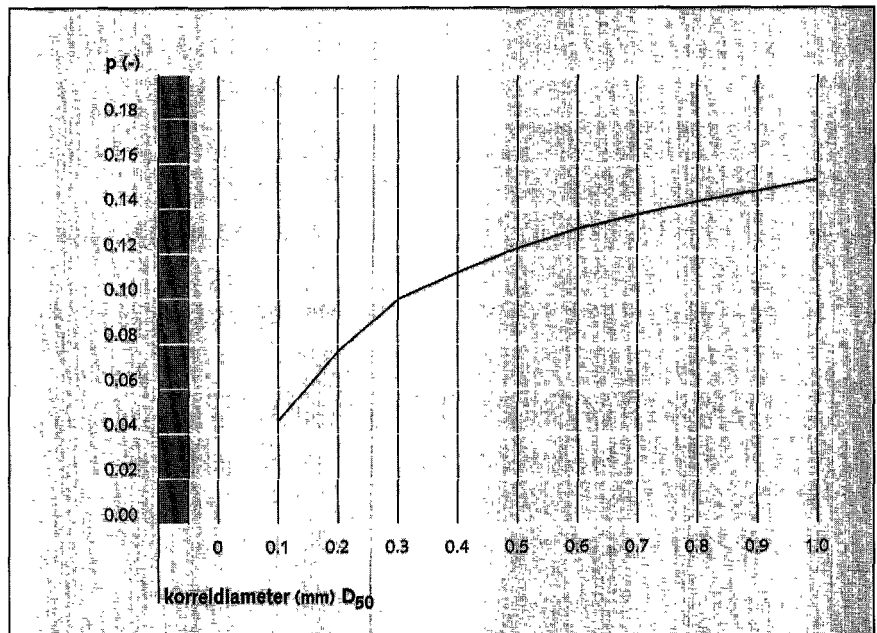
N	= aantal windgolven, met een minimum van 500	(-)
H_o	= dimensieloze golfhoogte	(-)
	$H_o = H_s / \Delta \cdot D_n$	
H_s	= significante golfhoogte	(m)
	(= gemiddelde van hoogste derde deel van de golven)	
T_o	= dimensieloze golfperiode	(-)
	$T_o = (g/D_n)^{0,5} \cdot T_z$	
T_z	= golfperiode op diep water	(s)
L_z	= golflengte op diep water	(m)
	$L_z = gT_z^2 / 2\pi$	
D_n	= nominale materiaaldiameter	(m)
α	= taludhoek ter plaatse van de waterlijn	(°)
Δ	= relatieve dichtheid	(-)
	$\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$	
ρ	= dichtheid water	(kg·m ⁻³)
ρ_s	= dichtheid materiaal	(kg·m ⁻³)
h_s	= parameter bij evenwichtsprofiel belast door golven	(-)
l_s	= parameter bij evenwichtsprofiel belast door golven	(-)
p	= profielparameter (zie figuur 18)	(-)
g	= versnelling zwaartekracht	(m·s ⁻²)



Afbeelding 17

Evenwichtsprofiel bij golfbelasting.

Voor zand met korreldiameters (D_{50}) in de range van 100 μm tot 1000 μm heeft de parameter p waarden van 0,05 tot 0,15 (afbeelding 18). De waarde van p hangt samen met de valsnelheid van het materiaal. Dit impliceert, dat dit model alleen geschikt is voor niet-cohesief materiaal. Het mag ook worden gebruikt bij belasting door scheepsgolven, waarbij gerekend wordt met bijvoorbeeld $H_s = 0,25$ m en $T_z = 2,5$ s (zie hoofdstuk 2 van dit boek). Voor N kan dan het aantal scheepspassages worden aangehouden.



Afbeelding 18

De waarden van profielmeter p als functie van de korreldiameter van zand.

Via de veronderstelling dat b en b^1 (zie afbeelding 18) gelijk zijn en uitgaande van de taludhelling bij aanvang, gekenmerkt door α , kan voor b (de achteruitgang van de oever op de waterlijn) onderstaande vergelijking worden opgesteld:

$$b = 0,5 (l_s - h_s \cotan \alpha) \tag{34}$$

Voor cohesief materiaal met een kritieke schuifsterkte van meer dan circa 0,6 Pa kan met behulp van onderstaande tabel een schatting worden gemaakt voor de achteruitgang van de oever op de waterlijn (CUR-rapport 96-7, 1996). Ter vergelijking is in de tabel de waarde opgenomen voor zand (niet-cohesief). Voor de genoemde waarden is uitgegaan van op vaarwegen voorkomende aantallen scheepspassages per jaar (in beide vaarrichtingen samen tussen 5.000 en 25.000, inclusief recreatievaart). Bij een jaarintensiteit van meer dan circa 25.000 worden onverdedigde oevers niet meer geacht voor te komen.

Grondsoort	Oeverafslag m/jaar
vaste klei	0 – 0,05
redelijk vaste klei	0,1 – 0,5
slappe klei	1 – 3
zand	> 3 (zie hiervoor bij niet-cohesief materiaal)
veen	0 – 5

De hierboven genoemde waarden voor een bepaald type klei (vast, redelijk vast, slap) behoren respectievelijk bij een schrale klei met verhouding zand:lutum van 60%:40% en een vette klei met verhouding zand:lutum 20%:80% (CUR-rapport 96-7, 1996 pag. 28). Als er in de klei zandinsluitingen voorkomen kan het erosieproces een factor 2 tot 3 sneller verlopen als gevolg van het ontstaan van overdrukken in de zandinsluitingen en het afdrukken van kleibrokken.

Humus en wortelresten in klei en zand zijn daarentegen een bindende factor, waardoor de erosie met een factor 2 tot 3 af kan nemen.

Bij gelaagde grond met zand- en kleilagen treedt, na erosie van het zand in de zandlens, afschuiven van de bovenliggende kleilagen op. Voor de erosiesnelheid van de zandlagen kan de waarde van zand worden aangehouden.

De oeverafslag bij veen wordt in sterke mate bepaald door degradatie als gevolg van contact met zuurstofrijk water (oxidatie). De bijdrage van de belasting door scheepsgolven is gering. Bij zandig veen verloopt na degradatie van het veen de erosie als bij zand.

3.3 BEGROEIDE OEVERS

Planten en struiken die op de oever groeien, kunnen deze in belangrijke mate beschermen. Dit gebeurt via het wortelstelsel dat als het ware de grond wapent en via de bovengrondse delen, die de aanval door golven en stroming op de oever en de bodem reduceren.

Van riet en mattenbies, wilgen en gras is tamelijk veel bekend over hun beschermende eigenschappen. Deze worden hieronder behandeld.

3.3.1 RIET EN MATTENBIES

Toelaatbare belasting

Na aanplant door middel van wortelstokken kunnen riet en biezen globaal volgens het volgende schema belast worden. Het schema legt een verband tussen de ouderdom van de vegetatie en de toelaatbare golfbelasting.

Golven

- > In het eerste jaar na aanplant of vestiging is elke mate van golfaanval ongewenst. Om de oever en de planten te ontzien kan een tijdelijke bescherming worden toegepast (zie § 3.4).
- > In het tweede jaar kunnen golfhoogten tot 0,15 m toegestaan worden. Zowel riet als mattenbies kunnen deze golfhoogtes bij hoge intensiteiten (veel golven) weerstaan.
- > Na het tweede jaar kan riet in dagelijkse omstandigheden, dus bij hoge intensiteiten, een golfhoogte van 0,25 m weerstaan. Incidenteel (niet meer dan 5000 golven per jaar en niet in een aaneengesloten periode) mag de golfhoogte 0,40 m bedragen. Mattenbies mag, ook na het tweede jaar, niet blootgesteld worden aan golven hoger dan 0,15 m.

Stroming

Door de wapenende werking van de ondergrondse delen van een vegetatie (wortelstelsel) neemt de weerstand tegen erosie en afschuiving toe. Uit onderzoek is gebleken dat daarom voor zand en zandige klei de grondsoort-afhankelijke, toelaatbare snelheid (u_{toel}) uit § 3.2 mag worden verhoogd met een factor 2,5 (RIZA en Waterloopkundig Laboratorium, 1994).

Belastingreductie

De bovengrondse delen (stengels) van de vegetatie zullen daarnaast de belasting op de bodem, dat wil zeggen de uitgeoefende schuifspanning, reduceren. De winst tengevolge van vegetatie gaat dus dubbelop: belastingreductie en grotere sterkte. Wat betreft de golfdemping zijn recente onderzoeksresultaten voorhanden. Laboratoriumproeven (RIZA en/of Waterloopkundig Laboratorium, 1992, 1994, 1995) en prototype-onderzoek (Rijkswaterstaat, 1986) hebben geresulteerd in de navolgende relatie voor de golfdemping (afbeelding 19):

$$H_t/H_i = 1 - p\{1 - \exp(-cB_{eff})\} \quad (35)$$

waarin:

H_i	= inkomende golfhoogte	(m)
H_t	= golfhoogte achter de vegetatie	(m)
c	= $0,001(N_{s,l})^{0,8}$	(m^{-1})
$N_{s,l}$	= aantal levende stengels per m^2	($-/m^2$)
B_{eff}	= effectieve breedte van de vegetatie	(m)
p	= factor, die de seizoeninvloed aangeeft	(-)
	0,2 (riet) en 0 (mattenbies) in eerste kwartaal	
	0,8 (riet) en 0 (mattenbies) in tweede kwartaal	
	1,0 (riet en mattenbies) in derde kwartaal	
	0,6 (riet) in vierde kwartaal; 0,6 (mattenbies) alleen in oktober, anders 0	

De waarde van B_{eff} kan worden berekend met:

$$B_{eff} = B(\cos \beta)^{-1} \tag{36}$$

waarin:

B = breedte van de vegetatie (m)

β = hoek van golfinval ($^{\circ}$)

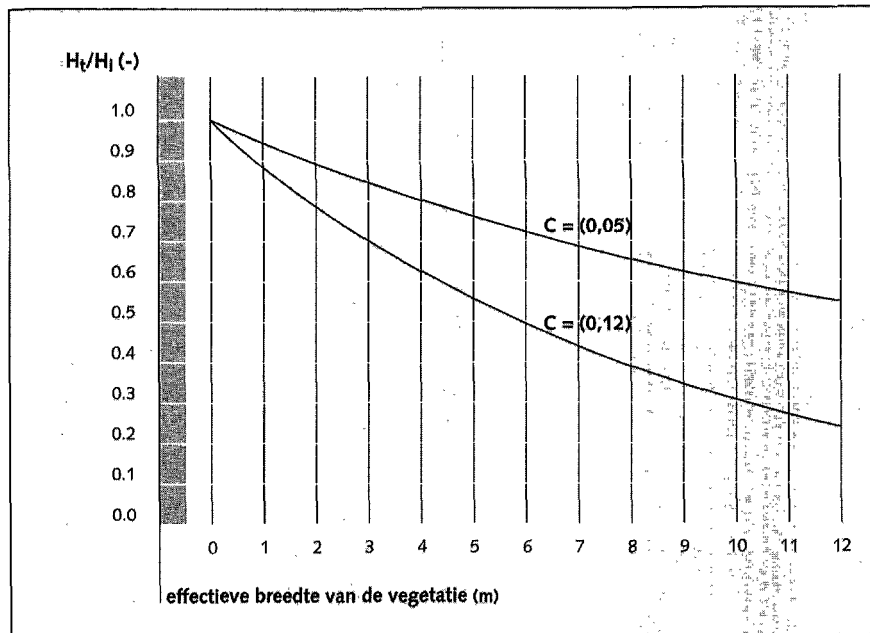
Voor loodrechte golfinval geldt $\beta = 0^{\circ}$ en voor secundaire scheepsgolven geldt $\beta = 55^{\circ}$.

Formule 35 is geldig voor waterdiepten tot 1 meter, planten die met hun stengels boven water uitsteken, een B_{eff} tot 10 m, een stengeldichtheid $N_{s,j}$ van maximaal 400 per m^2 , en invallende golfhoogtes tot 0,40 m.

De gepresenteerde formules zijn zichtbaar gemaakt in afbeelding 19 voor een rietkraag in het derde kwartaal en een tweetal waarden van c :

$c = 0,05$ bij ongeveer 125 levende stengels per m^2

$c = 0,12$ bij ongeveer 400 levende stengels per m^2



Afbeelding 19

Golfdemping in een rietkraag in de zomerperiode (juli tot en met september)

De stroomsnelheden zullen door de aanwezigheid van de rietstengels worden gereduceerd. De reductie van de stroomsnelheid wordt veroorzaakt door de hoge hydraulische ruwheid van de rietkraag. Deze kan worden berekend met:

$$C = (0,5 N_s D_s h / g)^{-0,5} \tag{37}$$

waarin:

C = Chezy-waarde	$(m^{0.5}/s)$
h = waterdiepte in de vegetatiezone	(m)
N_s = aantal stengels per m^2	$(-/m^2)$
D_s = stengeldiameter	(m)
g = versnelling zwaartekracht	(m/s^2)

Een benaderingsformule voor C is afgeleid uit meetresultaten van Starosolszky en Bouter en geldig voor waterdiepten van 0,10 tot 1,0 meter (Ruff, 1991):

$$C = 3,35 h^{-0,64} \quad (38)$$

In de praktijk blijkt de Chezy-waarde tussen 5 en $10 m^{0.5}/s$ te liggen. Dit zijn lage waarden in vergelijking met bijvoorbeeld de Chezy-waarde voor overstroomd gras, $40 m^{0.5}/s$.

De relatief hoge hydraulische weerstand van riet betekent een beperking van de waterafvoer. Bij het dimensioneren van een waterloop zal hiermee rekening gehouden moeten worden (zie § 4.1).

Bij langsstroming wordt voor de snelheid nabij de bodem aanbevolen dezelfde waarde aan te houden als die voor het gemiddelde over de diepte. Overwegingen hierbij zijn het in de praktijk geconstateerde blokvormige snelheidsprofiel en de onzekerheid in de Chezy-waarde. Uit de verhouding tussen de op bovenstaande wijze bepaalde waarde van C en de waarde van C zoals die zou gelden bij afwezigheid van vegetatie kan de gereduceerde waarde voor de stroomsnelheid nabij de bodem in de rietoever worden bepaald. Voor orbitaal-snelheden kan eenzelfde reductie worden aangehouden.

Een andere relatie die kan worden gebruikt om de gemiddelde stroomsnelheid in een vegetatie te bepalen, maar die meer gericht is op de afvoerbeschouwing voor een waterloop, is ontwikkeld door Pitlo en Griffioen (Pitlo, 1991). Hiervan is gebruik gemaakt in § 4.1.2 van dit boek bij de dimensionering van gedeeltelijk begroeide waterlopen.

Naast bovenstaande berekeningen dient voor zowel oevers met vegetatie als oevers zonder vegetatie, de grondmechanische stabiliteit te worden nagegaan. Bij cohesieve grond gaat het daarbij met name om afschuiven langs diepgelegen glijvlakken en afschuiven of afbreken van ondermijnde delen van de oever in geval van een horizontale gelaagdheid. Voor glijvlakberekeningen wordt verwezen naar de literatuur (Bolderman, 1968; Verruijt, 1983). Een mogelijke remedie tegen ondermijning is versteviging van de teen, bijvoorbeeld via een bestorting.

3.3.2 WILGEN

Toelaatbare belasting

Wilgen zijn gevoelig voor de duur van de periode dat de planten in het water staan. Is de periode te kort dan treedt verdroging op en sterven de planten. Is de periode te lang dan verdrinken de planten. Katwilg bijvoorbeeld, lijkt optimaal te gedijen wanneer de planten gedurende 200-230 dagen per jaar worden overstroomd (zonder geheel onder water te raken). Tijdens de overstrooming daalt het zuurstofgehalte in de bodem snel

doordat water de lucht verdringt uit de bodem en door het zuurstofverbruik van micro-organismen. Als de overstroming te lang duurt sterven de boomwortels af als gevolg van zuurstoftekort. Om zich aan te passen aan overstroming vormen de wilgen aan de stam net onder het wateroppervlak zogenaamde adventief-wortels. Als dikke bossen hangen deze wortels om de stammen en nemen zuurstof en voedingsstoffen op uit het rivierwater. Als de wilgen echter geheel onder water staan worden geen adventiefwortels gevormd. Wilgen kunnen circa acht weken volledige overstroming overleven door in rust te gaan, een groot aantal bladeren te laten vallen en na de overstroming pas weer verder te groeien.

Een voorzichtige aanname voor de toelaatbare golfbelasting is dat de planten gedurende het eerste jaar na aanplant golven tot 20 centimeter hoogte kunnen weerstaan. Na die periode zijn de wilgen sterk genoeg om de normale golfaanval in een kribvak te weerstaan (golven tot circa 40–50 centimeter).

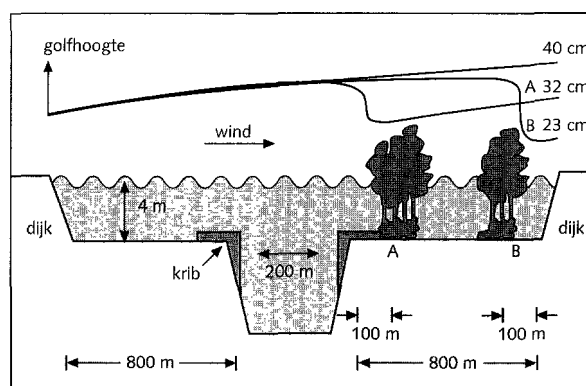
Ook bij een begroeiing met wilgen neemt door de ondergrondse delen (wortels) de weerstand tegen erosie en afschuiving toe. Evenals bij riet mag daarom voor zand en zandige klei de grondsoort-afhankelijke, toelaatbare snelheid (u_{toel}) uit § 3.2 worden verhoogd met een factor 2,5.

Belastingreductie

Een wilgenvegetatie zorgt net als riet voor een reductie van golfhoogten en stroomsnelheden.

Demping van golven is het gevolg van energieopname door het buigen van stammen onder invloed van de golven en het ontstaan van wervelingen achter de stammen. Factoren, die een rol spelen, zijn de waterdiepte, de stamdichtheid en stamdiameter. De golfdempende werking van wilgen wordt gelijk verondersteld aan die van riet. De eerder gepresenteerde formules mogen daartoe worden gebruikt, met voor p de waarde 1,0.

Dit wordt gerechtvaardigd geacht, omdat de hydraulische weerstand voor riet en bomen min of meer gelijk is (voor een wilgenvegetatie of meer algemeen voor ooibossen wordt voor Nederlandse omstandigheden een Chezy-waarde van 10 à 15 $m^{0.5}/s$ gevonden), ondanks de grote verschillen in aantallen stammen c.q. stengels per eenheid van oppervlakte en de stengel- c.q. stamdiameter. Er blijkt namelijk een verband tussen de stengel- cq. stamdiameter en het aantal stengels c.q. stammen per eenheid van oppervlakte (dichtheid) te bestaan. Dat betekent dat bij een toenemende diameter de dichtheid zodanig af neemt dat het belasting-reducerende effect gelijk wordt verondersteld.



Afbeelding 20

Golfdemping door ooibos: Een rekenvoorbeeld (Rijkswaterstaat/RIZA, 1997)

Voor de berekening van de stroomsnelheid is kennis noodzakelijk omtrent de hydraulische weerstand van de uiterwaarden. De formules uit § 4.2.5 van dit boek kunnen worden gebruikt voor het berekenen van de gereduceerde stroombelasting op de bodem. Voor kribvakken kan hierbij gebruik gemaakt worden van tweedimensionale rekenprogramma's voor stroming.

3.3.3 GRASMATTEN

Toelaatbare belasting

Een grasmat kan als dijkbekleding aanzienlijke golfbelastingen weerstaan. Golven van enige decimeters hoogte in het rivierengebied zullen geen schade aanrichten bij een gelijkmatige gesloten begroeiing en een hoge worteldichtheid. Afhankelijk van taludhelling en geaccepteerde schade kunnen zee- en meerdijken golven tot circa 1,5 m weerstaan.

Zee- en meerdijken kunnen veelal hogere golven weerstaan dan rivierdijken omdat de daar toegepaste taluds doorgaans flauwer zijn. In het rivierengebied zijn golven van enkele decimeters vaak tevens de maximaal optredende.

Het beheer is hierbij de sturende factor: onbemest hooien (twee keer maaien met afvoer) en licht bemeste weiden in combinatie met zorgvuldig onderhoud leiden (na een periode van circa vier jaar) tot een sterke zode. Voor golfhoogten > 0,75 m is het nog niet mogelijk een beheerswijze te formuleren die schade uitsluit en ontbreekt een afdoende methode voor het vaststellen van de aanwezigheid van de vereiste sterkte (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998). Afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat kan deze stroomsnelheden tot 1,5 à 2,5 m/s gedurende 100 uur achtereen weerstaan, hetgeen ruim voldoende is in relatie tot de toepassing van gras op taluds van oevers en dijken (CIRIA, 1987). Een grasmat ontwikkelt zich alleen goed boven water en is bestand tegen een kortstondige overstroming.

In de eerste tijd na aanleg van een grasvegetatie en bij relatief steile taluds (steiler dan 1:3) kan niettemin toch erosie optreden. Aanvullende maatregelen zijn dan noodzakelijk bijvoorbeeld in de vorm van een tijdelijke verdediging met behulp van een mat van natuurlijke vezel (bijvoorbeeld kokos) (CUR/NGO, 1996).

Belastingreductie

Een grasmat veroorzaakt nauwelijks een toename van de stromingsweerstand, daardoor zal de stromingsbelasting op de grasmat nauwelijks worden gereduceerd. Bij golven betekent de iets grotere ruwheid een reductie in de golfoploop ten opzichte van een glad talud (TAW, 1998).

3.4 TIJDELIJKE GOLFWERENDE CONSTRUCTIES

3.4.1 ALGEMEEN

Een oevervegetatie bestaande uit moerasplanten (riet, biezten, lisdodde, zegge, wilgen en elzen) kan voor een aanmerkelijke demping van invallende wind- of scheepsgolven zorgen en op die manier een gedeelte van een oever beschermen. De eerste twee jaar na aanplant of na vergraving van het talud zijn de oever en de oeverplanten echter kwetsbaar voor diezelfde golfbelastingen.

Een tijdelijke verdedigende constructie, die de periode van het vestigen en ontwikkelen van de planten overbrugt, beperkt de golfaanval en maakt de ontwikkeling mogelijk van de oeverplanten als volwaardig onderdeel van een verdediging.

Bij tijdelijke constructies kunnen we drie soorten onderscheiden (Oranjewoud, 1992):

- > Afzonderlijk aangebrachte constructies, die na gebruik in hun geheel opgenomen kunnen worden, om elders opnieuw te kunnen worden gebruikt. Voorbeelden hiervan zijn golfschotten, schanskorven of drijvende constructies.
- > Constructies die bestaan uit materialen die relatief snel verweren. Een dam van klei of klei op zand, bundels van rijshout, palen en schotten van onverduurzaamd (zacht)hout en zandcementsteen met circa 5% cement zijn hier voorbeelden van.
- > Elementen die deel uitmaken van de gehele constructie en die na verloop van tijd verwijderd worden. Hierbij kunnen we denken aan de bovenkant van damwanden of palenrijen, die verwijderd kan worden (zagen, snijbranden), of de bovenste stenen van een breuksteenverdediging, die met een grijper weggehaald kunnen worden.

De tijdelijke beschermingsconstructies die we hieronder behandelen, worden bestand geacht tegen belastingen door sloop- en windgolven van binnenwateren met een hoogte van maximaal 0,65 m en een periode in de orde van 1,5 tot 2,5 s. De tijdelijke constructies zijn een toevoeging aan een permanent aanwezige verdediging en functioneren in de zone waar windgolven en secundaire sloopgolven optreden, dat wil zeggen rond de stilwaterlijn.

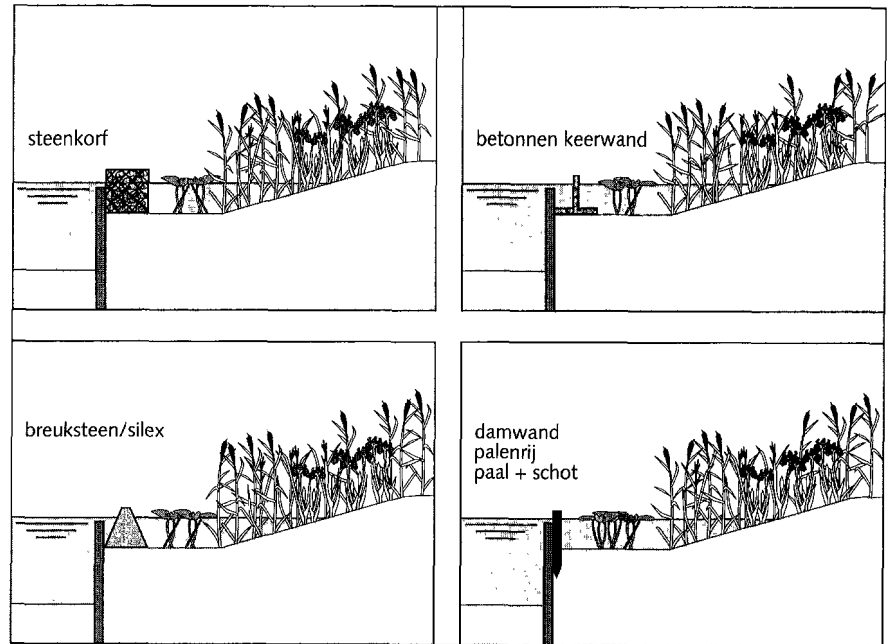
Voor de hoogte van deze constructies boven gemiddeld water kan in eerste instantie de halve maatgevende inkomende golfhoogte worden aangehouden, die optreedt bij het hoogste, frequent voorkomende waterpeil. De golftransmissieformules in § 4.3.2 van dit boek maken een zorgvuldiger hoogtebepaling mogelijk. Van de uiteindelijk overblijvende permanente verdediging nemen we aan dat deze er voor zorgt dat op de volgroeiende oevervegetatie geen hogere golven aangrijpen dan circa 0,25 m.

3.4.2 VERTICALE VERDEDIGINGEN

Bij verticale tijdelijke constructies is de passeerbaarheid van de constructie voor dieren een punt van aandacht. Als er in de periode waarin de tijdelijke constructie aanwezig is geen mogelijkheden zijn voor dieren om op de oever te klimmen kunnen veel dieren verdrinken (zie ook fauna uitstapplaatsen, CUR-203, 1999).

Damwanden

Voor damwanden is in afbeelding 21 aangegeven welke vormen van golfwerende constructies mogelijk zijn.



Afbeelding 21

Tijdelijke golfwerende constructies bij een damwand.

Schanskorven

De tijdelijke constructie kan bestaan uit schanskorven met een rechthoekige of ronde dwarsdoorsnede. Het materiaal van de korf bestaat uit verzinkt of geplastificeerd gaas, of uit een HDPE-grid met tussenschotten voor de stevigheid. Het vullen gebeurt op of nabij de werkplek, voor het opnemen wordt een evenaar of een klem gebruikt. Het verwijderen vindt plaats vanaf het water. Bij het opnemen van de korf kunnen beschadigingen ontstaan. Met name het HDPE-grid is daarvoor gevoelig gebleken. De (eventueel gerepareerde) schanskorf is elders weer bruikbaar. De schanskorf wordt als regel gevuld met breuksteen. Om het gevaar van uitspoeling van kleinere stenen te reduceren wordt veelal een smalle sortering toegepast. Een smalle sortering is een sortering waarin minder spreiding van steendiameter voorkomt dan in een standaardsortering. Een veel voorkomende sortering voor de schanskorfvulling is 90/130 mm. Ook zijn alternatieve vullingen van bijvoorbeeld schoon puin toegepast. Bij zwaardere belastingen is dat minder gewenst in verband met breken van het puin, waarna uitspoeling kan plaatsvinden.

Betonnen keerwanden

De geprefabriceerde L-, T- of U-elementen worden met een tussenruimte van enkele centimeters (i.v.m. waterverversing) op de plasberm geplaatst. De stabiliteit van de elementen wordt voornamelijk ontleend aan het eigen gewicht. De ondergrond dient redelijk vlak te zijn. Het opnemen gebeurt vanaf het water. Ook deze elementen zijn opnieuw bruikbaar.

Strekdam

Evenwijdig aan de oever wordt breuksteen, silex of betonpuin los op de plasberm gestort onder een talud van 1:1 of 1:1,5. Door de dam regelmatig te onderbreken, kan waterverversing plaatsvinden. In verband met de

tijdelijkheid van de constructie is het gebruik van een geotextiel niet noodzakelijk. De materialen kunnen, voor zover ze niet tussen het riet onbereikbaar zijn geworden of in de plasberm zijn weggezakt, worden hergebruikt.

Paal- of schotconstructies

Paal- of schotconstructies kunnen aan de landzijde tegen de damwand worden geplaatst. Bijzonderheden over deze varianten worden hierna besproken bij 'Beschoeiingen'.

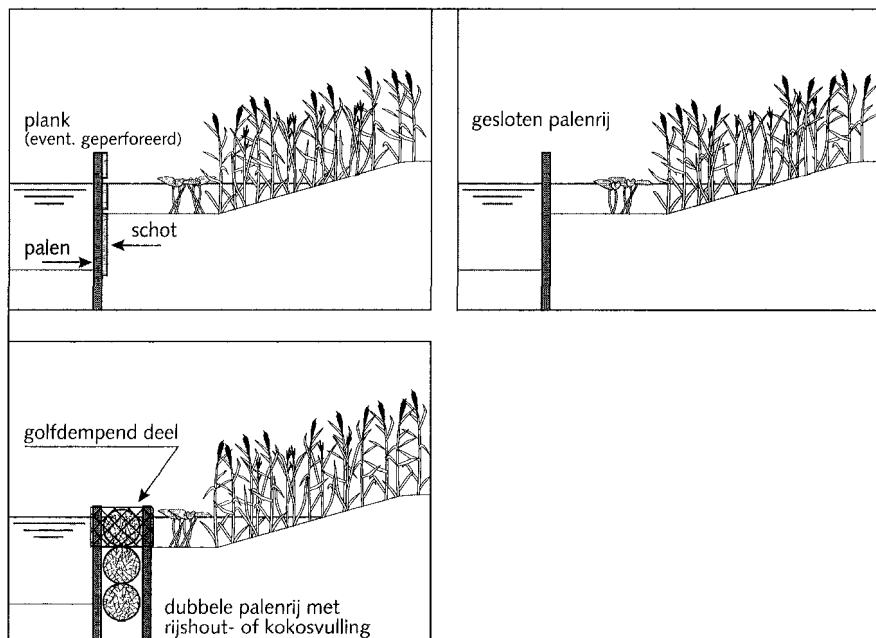
Bij damwanden kan ook worden overwogen om te werken met een overhoogte, die na twee tot drie jaar wordt verwijderd door het dieper trillen van de planken of het weghalen van de bovenkant.

Bij toepassing van de tijdelijke voorzieningen dient rekening te worden gehouden met het gewicht van de elementen en de eventuele verankering van de damwand.

Beschoeiingen

Bij beschoeiingen kan, vanwege de dimensionering en het extra gewicht, geen aparte golfdempende constructie worden aangelegd. De tijdelijke bescherming zal een deel moeten zijn van de oeverbescherming. Het bovenste gedeelte dient na verloop van tijd verwijderd te worden of indien het geen gevaar voor de scheepvaart en recreatie oplevert mag dit deel ook vergaan.

Een speciaal punt van aandacht is de erosie van de bodem voor deze verticale constructies ten gevolge van de gereflecteerde golven. Bij geringe diepten voor de constructie zijn maatregelen noodzakelijk om de bodem vast te houden, anders treedt onherroepelijk instabiliteit van de beschoeiing op.



Afbeelding 22

Golfwerende beschoeiingen.

Palen met een schot/horizontale beplanking

De ronde of gekantrechte palen worden verticaal op een onderlinge afstand van 0,5-1 m aangebracht. De beplanking/het schot zit aan de achterkant van de constructie, het golfbepalende deel kan aan de waterkant worden gemonteerd in verband met de belasting en de vereenvoudiging van de verwijdering. De constructie is onverankerd. De bovenste planken kunnen tot aan de waterspiegel worden verwijderd, de paalkoppen worden verwijderd of gehandhaafd ter voorkoming van invaren.

Gesloten palenrij

De ronde of vierkante palen worden verticaal naast elkaar aangebracht en voorzien van een gording ter hoogte van de plasberm. Het golfdempende deel kan vanaf de waterkant worden verwijderd, de palen worden (zonder gording) dieper in de grond geheid of getrild.

Dubbele palenrij met vulling

De palen worden in twee rijen aangebracht waarbij de afstand tussen de palen 0,5-1 m bedraagt en de ruimte tussen de rijen 0,20-0,40 m. De ruimte wordt gevuld met wiepen van rijshout of kokosrollen en verankerd met kruislings, van paal tot paal gespannen staaldraad. Het rijshout en de kokosrollen worden bijeengehouden door een kokosnet. Een kokosrol kan worden verankerd met een perkoenpaal. Rietstekken kunnen een kokosrol van 0,30 m in één seizoen doorwortelen.

Rijshout en kokosrollen verrotten binnen vijf jaar, maar rijshout kan binnen een jaar al verdwijnen vanwege golfaanvallen. Wat resteert van de constructie na twee à drie jaar, zijn de paalkoppen. De paalkoppen worden bij voorkeur dieper getrild, waardoor de staaldraden kunnen blijven zitten en opdrijven voorkomen van de wiepen.

Algemeen

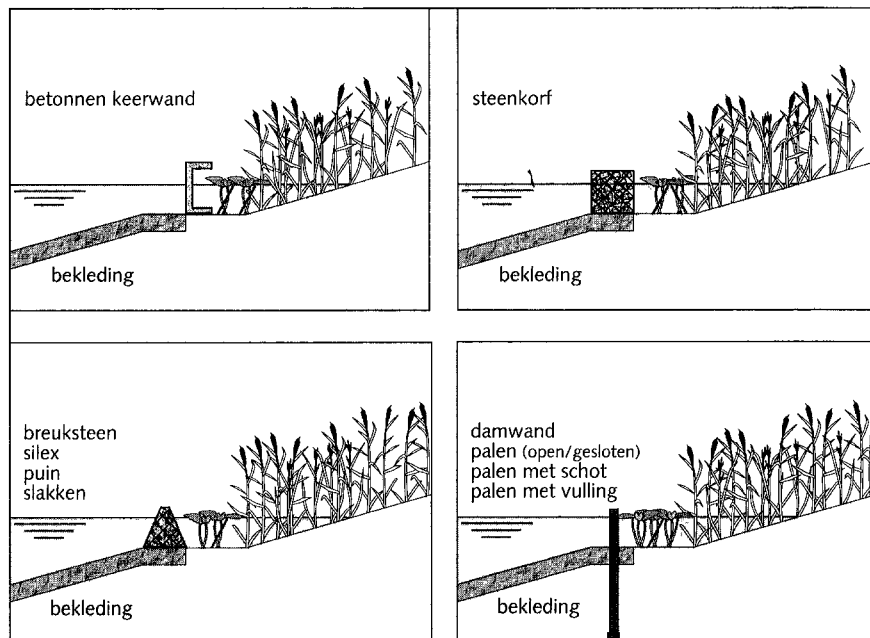
Worden de palen in een constructie gehandhaafd dan wordt voorkomen dat boten de oeverzone invaren. Bij dieper trillen van palen moet er op worden gelet dat de paalrijen op de een of andere manier zichtbaar blijven voor de scheepvaart.

3.4.3 TALUDVORMIGE VERDEDIGINGEN EN ONVERDEDIGDE OEVERS

De tijdelijke constructie wordt in deze situaties op het vrijwel horizontale deel van de oever geplaatst, aan de waterzijde van de plasberm. Dezelfde varianten als bij een damwand of een beschoeiing zijn dan mogelijk. Het wordt aangeraden om de tijdelijke voorziening als afzonderlijk onderdeel aan te brengen, niet geïntegreerd met de permanente verdediging. Dit in verband met het verwijderen.

Bij los gestorte materialen kan de tijdelijke golfdempende constructie ook uit een extra hoeveelheid verdedigingsmateriaal op de kop van de oeververdediging bestaan. Als de oeververdediging bestaat uit schanskorfmattressen kunnen schanskorven boven op, of net achter het matras worden geplaatst. Het verwijderen van al deze materialen is al eerder beschreven. Hieronder is in afbeelding 23 een aantal suggesties getekend.

Ook hier geldt dat kenbaar moet worden gemaakt aan de scheepvaart dat zich onder water verdedigingsmaterialen bevinden.



Afbeelding 23

Tijdelijke voorzieningen bij taludverdediging.

3.4.4 VERDEDIGING VÓÓR DE OEVER

Bij taludverdedigingen of onverdedigde oevers kan het golfwerende deel zowel op de plasberm, als op enige afstand van de oever worden geplaatst, mits daarvoor voldoende ruimte is. Als de waterdiepte groot genoeg is, kan de golfwerking geen ontgroning of erosie veroorzaken.

De dimensies van de golfbepurende constructies zullen vanwege het diepere water groter zijn dan die welke eerder zijn besproken.

Er dient extra aandacht te worden besteed aan de zichtbaarheid van de constructies vanwege het gevaar dat de constructies kunnen opleveren voor de scheepvaart. Bij het aanbrengen en verwijderen van de constructies kunnen de ankerdraden van het materieel hinder opleveren voor de scheepvaart.

Bij alle tijdelijke vooroeververdedigingen zijn de consequenties van het verwijderen voor de rest van de constructie nihil.

Mogelijke varianten zijn:

Betonnen keerwand

Voordat de keerwanden kunnen worden geplaatst, moet de bodem worden geëgaliseerd.

Palen met schot

Het schot wordt bevestigd aan de waterkant. Het geheel wordt niet verankerd. Vanwege de dynamische golfbelastingen kan het schot met slotbouten worden samengesteld. Boven water wordt het schot aan elke paal vastgebout. Onder water wordt het schot voorzien van stalen beugels. De volgorde van het plaatsen van de palen en het schot is afhankelijk van de mogelijkheid nauwkeurig te heien. De stalen beugels kunnen

dienen als geleider. Vanwege de mogelijk optredende vervormingen is de volgorde van verwijderen: slotbouten verwijderen, palen trekken, schot opnemen.

Open of gesloten palenrij

De palen worden geplaatst met een hydraulisch trilblok of met een luchthamer. Het geheel wordt voorzien van een enkele gording of een klemgording. De palen kunnen vanaf een vaartuig worden losgetrokken of losgespoten.

Dubbele palenrij met vulling

De palen zijn dikker en langer. Het geheel dient te worden verwijderd daar de materialen onder water niet verrotten.

Schanskorven

Met een hydraulische kraan worden de korven gestapeld. De bodem dient te worden geëgaliseerd om een stabiel geheel mogelijk te maken.

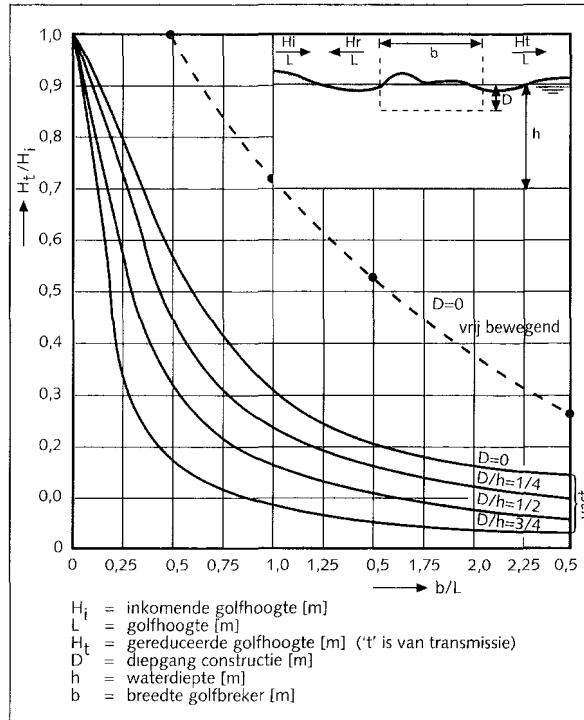
Losse, gestorte materialen

De stabiliteit wordt bepaald door de helling van het talud en de samenstelling van het materiaal. Er kan veel erosie en afslag plaatsvinden, waardoor veel materiaal verloren gaat. In de meeste gevallen zal echter nog een restant onder water aanwezig zijn, hetgeen gevaar op kan leveren voor de scheepvaart.

Alle restanten dienen te worden verwijderd met een poliepgrijper of een knijpbak.

3.4.5 DRIJVENDE GOLFDEMPING

Drijvende golfdempende constructies zijn duur en daarom is toepassing alleen zinvol en rendabel wanneer ze meerdere malen gebruikt kunnen worden. Bovendien zijn deze constructies onderhoudsgevoelig. Effectieve drijvende golfdemping neemt veel ruimte in beslag. Om die reden zijn ze alleen inzetbaar bij meeroevers of oevers van ruim bemeten vaarwegen. De constructies steken weinig boven de waterspiegel uit, waardoor extra maatregelen nodig zijn om ze goed zichtbaar te maken voor de scheepvaart. Deze maatregelen kunnen bestaan uit het plaatsen van meerpalen die 1–2 m boven de waterspiegel uit steken en/of door gebruik te maken van staken of vlaggen. In de praktijk wordt deze oplossing slechts zelden toegepast. Een zinvolle, al of niet tijdelijke, toepassing vinden we bij dwarssloten en grotere openingen in vooroeververdedigingen. Omdat het hier om betrekkelijk kleine afstanden gaat, kan een drijvende constructie de golfdoordringing beperken. De mate van golfdemping wordt grofweg bepaald door de verhouding van de grootte en diepte van de constructie tot de golflengte. Relatief grote, diepe en zware constructies dempen het meest. Een drijvende boomstam of een geballaste oude persleiding kan de hoogte van met name de kortere golven behoorlijk reduceren. Een bijkomend voordeel bij permanente toepassing kan zijn dat de openingen voor de kleine recreatievaart zijn. Ter illustratie is hieronder een grafiek weergegeven waarin de golfdempende werking van stijve drijvende constructies tot uiting komt. Een vrij bewegende constructie is zodanig verankerd dat zowel horizontale en verticale rotaties mogelijk zijn. Een vaste drijvende constructie kan wel waterpeilwisselingen volgen maar kan niet horizontaal bewegen of roteren.



Afbeelding 24

Golfdemping door een stijve drijvende constructie.

3.5 DOORGROEICONSTRUCTIES

Als constructies die doorgroeibaar zijn voor oeverplanten zoals riet, biezen, lisdodde, etc. komen in aanmerking:

- > klassieke kraagstukken afgestort met een beperkte hoeveelheid relatief zware breuksteen;
- > betonblokken met een relatief groot percentage open ruimte (orde 10 à 20%) en met de mogelijkheid van wortelcontact met de ondergrond (zonder of met een doorgroeibaar geotextiel);
- > schanskorfmatrassen;
- > drie-dimensionale structuurmatten;
- > gevezeld open steenasfalt.

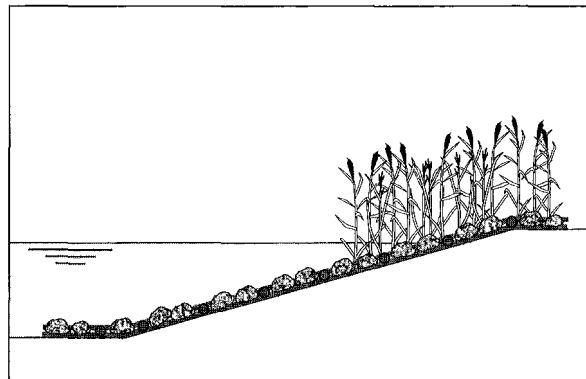
Er bestaan andere varianten die begroeid kunnen raken, echter niet doorgroeit. Dit betreft toepassingen van colloïdaal beton en matten met meerdere lagen geotextiel (zandworstmatrassen). Op deze bekledingen blijken in de praktijk zeer weinig tot geen oeverplanten te worden aangetroffen, waardoor de toepassing hiervan als doorgroeiconstructie ontraden wordt. Ze worden in deze paragraaf dan ook niet verder behandeld. In § 3.7 worden wel de stabiliteitsregels voor deze varianten gegeven.

3.5.1 BREUKSTEEN OP EEN DUN, KLASSIEK KRAAGSTUK

Deze constructie bestaat uit één laag relatief zware breuksteen die is aangebracht op een dun kraagstuk van wilgentenen (ca. drie lagen wiepen). Tussen die grote stenen is voldoende ruimte aanwezig voor doorgroei

van planten. Omdat in het verleden is gebleken dat de gronddichtheid van klassieke kraagstukken gering is, is het noodzakelijk aanvullende maatregelen te nemen. Toepassing van geotextielen onder het kraagstuk is sinds de jaren '60 effectief gebleken. Voor een doorgroeiconstructie is het essentieel dat het geotextiel naast grond dicht ook doorgroeibaar is. Er zijn kunststof geotextielen die hieraan voldoen, maar ook de toepassing van weefsels die alleen werkzaam zijn in de periode dat de begroeiing zich nog niet heeft ontwikkeld kan voldoende zijn. Deze tijdelijke weefsels zijn gemaakt van biologisch afbreekbare vezels zoals bijvoorbeeld jute, sisal, of kokos. Ten opzichte van de andere heeft de laatste een langere levensduur (zie ook § 3.6).

Bij onderzoek naar de gronddichtheid zijn met juteweefsels vergelijkbare of zelfs betere resultaten behaald dan met kunststof textielen (Lemmens, 1996). Wel zijn er grenzen aan de toelaatbare belastingen. Met name kokosmatten verliezen bij verhangen groter dan 15 % snel hun zanddichtheid. De filterfunctie van afbreekbare geotextielen dient aan het eind van hun levensduur wel te zijn overgenomen door de begroeiing. Over de levensduur van de weefsels van natuurlijke materialen is nog niet zo veel bekend. Wel is de levensduur van kokos ten opzichte van jute en sisal beduidend groter (2 à 3 jaar) (CUR/NGO, 1996).



Afbeelding 25

Dun, klassiek kraagstuk met grove bestorting.

Om de doorgroeiing na aanleg te bevorderen kunnen onder het kraagstuk wortels van oeverplanten worden aangebracht. Deze planten zullen op den duur, via hun wortelsysteem, uitspoeling van gronddeeltjes voorkomen. Om in de eerste fase na aanleg (gedurende één tot twee jaar) uitspoeling te voorkomen, is het raadzaam een tijdelijk, doorgroeibaar geotextiel onder aan het kraagstuk te bevestigen (bijvoorbeeld van een natuurlijke vezel). Rietmatten of matten van ander vergankelijk materiaal, zoals die van oudsher in kraagstukken werden gebruikt, zijn in dit opzicht ook bruikbaar.

Wanneer opslag van wilgen is gewenst, kan gewerkt worden met verse wilgentenen in het kraagstuk. Het aanbrengen van wortelzoden onder de constructie is in dat geval overbodig. In alle andere gevallen dient het rijshout in het kraagstuk dood (overjarig) te zijn.

Toepassing

De constructie leent zich voor omstandigheden met zowel golf- als stroombelastingen. Aanbrengen van deze constructie op een talud steiler dan 1:3 wordt afgeraden, omdat door de toepassing van een enkele laag breuksteen het onderlinge verband tussen de individuele stenen te klein is.

Stabiliteit onder stroomaanval

Onder deze belastingomstandigheid zorgt de breuksteen voor de stabiliteit. Formule (46) geeft de benodigde afmetingen van de stenen. Voor ϕ moet 1,25 worden ingevuld.

Stabiliteit onder golfaanval

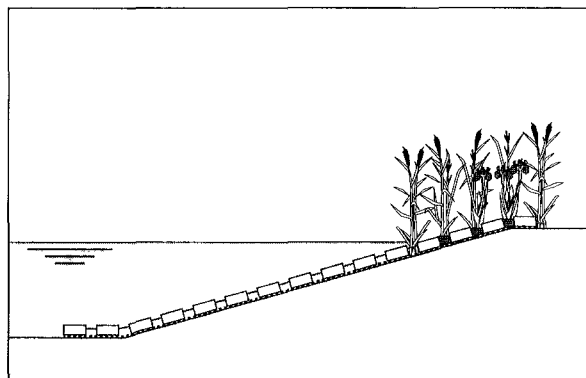
De grove breuksteen zorgt voor de stabiliteit. De breuksteenafmetingen kunnen worden afgeleid via formule (48). Wanneer de uitkomst van de stabiliteitsberekening reden geeft tot twijfel tussen twee sorteringen, is het verstandig de grootste te kiezen. Omdat maar één laag stenen wordt aangebracht, moet de aanwezigheid van stenen gegarandeerd blijven.

Aandachtspunten

- > Bij taluds steiler dan 1:3 moet de constructie getoetst worden op afschuiven, bijvoorbeeld met behulp van de methode beschreven in hoofdstuk 11 van (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1985).
- > Bij het aanbrengen van de constructie op een grondaanvulling, moet deze goed verdicht zijn.
- > Omdat maar één laag stenen wordt aangebracht, moet gelet worden op toepassing van een smalle gradering (grootte van de individuele stenen is van dezelfde orde). Bij de keuze van een standaard sortering is dit altijd het geval (zie CUR-192, 1998, CUR-202, 1999)

3.5.2 BETONBLOKKENMATTEN

Deze open taludbekledingen bestaan uit met elkaar verbonden betonelementen met gaten tussen of in de elementen, die over de gehele blokdikte doorlopen. Door de gaten kunnen allerlei oeverplanten groeien. De gaten zorgen tevens voor reductie van opwaartse waterdrukken onder de constructie. Het verband tussen de elementen, vaak verstevigd via kabels die door de blokken lopen, zorgt voor stabiliteit bij zware hydraulische belastingen. De mate van doorgroeibaarheid wordt in sterke mate bepaald door het aantal gaten per m² en de grootte van de gaten.



Afbeelding 26

Blokkenmat.

Net zoals bij de kraagstukken met breuksteen kunnen de planten met hun wortels uitspoeling van gronddeeltjes voorkomen. In de eerste fase na aanleg kan hier gebruik gemaakt worden van tijdelijke geotextielen onder de mat. Er kan ook worden getracht zonder extra filterconstructies te werken door materiaal in de gaten aan te brengen, dat onder de heersende belastingomstandigheden niet volledig uit de gaten verdwijnt. Enkele dimensioneringsrichtlijnen voor deze gatvulling komen aan de orde bij de Aandachtspunten.

Toepassing

De blokkenmatten zijn geschikt bij zowel golf- als stroombelastingen. De variant zonder (tijdelijk) geotextiel is alleen geschikt bij lage hydraulische belastingen en een gatvulling van cohesief materiaal. Blokkenmatten kunnen worden geplaatst op taludhellingen van 1:2,5 of flauwer.

Stabiliteit onder stroomaanval

Formule (46) geeft de benodigde dikte van de mat bij stroombelastingen. Stroombelasting is bij talud-bekledingen in het algemeen niet maatgevend.

Stabiliteit onder golfaanval

De benodigde matdikte volgt uit formule (49).

Aandachtspunten

- > De aansluitingen tussen de blokkenmatten onderling en tussen blokkenmatten en overgangsconstructies zijn zwakke plekken. Het ontwerp hiervan verdient dus de nodige aandacht. Zie hiervoor (CUR, 1992).
- > Voorkoming van uitspoeling van gronddeeltjes onder de constructie is belangrijk. Dit kan gerealiseerd worden door te voorkomen dat de gatvulling niet volledig uitspoelt in het eerste groeistadium van de vegetatie. Onderzoek (Waterloopkundig Laboratorium, 1989a) heeft geresulteerd in de volgende ontwerprichtlijnen:

niet-cohesieve gatvulling:

$$Y/G = 0,7 Z_{\max}^{0,5} \log (N+1) \quad (39)$$

erosiegevoelige, cohesieve gatvulling:

$$Y/G = 0,25 p_l^{-0,2} Z_{\max}^{0,5} \log (N+1) \quad (40)$$

waarin:

Y = maximale erosiediepte (m)

G = gatbreedte of -lengte (de grootste van de twee) (m)

Z_{\max} = haalgolfhoogte opgewekt door scheepvaart (m)

N = aantal scheepspassages (-)

p_l = lutumgehalte (-)

Voorwaarden voor toepassing van bovenstaande formules zijn:

- > de grootte van het gat G is maximaal gelijk aan de helft van de blokdikte d;
- > matige haalgolfhoogte, dat wil zeggen $Z_{\max} < 0,35$ m in het geval van een niet-cohesieve of los aangebrachte cohesieve gatvulling;
- > redelijke haalgolfhoogte, dat wil zeggen $Z_{\max} < 0,60$ m in het geval van een aangestampte, cohesieve gatvulling.

Als criterium kan worden aangehouden dat de erosiediepte Y kleiner blijft dan de blokdikte d, gedurende het eerste jaar na aanleg: $Y < d$, voor $t = 1$ jaar.

Met behulp van (39) en (40) kan ook een indicatie worden gekregen voor de erosie ten gevolge van windgolven. Hiervoor moet voor N het aantal golven per jaar worden ingevuld. Aangeraden wordt om daarvoor 1.000.000 te nemen. In plaats van de haalgolf Z_{max} moet de maatgevende significante golfhoogte H_s worden gebruikt. Voor deze hoogte gelden dezelfde restricties als voor de haalgolf.

Deze toepassing van genoemde formules voor situaties met windgolven is toegestaan voor vulmateriaal met een D_{50} van maximaal 500 mm. Voor de berekening van erosie van grover materiaal uit open betonblokken onder invloed van windgolven wordt verwezen naar (Waterloopkundig Laboratorium, 1989b).

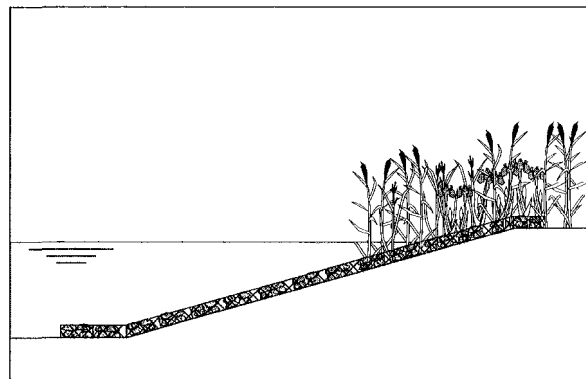
> De filterconstructie onder de blokkenmat.

In veel gevallen zal onder de bekledingsblokken een geotextiel vereist zijn. De keuze van het type geotextiel dient zorgvuldig te geschieden om te voorkomen dat het geotextiel belemmerend werkt op de ontwikkeling van de vegetatie. Toepassing van een afbreekbaar geotextiel is te overwegen, omdat de wortels van de planten de functie van het filter over kunnen nemen. Meer over de doorgroeibaarheid van geotextielen in § 3.6.

> Vooral bij steilere taluds (steiler dan 1:3) dient de ondergrond in verband met de grondmechanische stabiliteit (afschuiving) goed verdicht te zijn.

3.5.3 SCHANSKORFMATRASSEN

Dit constructietype bestaat in de waterbouw doorgaans uit een korf van metaal gevuld met een fijne sortering breuksteen (bijvoorbeeld 90/130 mm, geen standaardsortering), grof grind of betonpuin (80/150 mm). De korf zorgt ervoor dat de kleine stenen niet kunnen wegspoelen. In de korf hebben de stenen enige bewegingsvrijheid. De matras is dus flexibel. Gangbaar voor de afmetingen van de matrassen zijn een breedte van 1 tot 2 meter en een lengte van 2 tot 7 meter. De dikte van de matras varieert tussen de 0,15 en 0,30 meter.



Afbeelding 27

Schanskorfmатras.

Om snelle doorgroeïing te stimuleren kunnen zoden met plantenwortels onder de matras worden aangebracht. In waterlopen met weinig golfslag en stroomsnelheden lager dan 1,0 m/s kan een geotextiel achterwege blijven. In andere gevallen moet een tijdelijk of een goed doorgroeibaar permanent geotextiel worden gebruikt.

Toepassing

De schanskorfmatrassen zijn bruikbaar in situaties met zowel golf- als stroomaanval.

De matrassen moeten in verband met de interne stabiliteit (uitzakken) bij voorkeur niet worden toegepast op taludhellingen steiler dan 1:2,5.

Stabiliteit onder stroomaanval

Formule (46) geeft de dikte van de matras benodigd voor de stabiliteit bij stroming.

Stabiliteit onder golfaanval

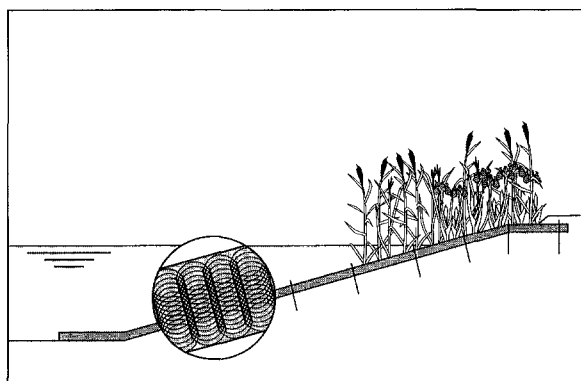
De benodigde dikte van de matras volgt uit formule (49)

Aandachtspunten

- > Indien de matras niet voldoende of onzorgvuldig is gevuld met stenen of grind kan de vulling teveel bewegen. Dit kan leiden tot verweking van de ondergrond en daardoor tot vervormingen van de constructie. Bovendien is bij teveel beweging geen groei van planten mogelijk.
- > Bij onderhoud aan de vegetatie op de matras (b.v. maaien) moet gewaakt worden voor beschadiging van de korf. Is de korf eenmaal kapot dan kan de vulling in een korte tijd verdwijnen. In de praktijk is gebleken dat een korf van kunststof gevoeliger is voor schade dan één van metaal.
- > Vooral bij steilere taluds (steiler dan 1:3) dient de ondergrond in verband met de grondmechanische stabiliteit (afschuiving) goed verdicht te zijn.
- > Corrosie van de metalen matrassen kan voorkomen worden door de toepassing van kunststofnet matrassen.
- > Beschadiging van de metalen korven door de bewegende steeninhoud kan tegen gegaan worden door de korf te beschermen met een plastic.

3.5.4 DRIE-DIMENSIONALE STRUCTUURMATTEN

Teneinde erosie van oevermateriaal kort na de aanleg van een kleine waterloop te voorkomen, worden soms driedimensionale structuurmatten toegepast. De matten zijn ook goed bruikbaar op plekken die minder frequent worden belast en waar een extra wapening van de grond en de begroeiing is gewenst (b.v. op het bovenbeloop van een dijk). Deze bijzondere vorm van geosynthetica bestaat uit een wirwar van monofilament-polyamide draden die door de vorm en de dikte een stevige open structuur vormen met 95% open ruimte.



Afbeelding 28

Drie-dimensionale structuurmat.

De matten kunnen worden gevuld met grond, steenslag 2/8 mm, of met door bitumen gebonden split. Eventueel wordt grond met rietwortelstokken of graszaad onder de mat aangebracht. Erosie van vulling en ondergrond wordt in sterke mate belemmerd, doordat de mat functioneert als filter en als wapening. De doorgroeibaarheid is goed en de levensduur is, mits de mat niet door foutieve aanleg mechanisch wordt beschadigd, zodanig lang dat van een permanente oeerverdediging gesproken kan worden. Door het stroomsnelheidsreducerende effect van de mat kan ook onder water een permanente bescherming worden geleverd.

De mat kan bij (te) steile bovenwatertaluds worden toegepast als grondwapening om uitspoeling of verzakking te voorkomen.

Toepassing

De structuurmatten zijn geschikt in situaties met (hoge) stroombelastingen. Tegen golfbelastingen zijn ze echter in zeer beperkte mate bestand.

De structuurmatten kunnen op hellingen van 1:2 en flauwer worden toegepast. Steiler dan 1:2 zou ook nog kunnen, mits bijzondere aandacht wordt besteed aan de verankering van de matten. Wel neemt de beschikbare breedte voor de door de mat heen te groeien oeervervegetatie snel af.

Stabiliteit onder stroomaanval

De volgende vuistregels voor de toelaatbare stroomsnelheid kunnen worden gehanteerd, onder de aanname dat aansluitingen en beëindigingen goed zijn verankerd (CIRIA, 1987):

- > $u < 0,75$ m/s voor onbegroeide matten met grond gevuld
- > $u < 1,50$ m/s voor onbegroeide matten gevuld met ongebonden split
- > $u < 3,0$ m/s voor begroeide matten gevuld met door bitumen gebonden split

Is de stroomaanval incidenteel en de duur ervan beperkt (hooguit een uur) dan kunnen bovenstaande toelaatbare snelheden voor de structuurmatten met een factor 2 worden vermenigvuldigd.

Stabiliteit onder golfaanval

Driedimensionale structuurmatten zijn nauwelijks geschikt voor toepassing bij (scheeps)golfbelastingen.

Door de geringe massa van de mat van circa 20 kg m^{-2} bestaat een reële kans op "flapperen" van de mat bij brekende golven.

Indien de matten goed zijn verankerd, met name bij de overlap, is een significante windgolf of (secundaire) scheepsgolf van maximaal 0,15 meter toelaatbaar. Naarmate de matten meer doorgroeid raken, kunnen hogere golven worden weerstaan (maximaal 0,25 meter).

Aandachtspunten

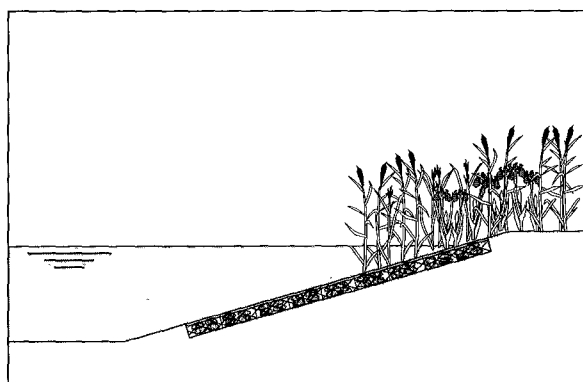
- > De matten moeten elkaar voldoende overlappen (minimaal 0,50 meter).
- > De verankering van de matten dient zorgvuldig uitgevoerd te worden.
- > (CIRIA, 1987) geeft een uitgebreid overzicht van de voorkomende structuurmatten en hun erosiebestendigheid onder invloed van stroming.

3.5.5 GEVEZELDE OPEN STEENASFALT

Deze doorgroei-constructie bestaat uit een laag open steenasfalt (OSA) waarvan de laagdikte afhankelijk is van de hydraulische belasting. Het materiaal is geschikt voor gebruik langs zowel kleine als grote wateren.

Open steenasfalt bestaat uit een mengsel van kalksteen en mastiek. Gevezelde open steenasfalt is een modificatie van het conventionele open steenasfalt. Door de toevoeging van cellulosevezels ontstaat een nog betere hechting tussen de stenen. Hierdoor wordt de kans op striping kleiner. Doordat de steenlaag is omhuld met enkele millimeters mastiek ontstaat een degelijke maar flexibele hechting tussen de onderlinge stenen. Door de geringe hoeveelheid mastiek is het percentage holle ruimte hoog, nl. 25 tot 30 procent. Deze holle ruimte biedt de beplanting de mogelijkheid door het asfalt heen te groeien (zie afbeelding 29).

Gevezelde open steenasfalt is door deze eigenschap zand- en waterdoorlatend. Door het toepassen van een filter onder het open steenasfalt wordt een zanddichte constructie verkregen terwijl de waterdoorlatendheid intact blijft. Open steenasfalt loogt niet uit en is onder andere daarom een categorie 1 bouwstof volgens het bouwstoffenbesluit.



Afbeelding 29

Een oever met gevezelde open steenasfalt.

Toepassingen

Open steenasfalt kan toegepast worden op zowel locaties met golfaanval als locaties met stroming.


Gevezelde open steenasfalt wordt onder water aangebracht in de vorm van matten met een geotextiel eronder. Boven water kan gevezelde open steenasfalt in situ worden aangebracht. De taludhelling dient bij voorkeur niet steiler te zijn dan 1 : 2.

Stabiliteit bij stroming

Omdat bij open steenasfalt de onderlinge stenen met elkaar verbonden zijn kan formule 46 niet toegepast worden zoals bij de andere besproken doorgroeiconstructies. Uit de praktijk is gebleken dat open steenasfalt een stroomsnelheid tot 6 m/s kan weerstaan mits de constructie niet frequent door meegevoerde voorwerpen wordt belast (CUR nr. 179 Toepassing van asfalt bij binnenwateren).

Tabel 4

Overzicht van de constructie-typen met eigenschappen

Type constructie	opbouw constructie	toepassing	talud	formules dimensionering	opmerkingen
 kraagstuk afgestort met breuksteen	<ul style="list-style-type: none"> - (wortels van oeverplanten) - (tijdelijk doorgroeibaar geotextiel / rietmat) - kraagstuk van wilgentenen - één laag zware breuksteen 	golfbelasting stroombelasting	≤ 1:3	afmeting breuksteen bij stroom: $\Delta_m D_n = \Phi * K_t * \frac{0,035}{\psi_c} * K_h * K_s^{-1} * \frac{u^{-2}}{2g}$ afmeting breuksteen bij golven: $\frac{H_s}{\Delta_m D_n} = \frac{\Phi \cos \alpha}{\xi^{0,5}} * \psi_v; \psi_v = 1,0$	<ul style="list-style-type: none"> - bij aanbrengen van de constructie op een grondaanvulling moet deze goed verdicht zijn - constructie is ongeschikt voor toepassing nabij verankeringsplaatsen - breuksteen: smalle gradering toepassen (bijvoorbeeld standaard-sortering)
betonblok-kenmat	<ul style="list-style-type: none"> - (tijdelijk geotextiel) - blokkenmat - (gatvulling) 	golfbelasting stroombelasting	≤ 1:2,5	als bij breuksteen op kraagstuk maar met macht 0,67 in plaats van 0,5; D _n is dan de benodigde dikte van de blokkenmat; ψ _v = 1,5	<ul style="list-style-type: none"> - aansluiting verdient veel aandacht - ondergrond moet goed verdicht zijn
schanskorfmattas	<ul style="list-style-type: none"> - (zoden met plantenwortels) - geotextiel, behalve bij geringe belasting - schanskorfmattas 	golfbelasting stroombelasting	≤ 1:2,5	als bij breuksteen op kraagstuk maar met macht 0,67 in plaats van 0,5; D _n is dan de benodigde dikte van de schanskorfmattas; ψ _v = 2,0	<ul style="list-style-type: none"> - bij onvoldoende of onzorgvuldige vulling kan beweging ontstaan, de constructie vervormt en planten komen niet door of sterven af
drie-dimensio-nale structuur-mat	- verankerde mat, al dan niet gevuld met zand of gebonden split	geringe stroombelasting	≤ 1:2	stroming: toelaatbare stroomsnelheid u in m/s u < 0,75 m/s: onbegroeide mat gevuld met grond u < 1,50 m/s: onbegroeide mat met ongebonden split u < 3,00 m/s: begroeide mat met gebonden split ⇨ bij incidentele kortdurende (max. 1 uur) stroomaanval mag u worden vermenigvuldigd met 2 golven: Bij goed verankerde matten bedraagt de toelaatbare golfhoogte maximaal 0,15 m. bij goed verankerde en begroeide matten bedraagt de toelaatbare golfhoogte maximaal 0,25 m.	<ul style="list-style-type: none"> - evt. toepassen bij talud steiler dan 1:2 maar dan bijzondere aandacht schenken aan verankering - de onderlinge overlap dient minimaal 0,50 m te bedragen - de matten zorgvuldig verankeren
open steenasfalt	als filter, leveren en aanbrengen grond afdekking	golfbelasting stroombelasting	< 1:2	als bij breuksteen, D _n is laagdikte van het open steenasfalt; ψ _v = 2,0	lichte zetting is geen probleem waterbergende ondergrond geeft de beste begroeiing

Δ_m = relatieve dichtheid stenen ($\Delta_m = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$, met ρ_s = dichtheid stenen en ρ = dichtheid water)

D_n = benodigde nominale diameter van de stenen

Φ = stabiliteitsparameter, deze bedraagt voor één laag breuksteen 1,25

K_t = turbulentiefactor, deze bedraagt 1 voor binnenbochten en rechte stukken en 2 voor buitenbochten

ψ_c = kritieke schuifspanningsparameter, voor breuksteen bedraagt deze 0,035

K_h = diepte-parameter ($K_h = \left(1 + \frac{h}{D_n}\right)^{-2}$), hier is K_h geschat op 0,65

K_s = taludfactor ($K_s = \cos \alpha \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \theta}\right)^{0,5}$)

α = taludhoek

θ = hoek van inwendige wrijving (voor breuksteen: 40°)

u = gemiddelde stroomsnelheid (u = Q/A), met Q is debiet en A is oppervlak stroomprofiel

g = versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/s²)

H_s = significante golfhoogte (m)

ξ = brekerparameter $\left(\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}}\right)$ met T = golfperiode (s)

Stabiliteit bij golfaanval

De benodigde laagdikte kan het beste bepaald worden aan de hand van de volgende ontwerprichtlijnen:

golfhoogte H_s [m]	laagdikte D_n [m]
1	0,2
0,5	0,15
0,2	0,12

tevens is formule (49) van kracht voor open steenasfalt.

Aandachtspunten

- > Wanneer men na het aanbrengen het gevezelde open steenasfalt afdekt met een laagje grond van enkele cm's kan men het talud inzaaien (zie CUR-200, 1999) om versneld een groen aanzicht te verkrijgen.
- > Door een filter te plaatsen onder de gevezelde open steenasfalt wordt uitspoeling voorkomen. Goede filters zijn o.a. zandasfalt of geotextiel. Geotextiel geeft de beste begroeiingsresultaten.
- > De fysische eigenschappen van de ondergrond zijn belangrijk voor een goede begroeiing in verband met de watertoevoer.

3.6 GEOTEXTIELEN

3.6.1 ALGEMEEN

Bij veel oeververdedigingen fungeert een geotextiel als een filter; het keert gronddeeltjes en laat water door. De belangrijkste eigenschappen voor het verrichten van deze filterfunctie zijn gronddichtheid en waterdoorlatendheid. Beide worden bepaald door de verdeling en de grootte van de porie-openingen in het filter. De gronddichtheid vereist een beperking van de porie-openingen. Dit is tegengesteld aan de eis die oeverplanten (in verband met doorgroei) stellen aan de poriënstructuur: zo open mogelijk. Oeverplanten kunnen het geotextiel op twee manieren penetreren, van boven af door wortelstokken en wortels of van onderen af door spruiten.

Ook bij natuurvriendelijke oevers is een filterconstructie vaak noodzakelijk. Deze kan worden gevormd door de oevervegetatie, met name de wortels, of door een combinatie van planten en technische materialen. Het kan ook een technische constructie zijn. Vooral bij relatief steile oevers en uittredend grondwater is de filterconstructie van belang. Vlak na de aanleg van natuurvriendelijke oevers, wanneer nog geen sprake is van begroeiing, worden geotextielen toegepast om de waterbeweging als gevolg van golven en stroming te reduceren, zodat de onderliggende kale grond minder wordt belast. Daar waar een oevervegetatie zich kan ontwikkelen is een goede doorgroeibaarheid van groot belang. Op die plaats waar de oevervegetatie na een paar jaar de bescherming van de oever gaat overnemen heeft het geotextiel een tijdelijke functie. Die tijdelijke functie kan daarom worden vervuld door geotextielen van biologisch afbreekbare weefsels zoals bijvoorbeeld kokos.

3.6.2 GEOTEXTIELEN VAN NATUURLIJKE MATERIALEN

Geotextielen van natuurlijke en afbreekbare materialen (jute, kokos, vlas of sisal) kunnen worden toegepast in alle situaties waar na verloop van tijd (0,5 tot 2 jaar) de vegetatie bescherming biedt en de filterfunctie gaat

overnemen (CUR/NGO publicatie 187, 1996) en (DWW-wijzer 82, 1998). Dat betekent dat de toepasbaarheid zich beperkt tot de zone waarin zich binnen 2 à 3 jaar een vegetatie heeft kunnen ontwikkelen met oeverbeschermende eigenschappen zoals een riet-, biezen- of lisdoddevegetatie. Over het algemeen zal de oevervegetatie zich in die periode niet veel dieper dan maximaal 0,5 m hebben ontwikkeld. In de dieper gelegen zones zal, indien nodig, in een kraag- of zinkstuk een permanent, dus synthetisch filterdoek moeten worden toegepast. Het boven water gelegen deel van de oever kan in de periode na de aanleg met een tijdelijk geotextiel worden beschermd tegen oppervlakkig afstromend regenwater, golfoploop en tijdelijke stroombelasting bij een waterstandsverhoging. Omdat de geotextielen van natuurlijke materialen volledig afbreekbaar zijn, laten ze, in tegenstelling tot die van synthetische materialen, geen (visueel) onaantrekkelijke resten in de oever achter.

Overige toepassingen zijn:

- > tijdelijk filter onder een blokkenmat, totdat een oevervegetatie zich heeft gevestigd of onder een zandcementsteen constructie die na een paar jaar is verdwenen;
- > tijdelijk filter op een doorgroeiconstructie om de afdeklaag van grond te behouden;
- > tijdelijke golfdempende constructie in de vorm van kokos- of vlasrollen.

3.6.3 DOORGROEIBAARHEID VAN GEOTEXTIELEN

In die situaties waar een permanent geotextiel in de verdediging is vereist en een doorgroeiconstructie is gewenst, is een juiste keuze van het geotextiel van belang. Op basis van een doorgroeibaarheidsproef met een beperkt aantal geotextielen (W-DWW-95-309, 1995) en (DWW wijzer 68, 1995) is gebleken dat ten aanzien van de mate van doorgroei geen onderscheid is te maken tussen weefsels en vliezen. Op grond van de waargenomen resultaten kan echter wel gesteld worden dat bij weefsels de doorgroei met stengels van riet bepaald wordt door enerzijds de 'penetratieweerstand' en anderzijds het 'gewicht' van het product. Hoe lager de penetratieweerstand en hoe kleiner het gewicht van het weefsel, des te meer doorgroei zal er plaatsvinden. Bij vliezen ligt het wat anders. Hier is vooral de poriegrootte van invloed op het aantal stengels dat door het vlies groeit. Vliezen met een grote poriegrootte hebben een beter doorgroeieresultaat.

De doorgroeibaarheid van een weefsel dient te worden beoordeeld door zowel het gewicht als de penetratieweerstand. Indien voor beide een positieve indicatie geldt, mag worden aangenomen dat het weefsel goed doorgroeibaar is. Indien voor beide een negatieve indicatie geldt, dan zal het weefsel slecht of niet doorgroeibaar zijn. Indien de beoordeling een positieve en een negatieve indicatie oplevert bestaat onduidelijkheid over de doorgroeibaarheid.

De doorgroeibaarheid van een vlies wordt beoordeeld aan de hand van de poriegrootte.

Criteria voor weefsels

Als het gewicht kleiner dan of gelijk is aan 235 gr/m² dan geldt een positieve indicatie met betrekking tot doorgroeibaarheid.

Als de penetratieweerstand van het weefsel kleiner dan of gelijk is aan 15,8 N dan geldt een positieve indicatie met betrekking tot doorgroeibaarheid.

Criteria voor vliezen

Voor vliezen geldt dat de beoordeling moet plaatsvinden op basis van de poriegrootte. Als de karakteristieke poriegrootte groter dan of gelijk is aan 95 µm geldt een positieve indicatie met betrekking tot de doorgroeibaarheid.

In CUR Aanbeveling 60 'Doorgroeibaarheid van geotextielen voor Riet' (CUR, 1997) wordt uiteengezet hoe op basis van beoordelingscriteria en bepalingmethoden kan worden nagegaan of een weefsel of vlies potentieel doorgroeibaar is voor riet.

Tabel 5

Overzicht van de doorgroeibaarheid en enkele eigenschappen van een aantal geteste geotextielen

	aantal doorboringen na één jaar	aantal doorboringen na twee jaar	gemiddelde sprouitlengte cm	gemiddelde sprouitdikte mm	poriegrootte μm	gewicht g/m^2	treksterkte		penetratiekracht N
							ketting kN	inslag kN	
Vliezen									
Trevira 360	0	0	0,0	0,00	100	360	25	24	59,6
FLN 200	8	32	50,3	2,12	99	200	17	19	16,7
TS 700	4	9	39,3	1,57	100	280	17		49,6
TS 500	2	22	49,5	2,71	120	140	8,8		26,4
A 350	0	0	0,0	0,00	75	350	13	18	56,8
Terrafix 1004 R	0	0	0,0	0,00	70	900	14,8	34,1	107,9
Terrafix 600	0	0	0,0	0,00	80	600	17,3	36,8	97,8
Secutex 351	7	30	45,3	1,94	90	325	16	18,6	58
Secutex 171	20	168	55,8	2,25	160	175	4,5	11	24,6
Secutex 151	50	304	51,2	2,14	170	150	4,4	7,3	17,1
Terrafix 805 RS	1	0	0,0	0,00	80	966	20,2	39,8	192,6
TTA 4720	3	7	38,1	1,81	100	200	12		41,5
NW 9/9	11	31	41,0	1,74	105	150	9	9	36,4
Weefsels									
LP 200	9	20	29,8	2,23	198	185	39	27	13,9
C 50.002	17	83	57,5	2,17	265	225	44	50	7,2
6G/120/SA	18	75	42,9	2,52	200	120	18	18	10,3
A 50.508	12	64	39,3	1,97	700	210	45	45	9,9
C 10.341	16	65	51,5	2,30	200	240	68	68	6,3
F 250	24	102	40,4	2,41	250	135	20	25	3,5
F 300	24	100	41,5	2,13	300	165	45	20	5,1
F 130	0	0	0,0	0,00	100	250	70	70	38,9
Geolon 40	6	3	77,0	1,55	145	190	40	36	18,3
Geolon 15	2	16	61,1	1,80	180	100	18	18	7,1
F 180	0	0	0,0	0,00	180	235	45	45	14,8
M 600	3	4	39,5	2,00	450	210	50	40	16,8
Propex 6078	1	4	39,3	1,87	280	530	88	80	25,4
Propex 6074	0	0	0	0,00	190	330	55	55	10,2
HF 1200	14	50	23,5	1,72	1200	190	42	37	11,9
HF 460	6	18	32,6	1,49	460	239	54	45	14,9
SG 40/36	4	5	67,3	1,52	180	187	40	36	17,9
HF 360	3	20	33,5	2,32	360	225	54	45	12,2
HF 150	0	0	0,0	0,00	65	525	150	150	43,1
HF 180	3	9	51,5	1,83	230	233	45	45	16,6
HF 260	0	0	0,0	0,00	260	257	54	45	21,6
HF 250	0	0	0,0	0,00	250	290	54	45	35,5
referentie	116	812	88,4	3,11					

3.6.4 AANPLANT VAN RIET IN COMBINATIE MET EEN GEOTEXTIEL

Aanplant is aan te bevelen daar waar de vegetatie een oeverbeschermende functie krijgt. De ontwikkeling van de oevervegetatie wordt hiermee bevorderd. Op grond van de bevindingen opgedaan met de reeds genoemde doorgroeibaarheidsproef is een indicatie verkregen van de wijze waarop aanplant in de praktijk zou moeten plaatsvinden om een zo goed mogelijke vegetatie-ontwikkeling te verkrijgen.

De meest effectieve aanplantmethode is om grond vermengd met wortelstokken en wortels van riet onder een geotextiel aan te brengen. Van belang is dan de doorgroeibaarheid van het geotextiel voor stengels. De zone waarin de wortels en wortelstokken moeten worden aangebracht bevindt zich van 0,2 m onder het gemiddeld waterpeil tot 0,5 m daarboven in geval van een nagenoeg stagnante waterstand. In getijdewateren en rivieren is de ligging van deze zone afhankelijk van de waterstandsdynamiek en zal dus nader uitgezocht moeten worden.

Wanneer plantmateriaal op het geotextiel wordt aangebracht, dient het geotextiel zowel voor wortels als wortelstokken doorgroeibaar te zijn. Echter deze aanplantmethode werkt niet goed aangezien het materiaal vaak wegspoelt. In de praktijk komt deze aanplant daarom bijna niet voor.

3.6.5 ONTWERPEN VAN EEN GEOTEXTIEL ALS FILTER

Om het geotextiel als filter te kunnen gebruiken, moet aan de onderstaande filterregels worden voldaan (zie ook "Geotextielen in de waterbouw" CUR-publicatie 174, januari 1995 (CUR, 1995)):

Voor een filter op klei ($d_{50} \leq 60 \mu\text{m}$):

$$O_{90} < 1,5 d_{10} \sqrt{Cu} \quad (41)$$

$$O_{90} < d_{50} \quad (42)$$

$$O_{90} < 500 \mu\text{m} \quad (43)$$

Voor een filter op zand ($d_{50} > 60 \mu\text{m}$):

$$O_{90} < d_{90} \quad (44)$$

In het geval van lage hydraulische belastingen (stroomsnelheden lager dan 1,5 meter per seconde en golfhoogten lager dan 0,25 meter) kan deze regel verruimd worden tot:

$$O_{90} < 2 d_{90} \quad (45)$$

In alle gevallen geldt:

O_{90} is de afmeting van de porie van het geotextiel die correspondeert met de gemiddelde diameter van een zandfractie waarvan 90 % op en in het geotextiel achterblijft bij (natte) zeving

d_{50} is de zeefmaat van de theoretische zeef met vierkante openingen waardoorheen 50 % van de korrels van een fractie van het basismateriaal gaat

d_{90} is de zeefmaat van de theoretische zeef met vierkante openingen waardoorheen 90 % van de korrels van een fractie van het basismateriaal gaat

Cu is de verhouding d_{60}/d_{10} (ook wel gelijkmatigheidscoëfficiënt genoemd)

Bij de keuze van een geotextiel als filter is tevens van belang dat de waterdoorlatendheid van het textiel (k_g) een orde groter is dan die van het basismateriaal (k_b). Veelal wordt de eis gehanteerd:

$k_g > \gamma k_b$, met γ is gelijk aan 2,0 bij lage hydraulische belastingen en gelijk aan 10 in andere gevallen.

De eisen die vanuit de filterfunctie en de doorgroeibaarheid aan het geotextiel worden gesteld kunnen tegenstrijdig zijn. Immers de filterfunctie vereist met name bij fijn zand en klei een kleine poriegrootte ($O_{90} < 160 \mu\text{m}$), terwijl de doorgroeibaarheid gebaat is bij grotere poriën ($O_{90} > 160 \mu\text{m}$).

3.7 ZWAARTE VAN HET CIVIELTECHNISCHE ONDERDEEL VAN DE TALUDVERDEDIGING

De zwaarte van een verdediging op een talud tegen golf- of stroomaanval kan met behulp van de onderstaande formules worden bepaald (Pilarczyk, 1990a). Een overzicht van de standaard breuksteensorteringen is in bijlage 1 opgenomen.

Gezette taludbekledingen worden hier niet behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar (CUR, 1992).

3.7.1 STROOMAANVAL

Bij stroomaanval geldt de algemene formule:

$$\Delta_m D_n = \phi \cdot K_T \cdot \frac{0,035}{\Psi_c} \cdot K_h \cdot K_s^{-1} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} \quad (46)$$

waarin:

D_n = karakteristieke afmeting van het verdedigingselement	(m)
Δ_m = relatieve dichtheid	(-)
ϕ = stabiliteitsparameter	(-)
K_T = turbulentiefactor	(-)
K_h = diepteparameter	(-)
K_s = taludfactor	(-)
Ψ_c = kritieke schuifspanningsparameter	(-)
\bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
g = zwaartekrachtsversnelling	($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

De sterkteparameters Δ_m en D_n volgen uit:

breuksteen:	$D_n = (W_{50}/\rho_s)^{0,33}$ of $D_n = 0,85 D_{50}$ $\Delta_m = \Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$
betonblokken (incl. blokkenmatten):	$D_n = d$ (=blokdikte) $\Delta_m = \Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$
schanskorf- en zandmatrassen	$D_n = d$ (= matrasedikte) $\Delta_m = (1-n) \cdot \Delta$ $d > 1,8 D_{n,\text{steenvulling}} > 0,15 \text{ m}$

waarin:

D_n = karakteristieke afmeting van de verdedigingselementen	(m)
D_{50} = karakteristieke breuksteendiameter onderschreden door 50% van het materiaal	(m)
d = blokdikte of matrasdikte	(m)
Δ_m = relatieve dichtheid	(-)
W_{50} = massa van een steenstuk dat door 50% van de steenstukken wordt overschreden	(kg)
ρ_s = dichtheid van het materiaal	(kg.m ⁻³)
ρ = dichtheid van water	(kg.m ⁻³)
n = gehalte aan open ruimte (incl. poriën)	(-)
$n \approx 0,4$ voor schanskorven en zandmatrassen	

De diverse K-factoren kunnen worden berekend met:

$K_h = 2/(\log(1 + 12 h/k_r))^2$ voor een logaritmisch snelheidsprofiel
$K_h = (1 + h/D_n)^{-0,2}$ voor een niet-volledig ontwikkeld snelheidsprofiel
$K_s = \cos\alpha(1 - \tan^2\alpha/\tan^2\theta)^{0,5}$
$K_T = 0,67$ in geval van lage turbulentie en uniforme stroming
$K_T = 1,0$ bij normale turbulentie (retourstroming)
$K_T = 3,0$ bij hoge turbulentie (schroefstraalstroming)

waarin:

h = waterdiepte	(m)
k_r = ruwheidsparameter	(m)
$k_r = D_n$ (voor hydraulisch gladde elementen, betonblokken)	
$k_r = 2 D_n$ (voor ruwe elementen, bijvoorbeeld breuksteen)	
α = taludhoek	(°)
θ = hoek van inwendige wrijving	(°)
ongeveer 40° voor breuksteen	

De factor K_h kan worden verwaarloosd als in plaats van met de gemiddelde stroomsnelheid met de lokale snelheid nabij de bodem of op het talud wordt gerekend.

De volgende waarden voor de stabiliteitsparameter ϕ worden aanbevolen:

$\phi = 1,25$ bij beëindigingen van breuksteen, of één laag stenen
$\phi = 1,0$ bij beëindigingen van matten
$\phi = 0,75$ voor breuksteenconstructies met minimaal twee lagen stenen
$\phi = 0,50$ voor doorgaande matconstructies

Voor de schuifspanningsparameter kan worden aangehouden:

$\psi_c = 0,035$ voor breuksteen
$\psi_c = 0,07$ voor allerlei matconstructies

3.7.2 GOLFAANVAL

Bij golfaanval kan de dimensionering plaatsvinden met de volgende formules. Voor windgolven wordt daarin de significante golfhoogte (H_s) en voor scheepsgolven de hoogte van de secundaire golven (H_i) ingevuld. Ter illustratie is in deze paragraaf een grafiek (afbeelding 30) opgenomen waarin voor een aantal veel voorkomende situaties de maximaal toelaatbare golfhoogte wordt weergegeven. De bovengrens van de vakken per standaard breuksteensorteringen (80/200 mm, 5-40 kg en 10-60 kg) geeft per taludhelling (1:2 tot 1:6) de maximaal toelaatbare golfhoogte waarvan de golfperiode 3 seconden bedraagt. Bij een golfperiode van 2 s is de toelaatbare H_s grofweg 0,10 m hoger. Bij schuine golfaanval mag voor de dimensionering van breuksteen de inkomende golfhoogte (H_i) worden gereduceerd:

$$H_i = H_s (\cos \beta)^{0,5} \quad (47)$$

waarin β de hoek van inval ($^\circ$) is. NB: Bij loodrechte inval is β gelijk aan 0° !

Voor breuksteenconstructies en schanskorven

$$\frac{H_s}{\Delta_m D_n} \leq \psi_u \cdot \frac{\phi \cos \alpha}{\xi^{0,5}} \quad (48)$$

Voor blokkenmatten, open steenasfalt en geotextielmatrassen

$$\frac{H_s}{\Delta_m D_n} \leq \psi_u \cdot \frac{\phi \cos \alpha}{\xi^{0,67}} \quad (49)$$

waarin:

ψ_u = upgrading factor (-)

$\psi_u = 1,0$ voor breuksteen

= 1,5 voor geotextielmatrassen (goed verankerd)

= 1,5 voor blokkenmatten gekoppeld via een geotextiel

= 2,0 voor blokkenmatten gekoppeld via kabels en voor open steenasfalt

= 2,0 voor schanskorven, zand- en steenmatrassen

H_s = significante golfhoogte (m)

Δ_m = relatieve dichtheid (-)

D_n = karakteristieke elementafmeting (m)

ϕ = stabiliteitsparameter (-)

• een veilige waarde is: 2,25

• Voor een éénlaags constructie zoals bij doorgroeiconstructies moet 1,5 worden aangehouden

ξ = brekerparameter (-)

α = taludhoek ($^\circ$)

Zie voor de behandeling van de sterkteparameters Δ_m en D_n , afhankelijk van het constructietype, de toelichting bij formule (46).

Een meer geavanceerde formule, conform (Pilarczyk, 1990a), voor meerdere lagen breuksteen belast door brekende windgolven of secundaire scheepsgolven ($\xi \leq 2,5$) luidt:

$$H/\Delta D_n < C_H P^{0,18} (S/\sqrt{N})^{0,2} \xi^{-0,5} \tag{50}$$

waarin:

H = significante windgolfhoogte of hoogte van de secundaire scheepsgolf (m)

D_n = nominale materiaaldiameter (m)

Δ = relatieve dichtheid (-)

C_H = Coëfficiënt voor het type golfbelasting;

$C_H = 6,2$ voor windgolven en $8,2$ voor secundaire scheepsgolven

P = doorlatendheidsfactor (-)

$P = 0,1$ bij een ondoorlatende ondergrond (zand-kleilichaam)

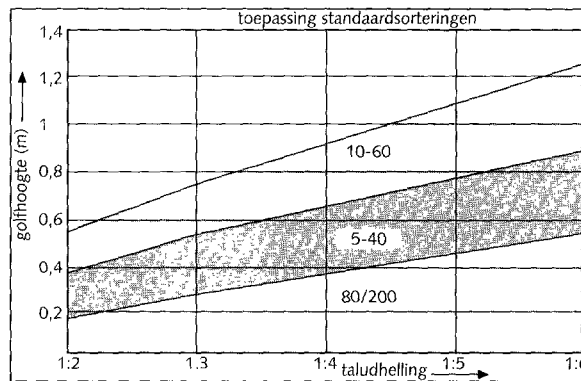
$P = 0,5$ bij een doorlatende onderlaag (bijvoorbeeld bij meerdere lagen breuksteen)

S = schadegetal (-)

N = aantal windgolven of het aantal scheepspassages (-)

ξ = brekerparameter (-)

De fysische betekenis van S is het aantal stenen met een afmeting gelijk aan D_n dat is geërodeerd uit een strook met een breedte gelijk aan een keer D_n . In het algemeen is er sprake van "geen schade" als tussen 1 à 3 stenen zijn geërodeerd.



Afbeelding 30

Voorbeeldberekening maximaal toelaatbaar golfbelasting.

Haalgolf

Bij scheepvaartkanalen wordt het gedeelte van de verdediging op en juist onder de stilwaterlijn in hoofdzaak belast door de haalgolf. Voor de dimensionering van de toplaag van de breuksteenverdediging kan van de volgende relatie gebruik worden gemaakt:

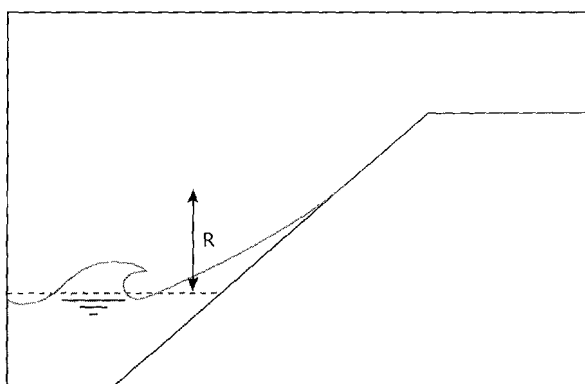
$$D_{50} = Z_{max} / (\psi_{u,w} 1,5 (\cot \alpha)^{0,33} \Delta) \tag{51}$$

waarin:

D_{50} = karakteristieke steendiameter	(m)
Z_{\max} = spiegeldaling boven het talud vlak voor de haalgolf	(m)
$\Psi_{u,w}$ = upgrading factor; 1 voor conventionele (twee lagen breuksteenconstructie)	(-)
α = taludhelling	(°)
Δ = relatieve dichtheid van de breuksteen	(-)

3.8 GOLFOLOOP OP TALUDVERDEDIGING

Voor de bepaling van de hoogte waarover het talud verdedigd moet worden is het van belang de mate van golfoploop op het talud te kennen. Wanneer de verdediging overgaat in een begroeiing die zo nu en dan door golfoploop belast mag worden, is het niet noodzakelijk de verdediging door te zetten tot de maximaal te verwachten golfoploop.



Afbeelding 31

Theoretische golfoploop.

De theoretische golfoploop kan worden berekend met de formule:

$$R = 1,6 \xi H_i r_r \text{ met een maximum van } 3,2 H_i \cdot r_r \quad (52)$$

waarin:

R = theoretische golfoploop inclusief taludruwheid	(m)
H_i = inkomende golfhoogte (windgolven of interferentiepieken)	(m)
ξ = brekerparameter	(-)
met $\xi = 1,25 \tan \alpha T/H_i^{0,5}$	
α = taludhoek	(°)
T = periode van de inkomende golf	(s)
r_r = reductiefactor voor taludruwheid	(-)
gezette steen	1,00
blokkenmatten	0,80
grind, schanskorfmatrassen	0,70
breuksteen	0,60

3.9 ZWAARTE VAN HET CIVIELTECHNISCH ODERDEEL VAN DE VERTICALE VERDEDIGING

3.9.1 DAMWANDLENGTE

Een gangbare verticale constructie is de damwand. Deze ontleent zijn stabiliteit aan de passieve gronddruk van grondmassa's voor en achter de damwand al of niet in combinatie met een verankering. Voldoende inheidiepte is een vereiste en daarbij wordt aanbevolen niet te rekenen op onverdedigde onderwatertaluds voor de damwand. Door de schroefstraal en de retourstroom van passerende schepen eroderen deze meestal. Het ontstaan van ontgrondingskuilen dieper dan de oorspronkelijke bodem behoort zelfs tot de mogelijkheden.

De eigenlijke stabiliteitsberekeningen zijn te vinden in de handboeken (CUR, 1993). Als eerste schatting kan voor de lengte van een verankerde damwand worden aangehouden van twee maal de kerende hoogte.

Voor een niet verankerde damwand bedraagt deze factor 3. Hierbij is de kerende hoogte gelijk aan de som van aanleghoogte (hoogte damwand boven waterpeil) en de waterdiepte direct voor de damwand.

(Deze benadering geldt niet voor damwanden als kademuur) In formule:

$$l_d = (2 \text{ à } 3) l = (2 \text{ à } 3) (h + h_d) \quad (53)$$

waarin:

l_d	= totale damwandlengte	(m)
l	= kerende hoogte (lengte van de damwand boven de bodem)	(m)
h	= waterdiepte	(m)
h_d	= aanleghoogte boven waterpeil	(m)

Indien een zekere doorgaande golf is toegestaan kan de grootte van h_d worden vastgesteld via een formule voor de golftransmissie bij verticale constructies (zie paragraaf 4.3). Een waarde van 1,2 maal de maatgevende inkomende golfhoogte H_i kan worden gebruikt indien geen golfoverslag is gewenst.

3.9.2 DE INVLOED VAN BOMEN OP VERTICALE VERDEDIGINGEN

Veel damwanden zijn voorzien van een verankering. Dat kan zijn een ankerstang met ankerplaat of een schroefanker. Er is een methode om de ongunstige invloed van een boombeplanting op de stabiliteit van de damwand voldoende te compenseren (Jonker, 1988). Een bomenrij zorgt namelijk voor een toename van de belasting (boomgewicht, windbelasting op boom, expansiebelasting door wortelstelsel) en een mogelijke afname van de sterkte (omwaaien boom met als gevolg een kuil voor het ankerschot). Voor de berekeningsmethode wordt verwezen naar genoemde literatuur. De aanbevelingen zijn:

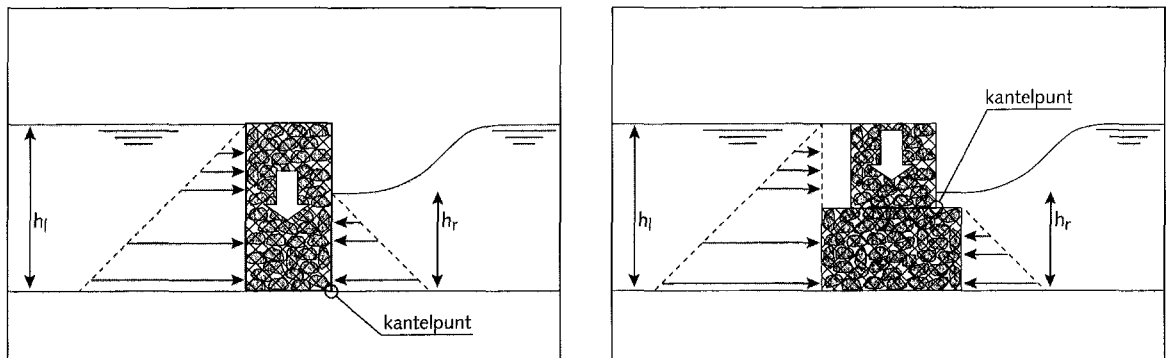
- > afstand boom tot damwand minimaal 2,5 m;
- > aanlegdiepte ankerstangen minimaal 1,5 m beneden maaiveld;
- > (indien spontane vestiging niet de voorkeur verdient) bomen planten op regelmatige afstand midden tussen de verankeringen (h.o.h. afstand bomen is veelvoud van h.o.h. afstand ankerstangen);
- > verlenging inheidiepte damwand met 0,25 m.

3.9.3 DE STABILITEIT VAN SCHANSKORVEN TEGEN KANTELEN

Bij schanskorven bestaat het risico dat deze kantelen onder invloed van golfbelastingen bij een ongunstige waterstand. Via onderstaande eenvoudige berekeningsmethodiek kan getoetst worden of kantelen kan optreden.

Het grootste kantelende moment treedt op wanneer de waterstand tot aan de kruin van de schanskorf-constructie reikt. Door reflectie van de inkomende golf tegen de schanskorf wordt de waterstand vóór de constructie in het golfdal extra verlaagd. De waterstandsverlaging in het golfdal moet daarom met circa 1,5 worden vermenigvuldigd. Dit geldt overigens niet voor de waterstandsverlaging als gevolg van de scheepsgeïnduceerde waterspiegeldaling. Bovendien kan de inkomende golf een kortdurende, hoge piekbelasting op de schanskorf veroorzaken.

Hier wordt aan de hand van de hydrostatische drukken en het eigen gewicht van de constructie alleen de statische stabiliteit getoetst. Dat is in feite een soort ondergrensbenadering, vandaar de toepassing van een veiligheidsfactor. Het waterstandsverschil over de constructie is gesteld op 0,75 maal de inkomende golfhoogte (H_i). De hoogte van H_i hangt af van de waterstand h en wordt gesteld op $0,66 h$. Hierdoor wordt het waterstandsverschil gelijk aan $0,5 h$. Er worden twee verschillende schanskorfconstructies beschouwd.



Afbeelding 32

Berekening van eventueel kantelen van schanskorfconstructies.

Voorwaarde tegen kantelen

Type A

Aandrijvende moment * (veiligheidsfactor) $f <$ tegenwerkend moment \Rightarrow

$$0,5 \rho g h_l^2 * 0,33 h_l * f < 0,5 \rho g h_r^2 * 0,33 h_r + (\rho_s - \rho) g (1 - n) h * b * 0,5 b \quad (54)$$

via $h_r = 0,5 h_l = 0,5 h$; $n = 0,4$ en $f = 1,5$ wordt gevonden

$$b^2 > 0,76 h^2 \rho / (\rho_s - \rho) \quad (55)$$

Waarin:

h	= waterdiepte en tevens hoogte van de schanskorfconstructie	(m)
h_l	= h	(m)
h_r	= waterdiepte onder het dal van de gereflecteerde golf	(m)
b	= breedte van de beschouwde schanskorf	(m)
ρ_s	= dichtheid van het materiaal	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ρ	= dichtheid van water	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
n	= gehalte aan open ruimte (incl. poriën)	(-)
	$n \approx 0,4$ voor schanskorven	
f	= veiligheidsfactor	(-)
g	= versnelling van de zwaartekracht	($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Type B

Nu hoeft alleen de stabiliteit van het bovenste deel beschouwd te worden. Dat betekent dat alleen de hydrostatische drukverdelingen aan weerszijden van het bovenste deel in rekening moeten worden gebracht en het eigen gewicht van het bovenste element.

Hoofdstuk 4: Oevers per watertype

4.1 KLEINE WATEREN

4.1.1 INLEIDING

Inrichtingsmaatregelen die ruime mogelijkheden voor de natuur bieden vragen vrijwel altijd een breed profiel. Minder steile oevers vragen meer grond, om erosie toe te laten moet grond beschikbaar zijn, om de invloed van de aangrenzende gronden te beperken moeten er bufferstroken zijn en om de onderhoudsfrequentie te verminderen is een ruimer nat profiel vereist.

De basis om te bepalen wat het minimale profiel moet zijn ligt in de capaciteitsberekening. Voor doorvoer van water (afvoer, aanvoer) is een minimale natte oppervlakte op dwarsdoorsnede nodig waarin niet noemenswaardig planten voorkomen. Zowel de breedte als de diepte hebben dus invloed op de capaciteit. Voor buffering van water is alleen de breedte van het water en de hoogte tot waar het water mag stijgen van belang.

In constructieve zin zal voor de oevers van kleine waterlopen een verdedigingsconstructie als zodanig veelal achterwege kunnen blijven. Zo mogelijk dient ernaar te worden gestreefd de oever in stand te houden door een vegetatie of een goede grasmat, al of niet in combinatie met een drie-dimensionale structuurmat. Soms echter zal een beschoeiing nodig zijn, of een steenachtige taludbescherming op plaatsen waar het wat sneller kan stromen.

Voor kleine wateren bestaat een uitgebreid scala aan mogelijkheden om profielen te dimensioneren en de oevers te beschermen. Hier is een beperkte selectie daaruit weergegeven.

4.1.2 DIMENSIONERING WATERLOOP

Dimensionering van de waterloop dient zodanig te zijn dat de af te voeren hoeveelheid water zonder belangrijke overschrijding van gewenste waterpeilen kan plaats vinden. Een rekenmethode die dit mogelijk maakt, is gebaseerd op metingen van Pitlo en Griffioen (Pitlo, 1991) en (Griffioen 1996). Zij hebben op basis van een grote hoeveelheid meetgegevens een relatie gelegd tussen plantengroei, het percentage open water en de stromingsweerstand. In formulevorm:

$$Q = k_{m0} A_1 R_1^{0,67} i^{0,5} + W A_2 i \quad (56)$$

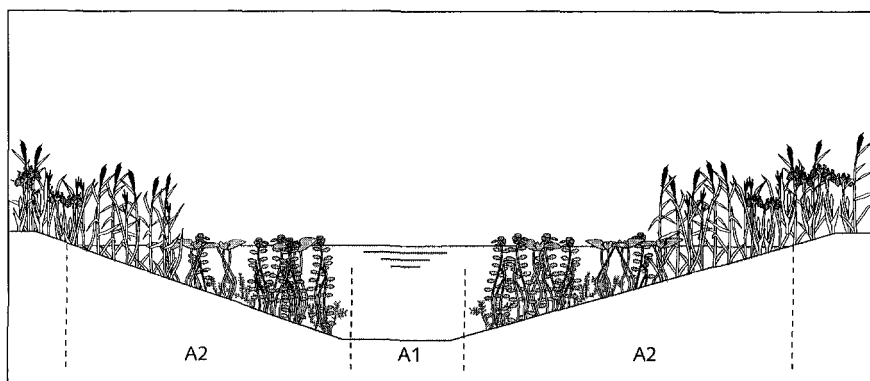
waarin:

Q	= maatgevende waterafvoer	(m ³ /s)
A	= totale doorsnede waterloop	(m ²)
A ₁	= natte oppervlak open water gedeelte	(m ²)
A ₂	= natte oppervlak begroeide gedeelte	(m ²)
R ₁	= hydraulische straal open water gedeelte	(m)
i	= verhang	(-)
k _{m0}	= ruwheidsfactor open water gedeelte (overeenkomend met de inverse van de Manning-coëfficiënt n)	(m ^{1/3} /s)
W	= weerstandsfactor voor het begroeide gedeelte	(m/s)

De waarde van k_{m0} blijkt onafhankelijk te zijn van de verhouding gedeelte open water versus het begroeide deel en bedraagt 34. De waarden van W staan hieronder weergegeven.

Weerstandsfactor W voor verschillende plantensoorten (nauwkeurigheid 20%):

grasachtigen en ondergedoken soorten	30
riet	100
drijvend fonteinkruid	200
gele plomp	250
waterlelie	500
watergentiaan	700



Afbeelding 33

Schematisch dwarsprofiel van een gedeeltelijk begroeide waterloop.

De grenzen van het afvoermodel zijn de volgende:

$$\text{onbegroeide waterloop} \quad : \quad A_2 < 0,05 A_1 \quad \text{en} \quad W = 0 \quad (57)$$

$$\text{geheel dichtgegroeide waterloop} \quad : \quad A_1 = 0 \quad \text{en} \quad A_2 = A \quad (58)$$

Voor berekeningen kan gebruik worden gemaakt van het zeer uitgebreide rekenmodel DIWA (André e.a., 1996). DIWA is als pc-versie verkrijgbaar bij de LNV, Dienst Landelijk Gebied, afdeling Innovatie & Kennismanagement in Utrecht (Zie ook (Griffioen, 1996)).

4.1.3 VOORZIENINGEN KLEINE WATEREN

In oevers van kleine wateren zal enige erosie plaatsvinden, waardoor oevers veranderen van vorm. De meest natuurvriendelijke aanpak is het toestaan van deze veranderingen. Inrichting- en onderhoudsmaatregelen kunnen erop gericht zijn om de verandering zo traag mogelijk te laten verlopen. In (bijna) stilstaande wateren geldt algemeen dat een oever die ernstig afkalft te steil is gemaakt, of de vegetatie te weinig kansen krijgt om een dichte zode te vormen. In principe zijn de volgende taludhellingen met een regelmatig gemaaid korte vegetatie min of meer stabiel:

Tabel 5

Stabiele taludhellingen bij verschillende grondsoorten.

Taludhellingen	Taludhellingen		maximale stroming
	boven water	onder water	
zandgronden	1:2-3	1:3-8	0,15-0,3 m/s
zavel, zandige klei	1:1-2	1:2-3	0,2-0,4 m/s
veengronden	1:1-2	1:1-3	0,2-0,5 m/s
kleigronden (slap)	1:2	1:2-4	0,4-0,6 m/s
kleigronden (vast)	1:1-2	1:2	0,6-1,0 m/s

Wanneer de bodemopbouw zodanig is dat de oever ondersteund zou moeten worden door een betuining of een beschoeiing, bijvoorbeeld in het geval van klei op zand, kan behalve vanuit het oogpunt van natuur en landschap ook vanwege het kostenaspect worden overwogen het talud te beschermen door middel van een rietkraag (Hoogerland, 1993). Hierbij gelden de volgende aanbevelingen:

- > Bij toepassing van rietzoden is vanuit stabiliteitsoverwegingen een breedte van een ingekaste zode van 0,5 m op een plasberm van 1 m voldoende.
- > Bij toepassing van rietwortelstokken is een aantal van 5-7 stuks per m² voldoende.
- > Voor de aanleg van een rietoever, die kan uitgroeien tot een breedte van 3 à 4 m is de aanplant van een rietkraag op een plasberm van 1 m breedte voldoende.
- > Bij het verruimen van een waterloop verdient het eenzijdig verruimen, daar waar dat mogelijk is, de voorkeur.
- > Bij oevers die niet zwaar door de golfslag worden aangevallen dient het risico te worden genomen van taludbeschadiging in de periode, dat de rietkraag zich nog niet voldoende heeft ontwikkeld. De kosten voor eventueel herstelwerk zullen als regel lager zijn dan de kosten van de (tijdelijke) voorziening.

Wanneer verschillende bodemlagen worden aangesneden is het over het algemeen het veiligst de flauwste helling aan te houden.

De keuze voor een steiler talud lijkt dringender te worden naarmate de ontwateringsdiepte groter is. Echter bij een ontwateringsdiepte in sloten van enkele decimeters in het veenweidegebied heeft de keuze voor een flauwer profiel nauwelijks gevolgen voor de totale breedte van de sloot. Bij een drooglegging van 1 m onder het maaiveld betekent het verschil tussen 1:2 en 1:4 een extra ruimtebeslag van 2 m aan weerszijden.

De extra kosten van het ruimtebeslag moeten dan worden afgewogen tegen de kosten van aanleg en onderhoud van een constructie die nodig is om een helling van 1:2 in stand te houden. Behalve de kosten zijn er de baten. Wat de natuur betreft, zijn deze bij de flauwste oever is het grootst.

Beschoeiing of betuining

Betuiningen hebben over het algemeen tot doel om uitspoeling van grond op de waterlijn te voorkomen. Betuiningen hebben slechts een beperkte grondkerende functie (maximaal 0,4 m). Beschoeiingen hebben eveneens een functie om uitspoeling van grond op de waterlijn te voorkomen, maar hebben daarnaast een grotere grondkerende functie (0,4 tot 1 m).

In het algemeen moet gesteld worden dat strakke beschoeiingen en betuiningen een sterk negatief effect hebben op de natuurvriendelijkheid van een oever, omdat ze barrières vormen.

Bij oevers met een gebroken profiel (plasbermen, bijvoorbeeld) kunnen aan de waterkant tijdelijke betuiningen worden gebruikt in de vorm van onbehandeld hout. Na verloop van tijd vermindert de noodzaak tot handhaving van de beschoeiing, omdat de vegetatie de rol in de oeververdediging heeft overgenomen.

Milieubeoordeling oeverbeschoeiingsmaterialen

In 1997 is in opdracht van het RIZA een milieubeoordeling van oeverbeschoeiingsmaterialen uitgevoerd met het doel waterbeheerders, gemeenten en andere betrokkenen te ondersteunen bij het maken van een keuze voor een milieuverantwoorde oeverbeschoeiing (Rijkswaterstaat/RIZA, 1997). Tot nu toe was deze keuze vooral gebaseerd op het verminderen van de milieubelasting die in de gebruiksfase door de chemicaliën in verduurzaamd hout veroorzaakt wordt en in mindere mate op het beperken van de milieubelasting in de bredere zin van het woord. Om een beter afgewogen keus te kunnen maken zijn in deze milieubeoordeling de milieuaspecten gedurende alle fasen van de levenscyclus meegenomen, vanaf de onttrekking van de grondstoffen tot en met de afvalwerking.

Het resultaat van de milieubeoordeling is een matrix waarin de beschoeiingsmaterialen in bepaalde milieuklasse worden ingedeeld. In deze matrix is aangegeven welke spreiding mogelijk is als gevolg van het hanteren van alternatieve uitgangspunten voor gebruiksduur, afvalverwerking, toerekening recycling en uitloging tijdens de gebruiksfase. Door deze spreiding overlappen sommige materialen elkaar en zijn de grenzen dus niet keihard.

De belangrijkste conclusies zijn:

- > Met creosoot verduurzaamd grenen vertoont qua milieubelasting het minst gunstige beeld.
- > Van de overige materialen blijken Azobé, glasvezelversterkt cement (GVC) en gerecycled kunststof het meest gunstig te scoren, gevolgd door CuCr verduurzaamd grenen, grenen verduurzaamd volgens het Plato-procédé en Pseudo Acacia (Robinia). Onverduurzaamd eiken en grenen, grenen met koper, chroom en arseen verduurzaamd (CCA) en houtvezelcement vormen een tussengroep. Deze voorkeur is zeker niet eenduidig gezien de onzekerheden in de aannames en uitgangspunten.

Rijs- of griendhout

Betuiningen van gevlochten wilgentenen worden van oudsher gebruikt in het veengebied, maar ook in beken in buitenbochten om erosie te verminderen. Griendhout kan ook in de oevers van boezemwateren worden gebruikt om erosiegaten in een rietoever te vullen. De levensduur is beperkt tot enige jaren indien ze rond de waterlijn worden toegepast. Onder water is de levensduur zeker twee keer zo groot.

Bundels bij elkaar gebonden wilgentenen (wiepen) worden wel gebruikt om oevers van beken op zandgronden te verdedigen. Na verloop van tijd vergaan deze wiepen. Daarna kunnen boomwortels (zwarte els) de verdedigingsfunctie overnemen.

Europees naaldhout

Hieronder wordt verstaan de houtsoorten vuren, den en grenen. Deze soorten vallen in de duurzaamheidsklasse III/IV. In de praktijk is de levensduur circa 10 jaar. Bij de bepaling van de functionele levensduur van de constructie is het dus zaak hier rekening mee te houden. Met behulp van de vacuüm methode kunnen deze houtsoorten worden verduurzaamd tot klasse I met een mogelijke levensduur tot 25 jaar. Het nadeel hiervan is het uitloggen van de gebruikte conserveringsmiddelen. Voor toepassing van dit verduurzaamde hout kan de waterbeheerder een vergunning in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlakte wateren eisen. Houten planken van Europees naaldhout kunnen alleen gebruikt worden voor langdurige toepassing als beschoeiing op de waterlijn als ze zijn verduurzaamd. Beter is het een constructie te maken waarbij verduurzamen niet noodzakelijk is, door bijvoorbeeld alleen hout onder water toe te passen, of er rekening mee te houden dat de constructie vaker vervangen moet worden. Wanneer het hout geheel onder de grond zit is de levensduur veelal 20 tot 50 jaar. Combinaties met breuksteen tot op de waterlijn zijn beter dan een verduurzaamde beschoeiing tot boven de waterlijn.

Als tijdelijke betuining van oevers waar de vegetatie uiteindelijk de oeververdediging moet overnemen is een lichte betuining van niet verduurzaamd hout aan te bevelen.

Hardhout

Indien voor de constructie hout met een hogere weerstand tegen schimmelaantasting gewenst is, kan hardhout (= loofhout) worden toegepast. Diverse hardhoutsoorten hebben een langere levensduur dan naaldhout, zonder dat gebruikt gemaakt hoeft te worden van verduurzamingsmiddelen. Bij in Europa gegroeid loofhout geldt dit onder andere voor Robinia (duurzaamheidsklasse II/III), Tanne kastanje (klasse II) en Europees eiken (klasse II/III).

Daarnaast bestaan vele, ook vaak onbekende, tropische hardhoutsoorten die in beschoeiingen een lange levensduur hebben (klasse I/II). Van groot belang hierbij is dat het hout afkomstig is uit verantwoord beheerd bos. Dit kan voorlopig alleen worden gegarandeerd door hout toe te passen met een certificaat van de Forest Stewardship Council, of een Stichting Keurhout-keur.

Andere materialen

Voor gerecycled plastic, gerecycled glasvezel, etc. geldt hetzelfde natuurbezwaaar als voor andere beschoeiingmaterialen. Deze materialen logen waarschijnlijk niet uit en zijn daarom minder milieubelastend dan verduurzaamd Europees hout. De productie kan echter wel milieubelastend zijn. Ook bij vervanging ontstaat een afvalprobleem dat beter voorkomen had kunnen worden. In constructief opzicht kan de toepassing van deze materialen ook problemen geven. Daar tegen over staat dat sommige van deze materialen zich uitstekend lenen voor tijdelijk toepassingen en hergebruik.

Taludverdedigingen

Op sommige plaatsen kan de stroming meer dan 0,50 m/s bedragen, bijvoorbeeld in buitenbochten van waterlopen. Indien dit een te sterke erosie veroorzaakt, kan een taludbescherming worden aangebracht. Hiervoor komen doorgroeiconstructies in aanmerking. Deze worden beschreven in § 3.5.

4.1.4 IJSBELASTING

De gevolgen van vorst en ijsgang in kleine wateren zijn over het algemeen beperkt. Fenomenen die optreden zijn:

- > Ijsschotsen in stromende wateren leiden tot slijtage van betuiningen, beschoeiingen en andere (veelal houten) constructies in het watervoerend bed.
- > Indien na een periode van veel neerslag plotseling de vorst invalt kunnen als gevolg van bevrozing van uittredend water, waterdichte taluds ontstaan. Vooral in veengebieden kan dit tot gevolg hebben dat hele stukken bevroren veen uit het talud gedrukt worden. Deze schade wordt versterkt door het jaarlijks verwijderen van de begroeiing op de oever in het kader van het opschonen van de sloten en door een snelle verlaging van de waterstand tijdens en na de vorstival.
- > Indien tijdens een hoge waterstand plotseling de vorst intreedt, kan het ijsdek bij de daarop volgende waterstandsval hele stukken begroeide oever met grond en al meetrokken naar dieper water.

Het eerste punt is bij een bepaalde situatie min of meer een gegeven. Indien uitzonderlijk veel last van dit fenomeen wordt ondervonden kan de verticale verdediging mogelijk worden vervangen door bijvoorbeeld een taludoplossing met breuksteen.

De schade als genoemd onder het tweede punt kan door aanpassen van het onderhoud van de oever (oeverbegroeiing intact laten bij het opschonen van de taluds) en tijdelijke aanpassing van het peilbeheer worden verminderd dan wel worden voorkomen.

Ook voor het derde punt kan aanpassing van het peilbeheer de schade verminderen dan wel voorkomen. Overigens zorgen hogere waterstanden in de winter ervoor dat de oever tijdelijk onder water verdwijnt, waardoor de oever in die periode beduidend minder gevolgen ondervindt van erosieve krachten als golven en ijs.

4.2 RIVIEREN

4.2.1 INLEIDING

Door het complexe samenspel van verschillende water- en sedimentbewegingen is het erg lastig hydraulische belastingen op de oever van een rivier of beek te kwantificeren en daarop onderdelen van de oeververdediging te ontwerpen. De kennis van de water- en sedimentbewegingen is groeiende, doch is voor het ontwerpen op de wijze zoals bij kanalen nog ontoereikend. De behandeling van natuurvriendelijke oplossingen voor rivier- en beekoevers zal daarom voornamelijk beschrijvend van aard zijn. Waar mogelijk zal kwantitatieve informatie worden gegeven.

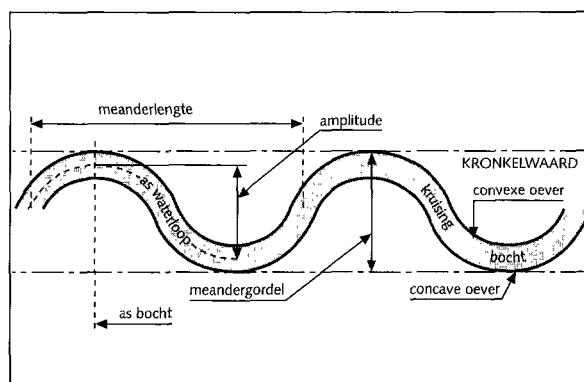
4.2.2 RIVIER OF BEEK ZIJN GANG LATEN GAAN

Bedoeld wordt het dynamisch proces van erosie en sedimentatie niet te verstoren, mits sprake is van een soort evenwicht. Geringe mate van erosie is eventueel toelaatbaar. Soms is een bepaalde vorm of graad van erosie typisch voor het bestaande riviersysteem (steilranden, diepe kribvakken, terugwijkende oever).

Op druk bevaren rivieren kunnen de scheepsgeïnduceerde belastingen overheersend zijn en zal toch ingegrepen moeten worden.

Bij beken zou een gedoogzone voor vrije meandering toegestaan kunnen worden (zie afbeelding 34). Volgens (Breusers, 1991) is de breedte van de zone waarbinnen een beek vrij meandert 18 tot 30 keer die breedte van

de beek, waarbij deze nog net niet buiten zijn oevers treedt. Wanneer onvoldoende ruimte is voor volledig vrije meandering kan een gedoogzone met een geringere breedte worden aangehouden, die zich bijvoorbeeld over een breedte van minimaal vijf keer de waterbreedte aan weerszijden van de beek uitstrekt. De consequentie hiervan is, dat langs de begrenzingen van deze beperkte meanderzone maatregelen moeten worden getroffen om de beek hierbinnen te houden. Te denken valt aan het aanbrengen van doorgroeiconstructies met breuksteen of grind, of het aanleggen van kleine kribben van lichte breuksteen.



Afbeelding 34

Definitieschets.

Uit een literatuurstudie is gebleken dat de volgende kwalitatieve uitspraken over meandering kunnen worden gedaan. (Bouwknicht, 1995):

- > meandering treedt op bij:
 - regelmatige afvoer;
 - gering verhang;
 - fijn bodemmateriaal.
- > een groot debiet geeft:
 - grote meanderlengte;
 - brede meandergordel.
- > een grote afvoervariatie geeft een smalle rivier;
- > "hoe samenhangender het bodemmateriaal hoe smaller de rivier";
- > scherpe bochten komen voor in fijn materiaal;
- > de snelheid van stroomafwaartse verplaatsing van een meander (migratie) is maximaal indien bochtstraal/breedte ≈ 3 ;
- > een rivier is niet recht over een afstand groter dan $10 \times$ de breedte;
- > de diepte neemt toe als de bochtstraal kleiner wordt;
- > de meandering wordt onderdrukt bij grote verhangen.

4.2.3 VERDEDIGING MET KRIBBEN EN KRIBVAKKEN

Kribben zijn in de loop der jaren een algemeen aanvaard en gewaardeerd onderdeel van de rivieren geworden, passend in het rivierlandschap. Kribben fungeren als harde oplegpunten die de stroming in de geul concentreren en als zodanig van de oever af houden. De bodem van een kribvak kan eveneens in een dynamische evenwichtsituatie verkeren en hoeft in dat geval dus niet verdedigd te worden. In het benedenrivieren gebied kunnen rietzoneplanten een belangrijke bijdrage leveren aan de instandhouding van de

kribvakbodem en -oever. In het bovenrivierengebied waar sprake kan zijn van waterstandsverhogingen van meer dan twee meter gedurende langere tijd, kan deze vegetatie niet voorkomen. Wel kunnen wilgen een bijdrage leveren. Zie hiervoor § 3.3.1.

Waterbeweging in kribvakken

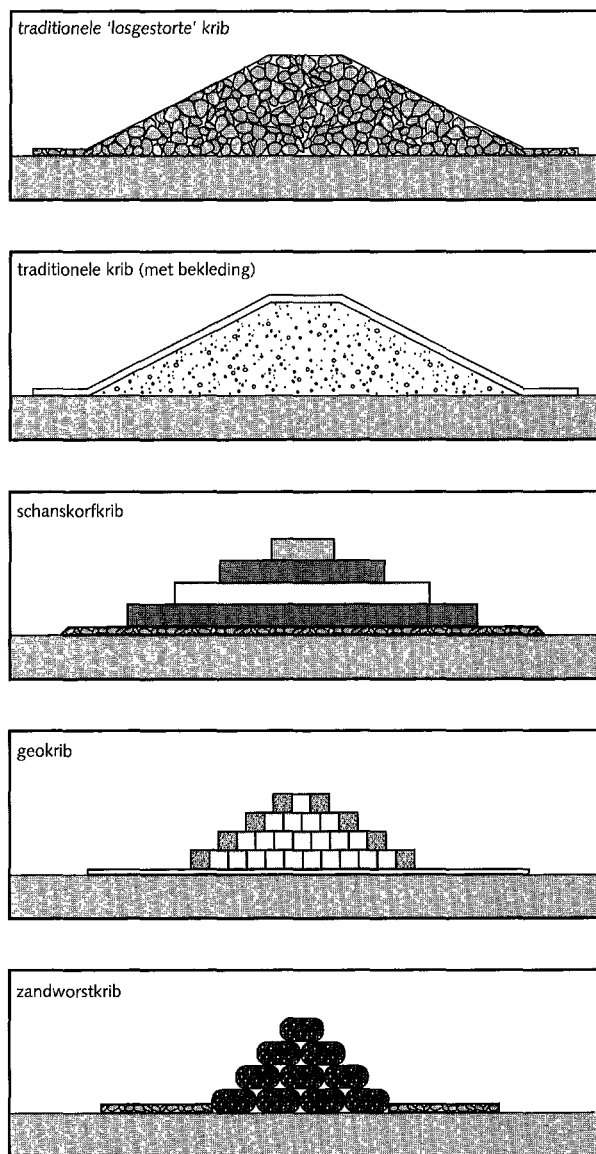
De waterbeweging in kribvakken betreffende golven en stroming is opgenomen in respectievelijk § 2.2.4 en § 2.3.2.

Kribben

Kribben zijn oorspronkelijk aangelegd met hun kop in de zomernormaallijn van een rivier. Ze zijn in Nederland meestal loodrecht op de stroomrichting geplaatst. Kribben kunnen diverse functies hebben die vaak samengaan: stroomgeleiding, oeverbescherming en verbeteren scheepvaartcondities. In het algemeen is een krib een onderdeel van een serie van kribben. Passerende schepen verstoren het stroombeeld rond en tussen de kribben en kunnen in combinatie met de scheepsgolven oevererosie in een kribvak veroorzaken. Direct benedenstreams van de kribkop veroorzaakt de wervelstraat (zie Afbeelding 13a) aanzienlijke ontgrondingen. Daarom zal de kribkop onder water regelmatig met breuksteen moeten worden bijgestort. Over dit onderhoud en de instandhouding van kribben in het algemeen met het oog op een goed functioneren, is in (Verheij, 1997) een aantal aanbevelingen gegeven. Gelet is op de gevolgen van achterloopsheid, verlaging kribhoogte, kribkopversteiling en -afschuiving, kribverlenging en aanpassing (verkleining) van de kribafstanden door te letten op de morfologische effecten in de vaargeul, één en ander in relatie tot de gevolgen voor de scheepvaart en de afvoercapaciteit. Tevens is een aantal alternatieve constructietypen gegeven voor de Nederlandse situatie (zie afbeelding 35).

De geo- en zandworstkrib zijn nogal kwetsbaar, zodat in die gevallen afdekking met een bekledingslaag aanbevolen wordt.

Voor de toe te passen bekledingstypen wordt naar de eerdere paragrafen in dit handboek verwezen. Bij het bepalen van de hydraulische belastingen moet ook acht worden geslagen op de situatie, waarbij de krib net overstroomd raakt en gaat fungeren als een overlaat. Met betrekking tot het waterstandsverloop op de rivier vanaf het moment dat de krib overstroomd raakt en de formules voor volkomen en onvolkomen overlaten, kan voor dat geval de maatgevende belasting worden vastgesteld.



Afbeelding 35

Alternatieve krib constructietypen.

4.2.4 (KRIBVAK) STREK DAMMEN

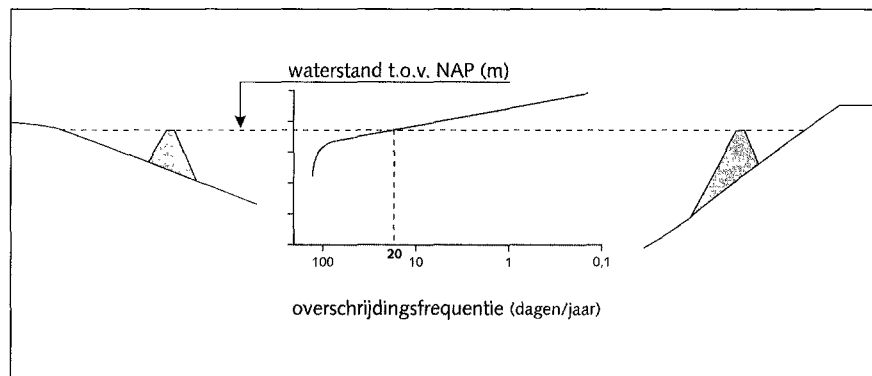
Strekdammen (langskribben) worden (zijn) als stroomgeleiding toegepast in buitenbochten, waar door de sterke stroom de kribben op een kleine afstand van elkaar zouden komen te liggen. Een strekdam, die dient als vervanging van kribben valt met de buitenlangszijde op de hoogte van de middelbare rivierstand (M.R.) in de zomernormaallijn van de rivier. Strekdammen kunnen tevens worden aangelegd c.q. fungeren als vooroeververdedigingen zoals bij meren en kanalen. De strekdammen blokkeren de waterbewegingen nabij de bodem, bijvoorbeeld de wervels in het kribvak of de (retour)stroming langs de gestrekte oever. Voorts reduceren ze de golfaanval op de achtergelegen oever.

Rivieren hebben een wisselend waterpeil, hetgeen de keuze van de lokatie en de hoogte van de strekdammen bemoeilijkt. In het bovenrivierengebied, waar grote waterstandsverschillen optreden, is het niet mogelijk om strekdammen aan te leggen die boven het gemiddeld rivierpeil effectief zijn. In het benedenrivierengebied zijn de waterstandsverschillen veel geringer, waardoor de toepassing van strekdammen wel goed mogelijk is. De hoogteligging van de kruin van de strekdam kan afgeleid worden uit het aantal dagen dat de aangelegde dam geheel onder water mag staan. Gedurende die periode heeft de dam een verminderde effectiviteit. Met verminderde effectiviteit wordt bedoeld dat inkomende golven nog maar voor 50 % of minder worden gereduceerd. Formules voor golftransmissie bij vooroeververdedigingen (zie § 3.5.4, hoogte vooroeverconstructies) die ook hier geldig zijn, geven aan dat in die situatie het waterpeil gelijk is aan het kruinniveau of hoger.

Wanneer de dam bijvoorbeeld achter gelegen rietzoneplanten moet beschermen, zou deze niet meer dan twintig dagen per jaar verminderd effectief mogen zijn. Gedurende die twintig dagen, die waarschijnlijk niet aaneengesloten zijn, verschaft de strekdam een beperkte bescherming aan de planten. De verwachting is dat de planten deze kortdurende periode van belasting kunnen doorstaan. De doorgaande golfhoogte mag dan echter niet meer zijn dan 0,25 tot 0,40 m, afhankelijk van de golfintensiteit. Is die meer dan zal de dam hoger moeten worden.

Bij deze norm ligt de kruin van de dam op de hoogte die overeenkomt met de waterstand die gedurende 20 dagen in het jaar wordt overschreden. Het bodemverloop en de gewenste breedte van het te beschermen gedeelte van de (voor)oever bepaalt de lokatie van de dam en daarmee de totale constructiehoogte.

In afbeelding 36 hieronder is het bovenstaande gevisualiseerd.



Afbeelding 36

Kruinhoogtebepaling van strekdammen langs rivieroevers.

Via deze redenering kan de strekdam enkele decimeters boven de aanwezige kribben uitsteken. Dit zal geen effect hebben op de rivierafvoer.

4.2.5 HYDRAULISCHE WEERSTAND UITERWAARDEN

In april 1996 is de beleidslijn "Ruimte voor de rivier" in werking getreden. Doel van deze beleidslijn is de afvoercapaciteit van de grote rivieren te waarborgen en de kombergingscapaciteit te vergroten. Hierdoor worden mens en dier beter tegen overstroming beschermd en wordt de kans op materiële schade beperkt.

In principe zullen op grond van de beleidslijn alleen die activiteiten in de rivier worden toegestaan die onlosmakkelijk aan de rivier gebonden zijn.

Bij het beoordelen van deze activiteiten is het van belang de invloed te weten op de hydraulische weerstand. Diverse onderzoekers geven methoden om de hydraulische weerstand van uiterwaarden te bepalen. Voor een overzicht wordt verwezen naar (Ruff, 1991). Recent is door Rijkswaterstaat een methode bepaald om de stroomsnelheid op basis van Chezy-waarden te berekenen voor uiterwaarden begroeid met oobossen.

De volgende formules worden hierbij gehanteerd (Rijkswaterstaat, 1991):

$$u = C_t (hi)^{0,5} \quad (59)$$

$$C_t^{-2} = C_g^{-2} + C_b^{-2} \quad (60)$$

$$C_b = \{2g / (N_b c_{we} D_b hc)\}^{0,5} \quad (61)$$

of als eerste benadering:

$$C_b = 14,95 h^{-0,357} \text{ voor } 2,0 < h < 4,0 \text{ meter} \quad (62)$$

waarin:

C_t = Chezy-waarde voor gras en bomen tezamen	(m ^{0,5} /s)
C_g = Chezy-waarde voor grasland	(m ^{0,5} /s)
C_b = Chezy-waarde voor bomen	(m ^{0,5} /s)
N_b = aantal bomen per m ²	(m ⁻²)
c_{we} = weerstandscoefficiënt voor stroming om stam	(-)
D_b = dikte stammen	(m)
h = waterdiepte	(m)
c = coëfficiënt afhankelijk van de vorm van het verticale snelheidsprofiel	(-)
u = gemiddelde stroomsnelheid	(m/s)
i = verhang	(-)
g = zwaartekrachtsversnelling	(m/s ²)

Voor de Chezy-waarde voor gras C_g kan een waarde 40 worden aangehouden en voor zand een waarde van 50. De coëfficiënt c_{we} heeft een waarde gelijk aan 1.

De coëfficiënt c is gelijk aan:

$$c = 0,4 + 1,2(H/h - 0,5) \text{ voor } H/h > 0,5; c \text{ is maximaal } 1,0 \quad (63)$$

waarin:

H = hoogte boom (m)

Bovenstaande set formules kan tevens worden gebruikt om de belasting op de bodem door de stroomsnelheid u te berekenen (zie bijvoorbeeld § 3.1.3.).

Wanneer men de bodem wil beschermen zonder de afvoer te verminderen dan moet de beplanting in rijen parallel aan de stroomrichting worden aangebracht.

In (Dorst, 1995) is de volgende indeling van bosvegetaties in uiterwaarden gemaakt:

	N_b (aantal/m ²)	D_b (m)
> Hardhoutooibos (volwassen)	0,020	0,50
> Zachthoutooibos (volwassen)	0,125	0,20
> Struweel / jong (wilgen)bos	2,100	0,05

4.2.6 WATERKERINGEN

De primaire waterkeringen langs de rivieren (ban- en schaar dijken) moeten voldoen aan de veiligheidsnorm, die is vastgelegd in de Wet op de waterkering (Wwk). Het beheer, onder meer afgestemd op de functie ecologie en leefmilieu, wordt gevoerd conform de aanbevelingen van de Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen ("Boertien I"). Voor het ontwerp en het onderhoud wordt verwezen naar de desbetreffende leidraden van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen en het Handboek Constructief Ontwerpen (zie ook § 3.6).

4.2.7 IJSBELASTING

Het effect van ijs op oevers in rivieren blijkt in de praktijk gering te zijn. Dit komt enerzijds omdat ijsvorming van enige omvang in rivieren niet zo vaak voorkomt en anderzijds omdat in geval van ijsvorming de schade aan oevers gering blijkt te zijn. Plotselinge inval van strenge vorst tijdens hoogwater kan wel enig effect hebben omdat daarbij door de daaropvolgende (snelle) waterstands daling oevervegetatie of delen van de oeverconstructie de rivier in kunnen worden getrokken. De waterstands daling treedt op omdat in een vorstperiode de aanvoer stagneert door vermindering van smeltwater en neerslag of omdat de stuwen in verband met de ijsvorming moeten worden gestreken. Echter ook dan blijkt de schade veelal beperkt te blijven tot het verplaatsen van breuksteen.

4.3 KANALEN

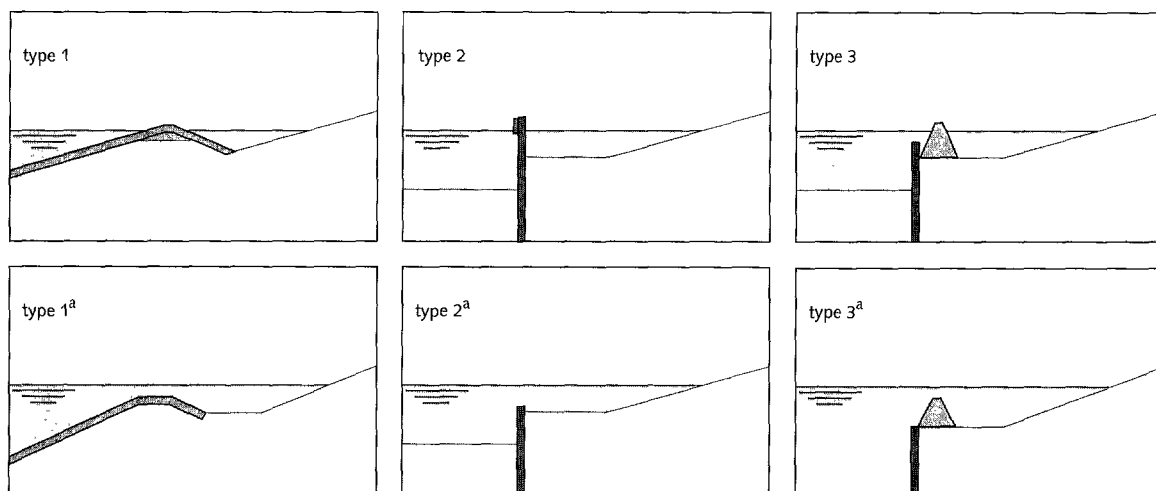
4.3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de verdedigingsalternatieven voor oevers langs kanalen besproken. Het accent ligt daarbij op varianten met een natte strook of plasberm.

De belastingen op de oevers worden in kanalen voornamelijk veroorzaakt door de scheepvaart. Deze belastingen zijn redelijk in te schatten met de rekenregels zoals die zijn vermeld in § 2.2. Met het computerprogramma DIPRO (§ 2.2.3) kunnen niet alleen de belastingen worden berekend maar kan ook de taludverdediging worden gedimensioneerd.

4.3.2 OEVER MET VOOROEVERVERDEDIGING

Bij een oever met een vooroeververdediging bestaat de oever uit een constructie met daarachter een ondiepe, moerasachtige natte strook waarna het natte talud overgaat in het bovenwatertalud. Een dergelijke oever kan op diverse manieren worden uitgevoerd. Afbeelding 37 geeft 3 basisvarianten weer. De diverse onderdelen van die varianten worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.



Afbeelding 37 Verdedigingsvarianten met natte strook.

Een vooroeververdediging heeft als taak de overmatige golf- en retourstroombelasting te reduceren tot een voor de natte strook daarachter acceptabel of gewenst niveau. Bovendien werkt een vooroeververdediging als een "zandvang", waardoor wordt voorkomen dat de daarachter gelegen oever door verstelling van het onderwatertalud wordt aangetast. De hierboven beschreven taak van de vooroeververdediging betekent dat die vooroeververdediging niet per definitie boven water hoeft te liggen. Als een kruinhoogte op of onder het kanaalpeil leidt tot de gewenste reductie van de belastingen kan daarmee worden volstaan. Het resultaat is een natuurlijker en aantrekkelijker oever met een kleinere niet zichtbare constructie die meer ruimte overlaat voor de natte strook. Bovendien leidt dit tot minder materiaalverbruik en wellicht lagere kosten. Ook wateruitwisseling en de passeerbaarheid voor fauna zijn geen knelpunten meer. Door de toegenomen dynamiek in de oever kan de onderhoudsinspanning, uitbaggeren van dichtgeslibte natte stroken en maaien van dichtgegroeide natte stroken, mogelijk verminderen. Ten behoeve van de veiligheid voor de scheepvaart zullen wel maatregelen genomen moeten worden om te wijzen op de aanwezigheid van de onder waterconstructie.

De verdedigende constructie

Belangrijke onderdelen zijn het constructietype of -materiaal, de hoogteligging van de kruin ten opzichte van het kanaalpeil en de openingen in de constructie ten behoeve van wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal.

Type 1; Taludvarianten

- > Bij de variant met een taludverdediging kan de constructie bestaan uit breuksteen, blokkenmatten of schanskorfmattressen. De benodigde zwaarte hiervoor kan berekend worden met de formules gegeven in § 3.1.7.
- > Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de hoogte van de kruin van de vooroeververdediging ten opzichte van het kanaalpeil. Bepalende factoren zijn het kanaalpeil zelf, opwaaiing, de inkomende golfhoogte en de waterdiepte ter plaatse van de vooroeververdediging. Uitgangspunt bij de

kuinhoogtebepaling is de toegestane of gewenste golfhoogte achter de dam. Hier wordt eerst een eenvoudige rekenregel gegeven voor dammen van breuksteen en daarna een nauwkeuriger regel die ook meer constructietypen beschrijft.

De hierna genoemde rekenregels zijn ook geschikt voor negatieve kuinhoogtes (tot $h_d/H_i = -2$). De kuinhoogte is negatief als de kuin zich onder water bevindt.

Eenvoudige regel voor breukstenen dammen

De dam bestaat uit breuksteen en is homogeen (één soort steen voor de gehele dam) of bestaat uit een kern van fijner materiaal, daarna eventueel een onderlaag en een afdeklag van zwaardere breuksteen die bestand is tegen de golfaanval. De taludhelling mag niet flauwer zijn dan 1:2,5.

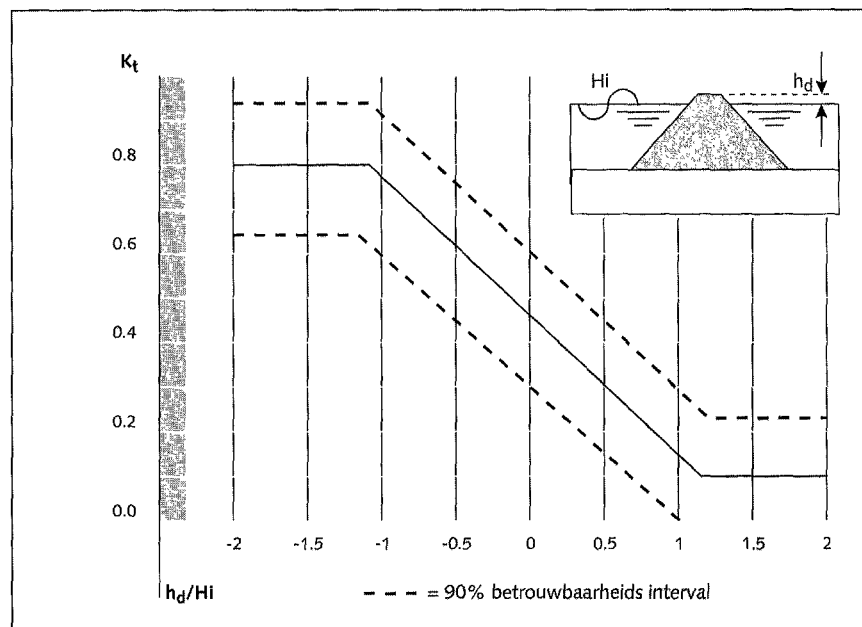
$$K_t = 0,80 \quad -2,0 < h_d/H_i \leq -1,13 \quad (64)$$

$$K_t = 0,46 - 0,3 h_d/H_i \quad -1,13 < h_d/H_i \leq 1,2 \quad (65)$$

$$K_t = 0,10 \quad 1,2 < h_d/H_i < 2,0 \quad (66)$$

waarin:

- $K_t = H_t/H_i$, transmissie-coëfficiënt (-)
- $H_t =$ doorgelaten golfhoogte (m)
- $H_i =$ maatgevende inkomende golfhoogte bij de teen van de dam (m)
- $h_d =$ constructiehoogte t.o.v. waterpeil (m)



Afbeelding 38

Golftransmissie bij een doorlatende breukstenen dam.

Nevenstaande relaties zijn weergegeven in afbeelding 38. De lijn in de grafiek geeft bovenstaande relaties weer. Om deze lijn heen is een band (90% betrouwbaarheid) getekend, die de ruime spreiding aangeeft in het berekeningsresultaat. Deze band is gebaseerd op een groot aantal onderzoeksresultaten (Van der Meer, 1993). De nauwkeurigheid van bovenstaande relaties is niet groot, maar er wordt wel snel een indicatie gevonden voor de benodigde kruinhoogte.

Nauwkeuriger regels voor meerdere typen dammen

De hierboven vermelde eenvoudige benadering voor de kruinhoogtebepaling houdt geen rekening met de invloed van de kruinbreedte, de golfperiode en de taludhelling op de doorgelaten golfhoogte. In de hierna genoemde rekenregels worden die invloeden wel meegenomen en wordt ook rekening gehouden met het constructietype van de dam. Deze constructietypen zijn:

- > breuksteen en betonnen elementen (kubussen, tetrapods, accropode);
- > gladde dichte dam (asfalt);
- > gezette dichte steen;
- > blokkenmatten;
- > schanskorven.

De achtergrond van de regel is beschreven door d'Angremond et al (d'Angremond et al, 1996). De basis van de regel is vrijwel gelijk aan (65).

$$K_t = a - 0,4h_d/H_i \quad (67)$$

met een maximum $K_t = 0,80$ en een minimum $K_t = 0,075$

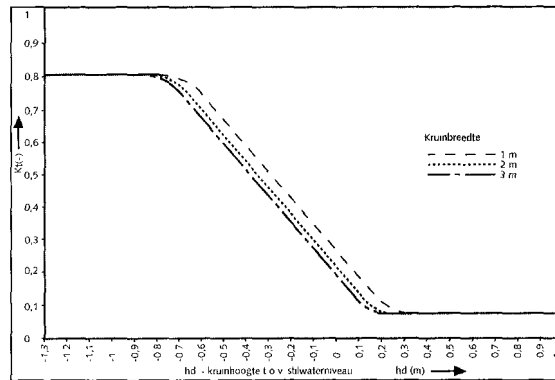
De parameter a die alle invloeden beschrijft, is:

$$a = (B/H_i)^{-0,31} (1 - e^{-0,5\xi})A_{dam} \quad (68)$$

waarin:

B	= de breedte van de kruin	(m)
ξ	= brekerparameter $\xi = T(2\pi H_i/g)^{-0,5} \tan \alpha$	(-)
α	= taludhoek	(°)
T	= piekperiode van de inkomende golven	(s)
A_{dam}	= een factor die het type dam aangeeft:	(-)
	breuksteen en betonnen elementen	$A_{dam} = 0,64$
	een gladde dichte dam (asfalt)	$A_{dam} = 0,80$
	gezette dichte steen	$A_{dam} = 0,80$
	blokkenmatten	$A_{dam} = 0,75$
	schanskorven	$A_{dam} = 0,70$

Een bredere kruin, een ruwer talud en een opener talud geven een lagere doorgelaten golfhoogte. Bij gelijkblijvende doorgelaten golfhoogte kan de kruinhoogte dus verlaagd worden als de breedte of de ruwheid toeneemt (zie afbeelding 39).



Afbeelding 39

Golftransmissie breukstenen dam als functie van hoogte en breedte van de dam.

> De wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal kan plaatsvinden via de holle ruimten tussen de stenen bij een breuksteen taludverdediging, via verlagingen in de taludverdediging of via buizen die de bodem van de natte strook verbinden met het kanaal.

Zeker bij een bekleding met grove breuksteen kan water via de holle ruimten tussen de stenen vanuit de natte strook naar het kanaal stromen en vice versa. De holle ruimten zijn echter te klein om vissen door te laten.

Verlagingen hebben als nadeel dat ter plekke de inkomende golven minder worden tegengehouden.

Dat betekent dat er achter deze verlagingen een kleinere kans op vestiging van vegetatie bestaat en dat het achtergelegen talud eventueel verdedigd zal moeten worden.

Met buizen wordt het probleem van golfdoordringing vermeden. Door de buizen in de natte strook te voorzien van een T-stuk wordt tevens de inkomende stroming van het achtergelegen talud afgeleid.

De buizen moeten een diameter hebben van minstens 0,4 m, om vissen door te laten tot de natte strook. Bij vooroeververdedigingen met een kruin die onder het kanaalpeil ligt is wateruitwisseling uiteraard geen punt van overweging.

Wateruitwisseling tussen kanaal en natte strook komt verder op nog uitgebreid aan bod.

Type II; Varianten met een verticale constructie

> De verticale constructies kunnen bestaan uit houten, betonnen of stalen damwanden, houten golfschotten of palenrijen. Voor de berekening van de stabiliteit hiervan staan in § 3.8 enkele vuistregels. Verder wordt verwezen naar (CUR,1993). Opgemerkt wordt dat de aanwezigheid van de natte strook een vermindering van de belasting op de verticale constructie betekent. Immers, water geeft minder druk dan grond en de waterdruk is aan beide zijden gelijk.

> De hoogteligging van de bovenkant van de verticale verdediging kan op basis van de toegestane golfdoordringing in de natte strook met de volgende formule worden berekend.

$$K_t = \frac{H_t}{H_1} = 0,3(1,5 - h_d/H_1) \tag{69}$$

waarin:

K_t = golftransmissiecoëfficiënt	(-)
H_t = doorgelaten golfhoogte	(m)
H_i = maatgevende inkomende golfhoogte	(m)
h_d = aanleghoogte verticale verdediging boven kanaalpeil	(m)

Formule (69) geldt voor $0 < h_d/H_i < 1,25$.

- > Openingen voor wateruitwisseling (en eventueel fauna-uitstapplaatsen) worden verkregen door plaatselijke verlagingen van de verticale constructie. Deze hebben weer als nadeel de golfdoordringing, waartegen het achtergelegen talud eventueel beschermd moet worden. Openingen in de vorm van gaten, waarbij de bovenkant van de constructie dus gewoon doorloopt, zijn ook goed mogelijk. Deze hebben het voordeel dat de golfdoordringing ter plekke in belangrijke mate wordt verhinderd. Als fauna-uitstapplaats is dit type opening uiteraard ongeschikt.

Type III; Varianten met een verticale constructie, gecombineerd met een steenachtige verhoging

- > Het verticale deel van de constructie kan bestaan uit een houten, betonnen of stalen damwand, of een palenrij. De verhoging kan worden gevormd door een stapel breuksteen of een schanskorf. Bij deze oplossing kan de verticale constructie volledig onder water blijven, waardoor de toepassing van onverduurzaamde materialen (hout met name) mogelijk wordt. Verder zorgt de steenachtige verhoging voor demping van de invallende golven, waardoor de langdurig onrustige waterspiegel, die bij volledig verticale constructies optreedt vanwege reflecties, niet of minder voorkomt.
- > De ligging van de bovenkant van de steenachtige verhoging wordt op dezelfde manier als bij de taludvarianten bepaald. Omdat hier het voorliggende talud ontbreekt, moet de reductie voor scheve golfval hier niet worden toegepast.
- > Openingen ten behoeve van wateruitwisseling zijn bij deze variant alleen te realiseren via verlagingen of onderbrekingen van de steenachtige verhoging. Dit betekent dat het achtergelegen talud mogelijk tegen de doorgaande golven beschermd moet worden (zie 4.3.2 "Het achtergelegen talud").

De natte strook

De diepte, de breedte en het bodemverloop zijn belangrijke aandachtspunten bij het ontwerp van de natte strook. De waterdiepte in de natte strook hangt sterk af van de ecosysteem-onderdelen die worden nagestreefd en van de ruimte die beschikbaar is. In CUR-204 (1999) zijn relaties weergegeven tussen de afmetingen van de natte strook en de te creëren ecosysteem-onderdelen.

Wanneer weinig ruimte beschikbaar is dan is slechts een beperkt aantal ecosysteem-onderdelen mogelijk en moet dus rekening gehouden worden met een minder waardevol systeem. Een goed alternatief is in dat geval de oplossing met een (flauwer) talud en een doorgroeiconstructie.

Het maken van een bak, die wordt begrensd door een tamelijk steil talud aan de landzijde, moet worden afgeraden.

Uit metingen en berekeningen is gebleken dat tengevolge van de wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal nabij openingen of verlagingen momentane stroomsnelheden op kunnen treden van circa 1 à 1,5 m/s. De optredende snelheden zijn afhankelijk van de diepte van de opening in de vooroever-verdediging ten opzichte van het kanaalpeil, de breedte van de opening en de grootte van de spiegeldaling op het kanaal. Omdat de waterspiegeldaling in het kanaal altijd veel groter is dan die in de natte strook, is het verval over de opening naar het kanaal toe ook altijd groter dan andersom. Dit betekent dat de stroomsnelheden in de opening naar het kanaal toe altijd groter zijn dan naar binnen.

Deze snelheden zullen voor een belangrijk deel tot de bodem van de natte strook kunnen doordringen en erosie van het bodemmateriaal kunnen veroorzaken. Is de verdieping van de bodem die hiervan het gevolg is ongewenst, dan is het raadzaam de bodem van de strook ter plaatse van de opening of verlaging, te beschermen met bijvoorbeeld breuksteen van 30/60 mm.

Tussen twee openingen kan ook stroming in langsrichting van de natte strook plaatsvinden. Deze is echter een orde kleiner dan die in dwarsrichting. Met het programma PLONS zijn deze snelheden te berekenen en kan de eventueel benodigde bodemverdediging worden geoptimaliseerd.

Wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal

Een goede kwaliteit van het water is van vitaal belang voor het ecosysteem in de natte strook. Deze kwaliteit wordt verkregen door een regelmatige verversing van het water. Wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal zorgt voor deze verversing. De wateruitwisseling treedt met name op wanneer een schip de openingen in de verdedigingsconstructie van de natte strook passeert. Een passerend schip veroorzaakt een spiegeldaling. Deze spiegeldaling is gedurende de passagetijd van het schip aanwezig en zorgt voor een verval tussen natte strook en kanaal. Als gevolg hiervan vindt uitstroming plaats via de openingen. Tijdens de waterspiegeldaling wordt een volume water van de natte strook naar de vaarweg verplaatst. Dit volume is afhankelijk van de mate en duur van de spiegeldaling en van de afmetingen van de openingen en hun onderlinge afstand, de afvoereigenschappen van de openingen en het profiel van de natte strook.

De door het schip opgewekte haalgolf maakt een einde aan de spiegeldaling en veroorzaakt een *dusdanig* verval over de openingen, dat instroming plaatsvindt. Hierbij kunnen snelheden aan de bodem en het talud van de strook optreden die mogelijk erosie veroorzaken.

Een andere oorzaak van wateruitwisseling is de fluctuatie van het waterniveau in het kanaal als gevolg van allerlei waterstandsvariaties zoals translatiegolven ten gevolge van schutten of door andere lange golfverschijnselen. Tenslotte dragen overslaande golven bij aan waterverversing.

De bijdrage van de scheepspassages aan de totale wateruitwisseling is te berekenen met het verderop behandelde rekenprogramma PLONS. Omdat de wateruitwisseling als gevolg van de reeds genoemde lange golfverschijnselen in verhouding tot de tijdsduur van de scheepspassages een vrij langdurig karakter heeft moet die zeker niet worden onderschat.

Bij een te grote of te frequente wateruitwisseling varieert de waterspiegel in de natte strook te veel of te vaak en treden er *dusdanig* grote stroomsnelheden op dat planten (en dieren) geen kans krijgen om zich te vestigen. Bovendien kan daarbij door het steeds weer opwerpen van slib het doorzicht sterk afnemen, hetgeen de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten niet ten goede komt. Bij te weinig uitwisseling verslechtert de waterkwaliteit (door temperatuurstijging, gevolgd door zuurstofafname), wat mogelijk tot overmatige algengroei (flab) leidt en in de zomer mogelijk tot botulisme.

Een criterium voor de gewenste wateruitwisseling is het percentage van het in de natte strook aanwezige volume aan water, dat per passage van een karakteristiek, geladen schip, uit de natte strook het kanaal in stroomt.

Mede gelet op de wateruitwisseling als gevolg van continue kleine waterstandsvariaties zou bij druk bevaren kanalen dit percentage 1 à 2 moeten zijn. Bij kanalen met een lage scheepvaartintensiteit is 5 % een na te streven percentage. Bij zeer lage vooroeververdedigingen wordt de bijdrage van golfoverslag steeds belangrijker. Bij onder water gelegen vooroeverconstructies speelt de bepaling van het wateruitwisselingspercentage in het geheel niet meer.

PLONS

Door Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde is een programma ontwikkeld waarmee aan de hand van een spiegel­daling van bekende omvang en duur, een aangenomen geometrie van de openingen in de verdediging en een bekend profiel van de natte strook, het percentage uitgewisseld water per scheepspassage tussen kanaal en natte strook kan worden berekend. Met dat programma met de naam PLONS (Positionering en Lengteverdeling van Openingen in een Natte Strook verdediging) kan een optimale configuratie van de openingen in de verdedigingen worden vastgesteld. Het programma kan de wateruitwisseling door poreuze breukstenen dammen, dichte vooroeververdedigingen met buizen of verlagingen en verticale verdedigingen met gaten berekenen. Het programma stelt tevens de stroomsnelheden en de waterspiegel­daling vast, die in de natte strook optreden tijdens het proces van uitwisseling. PLONS is een ééndimensionaal model, waardoor het alleen geschikt is voor natte stroken tot circa 10 m breed. Voor bredere stroken is het gebruik van een twee-dimensionaal model, zoals WAQUA noodzakelijk.

PLONS is samen met dit handboek op bijgaande floppy disks geleverd. Op de floppy disks treft u tevens de handleiding aan. U wordt verwezen naar paragraaf 1.1 van de handleiding PLONS met betrekking tot de verantwoordelijkheden en aansprakelijkheden bij het gebruik van dit computerprogramma.

Het achter gelegen talud

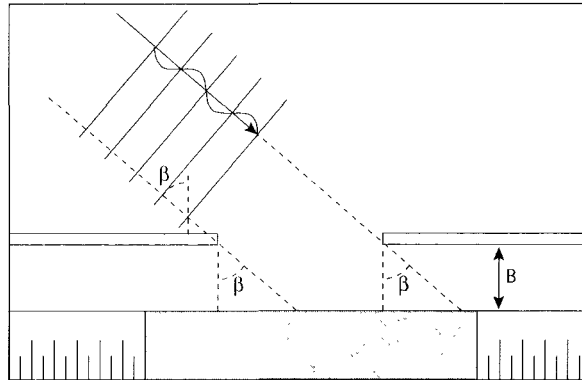
In de meeste gevallen kan dit talud onverdedigd blijven, omdat de aanwezige vooroeverconstructie en de begroeiing in de natte strook en op het talud voor een afdoende bescherming zorgen. In situaties waarbij het talud is opgebouwd uit makkelijk erodeerbaar materiaal en waar oeverbescher­mende planten nog niet ontwikkeld zijn, is het verstandig om de vestiging van planten op het talud te verzekeren door een tijdelijke bescherming aan te brengen, bijvoorbeeld in de vorm van geotextielen van natuurlijke vezels. Dit geeft ook een goede bescherming van het bovenwater talud tegen erosie door afstromend regenwater.

Ter plaatse van de openingen zal mogelijk een extra, permanente bescherming nodig zijn. Op die plaatsen is golf- of stroomaanval mogelijk.

Golfaanval treedt op bij verlagingen in de verdedigingsconstructie. Schuin invallende scheepsgolven belasten dan het gedeelte van het talud pal tegenover de verlaging plus gedeel­ten aan weerszijden daarvan. Uit onderstaande tekening is af te leiden dat ter weerszijden van de opening een lengte gelijk aan de breedte van de natte strook op de waterlijn (B) keer $\tan(\beta)$ door de golven wordt belast. (Voor scheepsgolven geldt $\beta = 55^\circ$, $\tan(55^\circ) = 1,4$). Het is verstandig om aan beide kanten de verdediging nog een halve meter extra door te laten lopen, omdat bij de randen van de opening nog golfdiffractie op kan treden. In totaal wordt de te verdedigen talud­lengte bij elke verlaging:

Breedte van de opening + 2 x Breedte natte strook op de waterlijn x 1,4 + 1,0 meter

(70)



Afbeelding 40

Taludverdediging achter een verlagings in de verdedigingsconstructie langs een natte strook (bovenaanzicht).

De taludbescherming kan bestaan uit een verdediging van lichte breuksteen, een blokkenmat, schanskorfmatras of eventueel grind. Deze hoeft niet al te zwaar uitgevoerd te zijn, omdat de doorgelaten golf toch nog enigszins wordt gereduceerd door het gedeelte van de constructie onder de verlagings en nooit veel hoger kan worden dan circa 60% van de inkomende golf.

Stroomaanval treedt bij elk type opening op, geconcentreerd en loodrecht op het talud achter de opening/verlagings. Alleen bij het gebruik van buizen met een T-stuk wordt het talud niet aangevallen. Zoals reeds vermeld, kunnen in de openingen stroomsnelheden optreden tot circa 1,5 m/s. Het verdient aanbeveling om voor de dimensionering van een taludbescherming tegen stroomaanval met een dergelijke snelheid rekening te houden.

Achter openingen in een damwand waarbij de bovenkant doorloopt en er dus sprake is van een beperkte golfdoordringing, hoeft het talud slechts over een lengte van twee keer de openingsbreedte en alleen onder water beschermd te worden.

4.3.3 IJSBELASTING

De gevolgen van vorst en ijsgang in kanalen zijn over het algemeen beperkt. Fenomenen die optreden staan hieronder opgesomd.

- > Ijsschotsen in kanalen met stromend water of scheepvaart leiden tot slijtage van damwanden rond de waterlijn. De gevolgen zijn onder die omstandigheden een gegeven, het hoort erbij en het kan niet worden voorkomen.
- > Indien tijdens een hoge waterstand plotseling de vorst intreedt, kan het ijsdek bij de daarop volgende waterstandsvaling hele stukken begroeide oever met grond en al, of individuele stenen uit een steenbestorting meetrokken naar dieper water. Hier kan het peilbeheer een belangrijke rol spelen bij de omvang van de gevolgen.

- > Ijs dat zich heeft vastgehecht aan oeveronderdelen kan als gevolg van de door scheepvaart veroorzaakte krachten op dat ijs schade aanrichten. Zo kunnen individuele stenen worden verplaatst of lichte tijdelijke constructies worden weggedrukt.

In de praktijk blijkt dat over het algemeen de schade aan oevers als gevolg van ijs zodanig klein van omvang is dat geen behoefte bestaat de constructie hierop aan te passen of anderszins beheersmaatregelen te nemen. De eventuele schade wordt veelal in het kader van het vaste onderhoud gerepareerd.

4.4 MEREN

4.4.1 INLEIDING

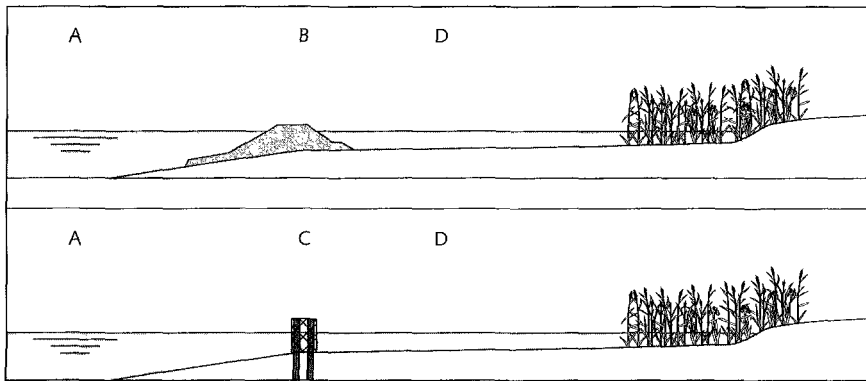
Kenmerkend voor meeroevers is een belasting die geconcentreerd plaatsvindt, dus op vrijwel telkens hetzelfde niveau (stagnant waterpeil). De belangrijkste belastingcomponent wordt bijna altijd gevormd door de windgolven. Alleen wanneer een scheepvaartgeul vlak langs de oever loopt, kunnen scheepsgeïnduceerde golven een rol spelen. Meestal zal de belasting van windgolven vanwege de grote strijklengten waarover de windgolven zich kunnen ontwikkelen belangrijker zijn. Bovendien zal het bij windgolven vanwege het langduriger karakter vaak om veel meer golven gaan. Per scheepspassage gaat het immers maar om circa een halve minuut dat er golven zijn, daarna is het er rustig.

In hoofdstuk 6 van CUR-200 (1999), "Zoete meren", zijn diverse verdedigingsmethoden behandeld, die voor een groot deel algemeen toepasbaar zijn, dat wil zeggen in meerdere typen wateren, zoals verdedigingen met vegetatie, tijdelijke beschermingen en doorgroeiconstructies. Voor deze verdedigingen wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

Een belangrijke verdedigingsvariant bij meren en plassen vormen vooroeververdedigingen. Deze worden in dit hoofdstuk uitgebreid behandeld.

De vooroeververdediging heeft als taak overmatige windgolfbelasting te reduceren tot een, voor het gebied en de oever daarachter, acceptabel of gewenst niveau. Bovendien voorkomt een vooroeververdediging verdieping van de vooroever als gevolg van erosie. Daardoor blijft de weerstand tegen oeverafslag als gevolg van versteiling van de vooroever op peil. De hierboven beschreven taak van de vooroeververdediging betekent dat die vooroeververdediging niet per definitie boven water hoeft te liggen. Als een kruinhoogte op of onder het streefpeil leidt tot de gewenste reductie van de belastingen kan daarmee worden volstaan. Het resultaat is een natuurlijker en aantrekkelijker oever, met een kleinere niet zichtbare constructie die daardoor minder ruimte in beslag neemt. Bovendien leidt dit tot minder materiaalverbruik en wellicht lagere kosten. Ook wateruitwisseling en de passeerbaarheid voor fauna zijn geen knelpunten meer. Door de toegenomen dynamiek in de oever kan de onderhoudsinspanning aan de oeverzone mogelijk verminderen. Mogelijk zullen er, afhankelijk van de situatie ter plaatse, ten behoeve van de veiligheid voor de beroeps- of recreatievaart maatregelen genomen moeten worden om te wijzen op de aanwezigheid van de onderwaterconstructie.

In afbeelding 41 is in twee principeschetsen aangegeven wat de belangrijke aspecten zijn bij vooroeververdedigingen.



- | A | B | C | D |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| > peilvariaties | > zwaarte elementen | > inheidiepte | > breedte vooroever |
| > golven | > doorlatendheid | > paaldiameter | > diepte vooroever |
| > waterdiepte | > hoogte van de kruin | > onderlinge afstand | > soort vegetatie |
| > stroming | > ondergrens | > vulling tussen palen | > breedte vegetatie |
| > grondparameters | > teenverdediging | > teen verdediging | > oeverlijn verdedigen |
| | > permanent of tijdelijk bestorting | > grondgesteldheid | > grondgesteldheid |
| | > grondgesteldheid | | |

Afbeelding 41

Relevante aspecten bij vooroeververdedigingen.

In dit hoofdstuk wordt met name ingegaan op de afstand tussen de vooroeververdediging en de oever zelf, de hoogte van de vooroeververdediging gerelateerd aan de gewenste mate van golfdemping, speciale voorzieningen in de vooroeververdediging en de diverse uitvoeringsvarianten en hun bijzonderheden.

4.4.2 DE AFSTAND TUSSEN DE VOOROEVERVERDEDIGING EN DE VASTE OEVER

Wanneer de noodzaak van een vooroeververdediging is vastgesteld, omdat de vaste oever erodeert of omdat vegetatie op de vooroever langzaam aan het verdwijnen is, kan onderstaande tabel worden gehanteerd. Hiermee is de maximale afstand tussen de vooroeververdediging en de vaste oever te bepalen, gemeten op de waterlijn, bij het peil waarbij de zwaarste golfaanval optreedt. De getallen in de tabel zijn gebaseerd op de mate waarin golfgroei tussen de vooroeververdediging en de vaste oever, onder invloed van de wind, nog toelaatbaar wordt geacht.

Tabel 6

De afstand tussen de vooroeververdediging en de oever afhankelijk van de vooroeverhelling.

vooroe- ver- helling	Afstand tussen vooroeververdediging en vaste oever [m]						opmerkingen
	vooroever zonder vegetatie			vooroever met vegetatie			
	strijklengte overheersende windrichting [m]			strijklengte overheersende windrichting [m]			
	0-500	500-1000	> 1000	0-500	500-1000	> 1000	
1:30	45	35	30	60	55	50	* geldig voor meren/plassen met een diepte tot 1,5 meter * golfreductie door verdediging is 70%
1:50	50	40	35	75	70	65	
1:100	60	50	45	100	90	85	

Overige opmerkingen bij de tabel:

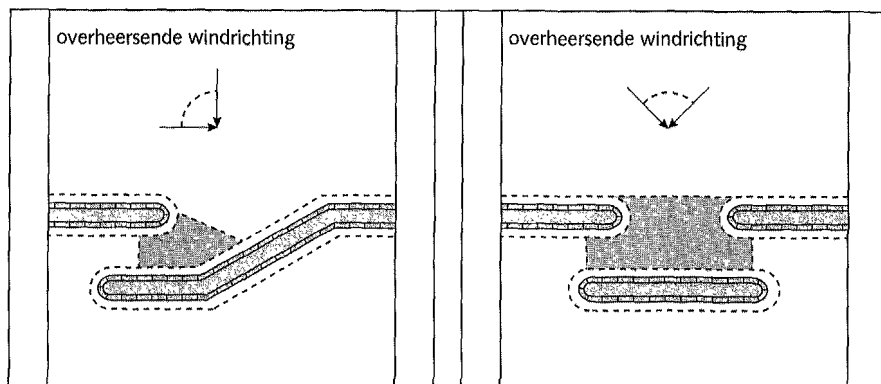
- > Voor grotere en/of diepere meren en plassen moeten afzonderlijke berekeningen worden gemaakt. Dit betreft dan met name de door de wind veroorzaakte golfaanval op de vooroeververdediging.
- > Studies in de afgesloten Zeeuwse zeearmen (Leeuwestein, 1988) hebben aangetoond dat de afstand tussen vooroeververdediging en vaste oever, in geval van een niet begroeide, zandige bodem, niet meer dan 80 meter moet bedragen. Bij een grotere afstand treedt ontoelaatbare erosie van de vaste oever op. Deze kan dan alleen verhinderd worden met aanvullende maatregelen.

4.4.3 EXTRA VOORZIENINGEN BIJ VOOROEVERVERDEDIGINGEN

Openingen

Indien de vooroeververdediging zich boven het meerpeil bevindt, is de wateruitwisseling tussen het meer c.q. de plas en de lagune achter de vooroeververdediging een belangrijk aspect. Daarom is het verstandig om verlagingen in de constructies aan te brengen. In het geval van peilwisselingen (door de wind of via het beheer), wordt het water in de lagunes verversd. Ter plaatse van de openingen moet op de een of andere manier worden gezorgd voor eenzelfde golftransmissie als bij de doorgaande verdediging. Dit kan via de hieronder getekende mogelijkheden. Overigens kan door diffractie van golven in de opening tussen twee dammen ook een aanzienlijke reductie van de inkomende golfhoogte optreden, zie (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991). Het is verstandig om de constructie tussen de openingen onder water door te laten lopen ter bescherming van de bodem tegen erosie door stroming.

Wateruitwisseling via de holle ruimten in een doorgaande constructie geeft waarschijnlijk onvoldoende verversing. Bovendien maken verlagingen doortrek van vissen mogelijk.

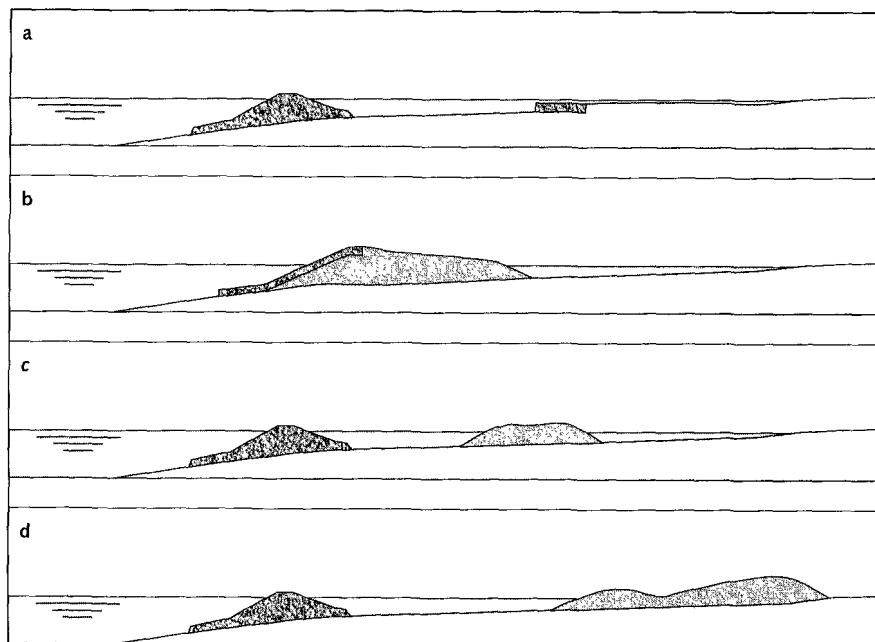


Afbeelding 43

Openingen met doorlopende bodembescherming in vooroeververdediging.

Maatregelen tussen vooroeververdediging en vaste oever

Bij grote afstanden tussen vooroeververdediging en vaste oever en de wens om een zo groot mogelijk deel van de ondiepe vooroever te beschermen tegen verdieping moeten aanvullende maatregelen worden getroffen. De te grote afstand tussen de oeverlijn en de vooroeververdediging kan op verschillende manieren worden verkleind (afbeelding 44):



Afbeelding 44

Extra voorzieningen tussen de vooroeververdediging en de vaste oever.

- > Het aanleggen van een zogenaamde zandvang tussen de vaste oever en de vooroeververdediging, bestaande uit een tot net onder de waterspiegel gelegen steenmatras die de opnieuw opgewekte golven breekt en eroderend zand vanuit de hoger gelegen oeverzone opvangt (a).
- > Het aanbrenge van zandopspuitingen (eilandjes) achter de vooroeververdediging. Dit kan op verschillende manieren:
 - aansluitend aan de vooroeververdediging tot een zogenaamde zanddam (b);
 - als losliggende eilandjes tussen de oeverlijn en de vooroeververdedigingen (c);
 - aansluitend aan de oeverlijn (d);
 - een combinatie van deze oplossingen zodat een gevariëerde oever ontstaat.

4.4.4 DE HOOGTE VAN DE KRUIN VAN DE VOOROEVERVERDEDIGING

Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de hoogte van de kruin van de vooroeververdediging ten opzichte van het meerpeil. Bepalende factoren zijn het meerpeil zelf, opwaaiing, de inkomende golfhoogte, de waterdiepte ter plaatse van de vooroeververdediging. Uitgangspunt bij de kruinhoogtebepaling is de toegestane of gewenste golfhoogte achter de dam. Hier wordt eerst een eenvoudige rekenregel gegeven voor dammen van breuksteen en daarna een nauwkeuriger regel die ook meer constructietypen beschrijft. De hierna genoemde rekenregels zijn ook geschikt voor negatieve kruinhoogtes (tot $h_d/H_i = -2$). De kruinhoogte is negatief als de kruin zich onder water bevindt.

Eenvoudige regel voor breukstenen dammen

De dam bestaat uit breuksteen en is homogeen (één soort steen voor de gehele dam) of bestaat uit een kern van fijner materiaal, daarna eventueel een onderlaag en een afdeklaag van zwaardere breuksteen die bestand is tegen de golfaanval. De taludhelling mag niet flauwer zijn dan 1:2,5.

$$K_t = 0,80 \quad -2,0 < h_d/H_i < -1,13 \quad (71)$$

$$K_t = 0,46 - 0,3 h_d/H_i \quad -1,13 < h_d/H_i < 1,2 \quad (72)$$

$$K_t = 0,10 \quad 1,2 < h_d/H_i < 2,0 \quad (73)$$

waarin:

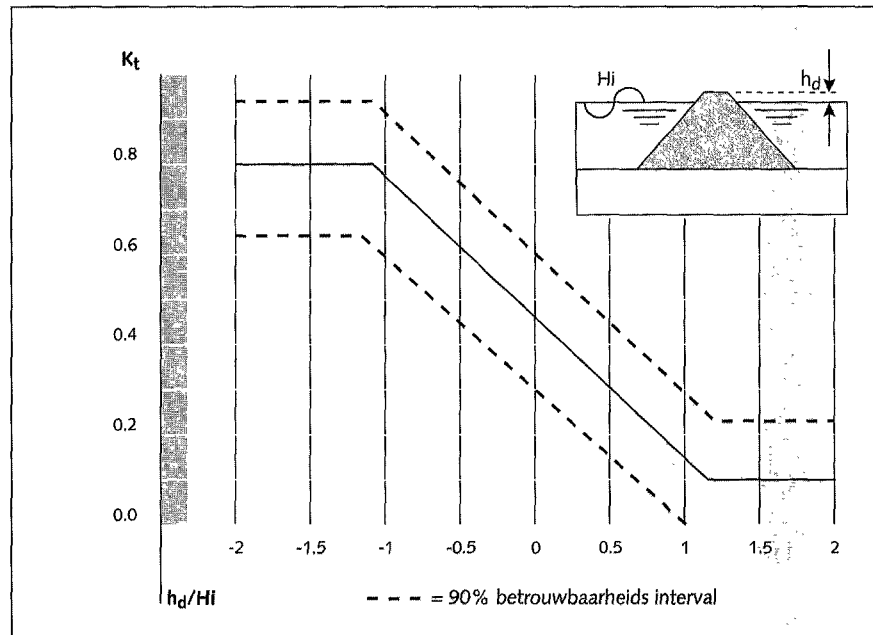
$$K_t = H_t/H_i, \text{ transmissie-coëfficiënt} \quad (-)$$

$$H_t = \text{doorgelaten golfhoogte} \quad (\text{m})$$

$$H_i = \text{maatgevende inkomende golfhoogte bij de teen van de dam} \quad (\text{m})$$

$$h_d = \text{constructiehoogte t.o.v. waterpeil} \quad (\text{m})$$

Bovenstaande relaties zijn weergegeven in afbeelding 45. De lijn in de grafiek geeft bovenstaande relaties weer. Om deze lijn heen is een band (90% betrouwbaarheid) getekend, die de ruime spreiding aangeeft in het berekeningsresultaat. Deze band is gebaseerd op een groot aantal onderzoeksresultaten (Van der Meer, 1993). De nauwkeurigheid van bovenstaande relaties is niet groot, maar er wordt wel snel een indicatie gevonden voor de benodigde kruinhoogte.



Afbeelding 45

Golftransmissie bij een breukstenen dam.

Nauwkeuriger regels voor meerdere typen dammen

De hierboven vermelde eenvoudige benadering voor de kruinhoogtebepaling houdt geen rekening met de invloed van de kruinbreedte, de golfperiode en de taludhelling op de doorgelaten golfhoogte. In de hierna genoemde rekenregels worden die invloeden wel meegenomen en wordt ook rekening gehouden met het constructietype van de dam. Deze constructietypen zijn:

- > breuksteen en betonnen elementen (kubussen, tetrapods, accropode);
- > gladde dichte dam (asfalt);
- > gezette dichte steen;
- > blokkenmatten;
- > schanskorven.

De achtergrond van de regel is beschreven door d'Angremond et al (d'Angremond et al, 1996). De basis van de regel is vrijwel gelijk aan (72).

$$K_t = a - 0,4h_d/H_i \tag{75}$$

met een maximum $K_t = 0,80$ en een minimum $K = 0,075$

De parameter a die alle invloeden beschrijft, is:

$$a = (B/H_i)^{-0,31} (1 - e^{-0,5\xi}) A_{dam} \tag{76}$$

waarin:

B = de breedte van de kruin (m)

ξ = brekerparameter $\xi = T(2\pi H_i/g)^{-0,5} \tan \alpha$ (-)

α = taludhoek (°)

T = piekperiode van de inkomende golven (s)

A_{dam} = een factor die het type dam aangeeft:

breuksteen en betonnen elementen $A_{dam} = 0,64$

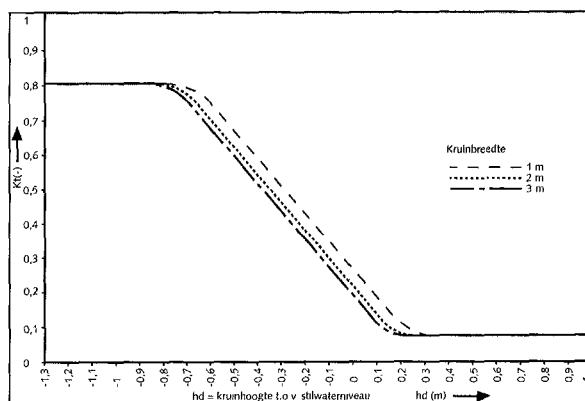
een gladde dichte dam (asfalt) $A_{dam} = 0,80$

gezette dichte steen $A_{dam} = 0,80$

blokkenmatten $A_{dam} = 0,75$

schanskorven $A_{dam} = 0,70$

Een bredere kruin, een ruwer talud en een opener talud geven een lagere doorgelaten golfhoogte. Bij gelijkblijvende doorgelaten golfhoogte kan de kruinhoogte dus verlaagd worden als de breedte of de ruwheid toeneemt. In afbeelding 46 is het resultaat van een voorbeeldberekening op basis van een significante golfhoogte van 0,5 m, een periode van 2,5 s, een taludhelling van 1:3 en een aantal kruinbreedtes weergegeven.



Afbeelding 46

Voorbeeld golftransmissieberekeningen voor $H_s = 0,5$ m; $T = 2,5$ s en taludhelling 1:3.

Enkele of dubbele palenrij

Voor een enkele palenrij kan de golfhoogte van de doorgaande golf worden berekend met (Grune/Kohlhase, 1974):

$$H_t/H_i = \sqrt{(1 - W^2)} \quad (77)$$

$$W = D/d \quad (78)$$

waarin:

H_t = doorgaande golfhoogte (m)

H_i = maatgevende inkomende golfhoogte (m)

D = paaldiameter (m)

d = hart-op-hart afstand tussen de palen (m)

Aangenomen wordt dat de palen een halve maatgevende inkomende golfhoogte boven het waterpeil uitsteken (ca. 10–30 cm).

Voor een dubbele palenrij, waarbij de rijen onderling verspringen, mogen de doorgaande golfhoogten berekend met bovenstaande formules (76) en (77) worden gereduceerd met:

15% voor $d/D = 1,1$

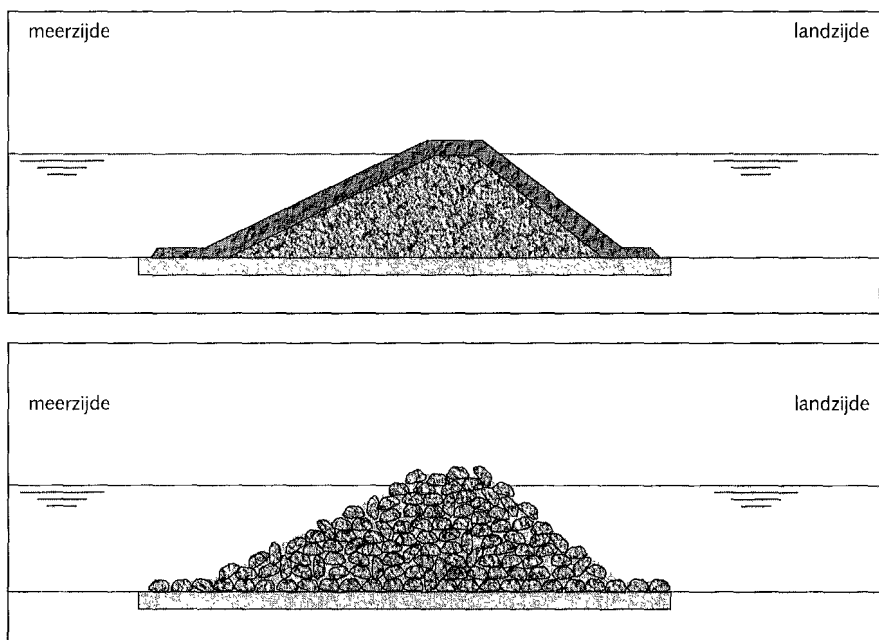
5 à 10% voor $d/D = 1,2$

Aanbevolen wordt om bij een eventuele opvulling van de ruimte tussen de palen uit te gaan van dezelfde mate van golfdemping als hierboven is aangegeven.

4.4.5 CONSTRUCTIEVE KENMERKEN VAN DIVERSE VARIANTEN

Breksteen vooroeververdediging

De mogelijkheden zijn hier een dam bestaande uit homogene stenen, of een dam opgebouwd uit een kern van fijn materiaal, afgedekt met een toplaag van breuksteen. Hieronder zijn beide varianten getekend.



Afbeelding 47

Vooroeververdediging in de vorm van een dam.

Beide varianten zijn geplaatst op een kraagstuk, dat aan de onderkant is voorzien van een geotextiel. Aan de meerzijde loopt de teen van de constructie ver door. Zo wordt erosie aan de teen verhinderd of ervoor gezorgd dat toch optredende erosie de constructie niet in gevaar brengt.

De dam bestaande uit homogene stenen heeft taludhellingen van 1:1,5 of flauwer. De variant met kern en toplaag heeft taluds van 1:3 of flauwer.

De benodigde steendiameters om een stabiele constructie te krijgen, kunnen berekend worden met de formules in § 3.7. Beter is het om de constructies te dimensioneren aan de hand van het computerprogramma BREAKWAT (Waterloopkundig Laboratorium, 1991b), dat speciaal voor dit type constructies is ontwikkeld.

Kern met schanskorfmattas of blokkenmat als toplaag

Dit type vertoont sterke overeenkomsten met de tweede variant bij de breuksteen vooroeververdedigingen. In plaats van uit losse breuksteen bestaat de toplaag nu uit een of meer schanskorfmattassen of blokkenmatten.

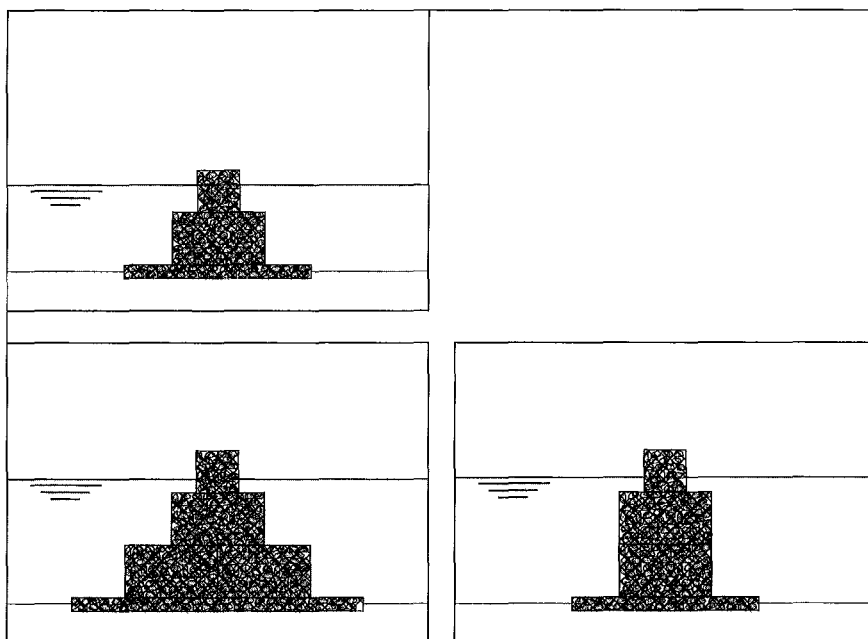
Omdat de toplaag samenhang vertoont door de aanwezigheid van gaas of kabels kan de minimale taludhelling wat kleiner zijn dan bij de vergelijkbare breuksteen variant, 1:2,5.

De teenconstructie aan de meerzijde wordt gevormd door een verder doorlopende matras of mat, aan de onderkant voorzien van een geotextiel.

De dikte van de matras of mat wordt via de rekenregels in § 3.5 verkregen.

Dam opgebouwd uit schanskorven

Een enkele schanskorf of een stapeling van (diverse) schanskorven kan eveneens een adequate vooroeververdediging opleveren. Hieronder zijn enkele varianten getekend.



Afbeelding 48

Diverse schanskorfstapelingen.

Erosie aan de teen van de constructie wordt verhinderd door de schanskorven op bijvoorbeeld een schanskorfmattas met een geotextiel eronder te plaatsen. Een kraagstuk met geotextiel, geballast met breuksteen, voldoet ook.

In § 3.9.3 staat beschreven hoe een schanskorf(stapeling) getoetst kan worden op het risico van kantelen onder maatgevende golfomstandigheden. Zo'n toets zal bij dit type vrijstaande vooroeververdediging altijd uitgevoerd moeten worden.

Palenrijen, al dan niet opgevuld

Voor de benodigde lengte van de palen kan de verhouding worden aangehouden, waarbij tweederde van de paal in de grond steekt en eenderde boven de grond zit. Op een waterdiepte van 1,0 meter en de lengte boven water van 0,30 meter (dus 1,30 meter zit boven de grond) is de benodigde paallengte dus 3,90 meter. Bij een enkele palenrij zijn afstanden van circa 2 tot 5 centimeter tussen de palen gebruikelijk. Wordt op die manier onvoldoende golfdemping verkregen dan kan een extra palenrij worden geplaatst. De afstand tussen de twee rijen palen bedraagt zo'n 0,20 tot 0,30 m.

Blijkt een dubbele palenrij nog niet voor voldoende golfdemping te zorgen dan kan de ruimte tussen de twee palenrijen opgevuld worden met vulmateriaal zoals wilgentenen, dennentakken, maar ook dikkere stammetjes hout, of korven met steenachtig materiaal (schoon puin, slakken, breuksteen of grind). Er kan dan met minder palen per strekkende meter worden volstaan. De vrijkomende palen kunnen elders worden hergebruikt.

Hoe geslotener de constructie wordt, des te groter is de kans op erosie aan de bodem, daar waar de palen de grond in gaan wegens toegenomen golfreflectie. Het aanbrengen van een brede sortering, kleinere stenen als bescherming en filterlaag (tout venant, bijvoorbeeld) kan dan uitkomst bieden.

4.4.6 IJSBELASTING

Schade door vorst en ijsgang in grote meren is over het algemeen beperkt van omvang en komt slechts weinig voor. Voor het IJsselmeer geldt bijvoorbeeld dat eventuele problemen nogal lokaal en incidenteel van aard zijn. De gevolgen laten zich grofweg in drie fenomenen opsplitsen:

- > Tijdens de vorstinval: Indien tijdens een hoge waterstand plotseling de vorst intreedt, kan het ijsdek bij de daarop volgende waterstandsval stukken begroeide oever met grond en al of individuele stenen uit een oeververdediging meetrokken naar dieper water. Als dit optreedt kan het overal in het watersysteem optreden. Het peilbeheer speelt een rol bij de omvang van de gevolgen.
- > Tijdens de vorstperiode: Bij harde wind kunnen door wrijvingsweerstand tussen lucht en ijs grote belastingen op de oever of (steiger)palen ontstaan waarbij schade kan ontstaan. Zo kunnen individuele stenen worden verplaatst of te lichte constructies worden weggedrukt of omgetrokken. Omdat tijdens een vorstperiode de wind doorgaans uit oostelijke richtingen komt zal de schade zich vooral aan de westelijke kant (lager wal) van het meer voordoen.
- > Aan het eind van de vorstperiode: Indien de dooi-inval gepaard gaat met harde wind kan kruierend ijs lokaal de oever(bescherming) beschadigen. Omdat een dooi-inval veelal gepaard gaat met westelijke winden zal de schade zich doorgaans beperken tot de oostelijke kant van het meer.

In de praktijk blijkt dat over het algemeen de schade aan oevers als gevolg van ijs zodanig klein van omvang is dat er geen behoefte bestaat de constructie hierop aan te passen of anderszins beheersmaatregelen te nemen. De eventuele schade wordt veelal in het kader van het vaste onderhoud gerepareerd.

4.5 GETIJDWATEREN

4.5.1 ALGEMEEN

Bij de getijdewateren vormen de oevers vaak een onderdeel van de waterkering en als zodanig vergt het geven van speelruimte aan natuurvriendelijke oplossingen de nodige aandacht. Omdat de functie veiligheid volgens de Wet op de waterkering moet zijn ingevuld, moet de stabiliteit van de waterkering gegarandeerd zijn. Vanwege het getij is de hydraulische belasting door golven en stromingen op de oevers van getijdewateren bijzonder complex. Het voorgaande leidt ertoe, dat voor de dimensionering van dit type oevers wordt verwezen naar leidraden en geavanceerde computerprogramma's, die absoluut onmisbaar zijn bij het maken van een goed ontwerp dat volledig afgestemd is op alle aan de waterkering toegekende functies. Deze leidraden zijn opgesteld door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). Het werkorgaan van de TAW is ondergebracht bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat. Relevant zijn de leidraden Zee- en Meerdijken (eind 1998), Grondslagen (1998), Rivierdijken deel 2 (1989) en Zandige Kust (1995) en de Handreikingen Ruimtelijk Ontwerpen en Constructief Ontwerpen (1994).

De randvoorwaarden waarop waterkeringen ontworpen dienen te worden staan verzameld in Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen voor de periode 1995-2000 (1996).

Enkele benodigde computerprogramma's zijn STEENZET, ANAMOS (beide TAW, DWW) en BREAKWAT (Waterloopkundig Laboratorium, 1991b). Informatie over zowel STEENZET als ANAMOS is verkrijgbaar bij het werkorgaan van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde te Delft.

In § 4.5.2 volgt enige informatie over "groene" dijken en in § 4.5.3 over de inrichting van niet-groene dijken, waarbij aangetekend wordt dat deze alleen een indicatie geven van de mogelijkheden om zo'n dijk in te richten of te bouwen. Om een definitieve keuze hiervoor te kunnen maken, moeten de genoemde leidraden worden geraadpleegd.

4.5.2 GROENE DIJKEN

Op plaatsen met enkele honderden meters breed voorland van voldoende hoogte met een maatgevende golfhoogte van ongeveer 1,5 m kan een groene (geheel met gras beklede) dijk worden gebouwd en gehandhaafd. De hoogte van het voorland moet aan zee minstens 0,50 m boven gemiddeld hoog water (GHW) zijn om nog verzekerd te kunnen zijn van voldoende (sterke) grasgroei; zoutminnende vegetatie zoals kwelderbegroeiing zal wellicht geen zode vormen die goed bestand is tegen golfaanval.

Het dijkprofiel heeft zich op de geschikte lokaties in de loop der eeuwen ontwikkeld door de daar toen voor de hand liggende praktische bouwwijze; daar geldt dit type dus als conventioneel. Als voorbeeld gelden Waddenzeedijken van Friesland, Duitsland en Denemarken. Tegenwoordig kan om esthetische redenen voor een groene en natuurlijk ogende dijk worden gekozen.

Voor het dimensioneren van de groene dijk gelden de volgende uitgangspunten:

- > de graszode begint op het peil van ongeveer $GHW + 1$ m;
- > de helling van het buitentalud is 1:3 of flauwer, afhankelijk van de mate van golfaanval, de dikte van de kleilaag in de golfaanvalzone is $> 1,5$ m, elders > 1 m;
- > het binnentalud bij voorkeur niet steiler nemen dan 1:3, de dikte van de kleilaag is $> 0,6$ m;
- > de kruinbreedte is $> 2,5$ à 3 m.

Uit het bovenstaande en de maatgevende hoogwaterstand (MHW) volgt de benodigde kruinhoogte. Een groene dijk is in het algemeen lager (en breder) dan een dijk met een harde bekleding, omdat het buitentalud flauwer verloopt. Dit reduceert de golfploop.

De aanleg kan goedkoper zijn (als er tenminste voldoende goede klei in de buurt is), maar het onderhoud vergt behoorlijk meer zorg dan bij een verharde dijk. Dit extra onderhoud ontstaat door de kwetsbaarheid van een grasmat vanwege het niet kunnen voorkomen van schapenpaadjes, door trekkersporen, mollengaten, vertrappingen door beweidingsvee, drijfhout en ander aanspoelsel, verdroging, recreanten enz.

Bij de groene dijk zorgt de grasbekleding op een dikke laag klei voor de bescherming van het dijklichaam. Aandachtspunten voor wat betreft het gras en de klei zijn:

- > lage beweidingsdruk;
- > maaifrequentie twee keer per jaar, plus afvoer van het maaisel;
- > regelmatig verwijderen van vloedmerk;
- > goed/matig erosiebestendige klei.

4.5.3 INRICHTEN VAN NIET-GROENE DIJKEN

Als de maatgevende golfhoogte groter dan 1,5 m is, dan zal de onderzijde van het buitenbeloop in het algemeen verhard moeten zijn tot minimaal het niveau van MHW plus 0,5 keer de golfhoogte. Dit is ook het geval bij een voorland van onvoldoende breedte of onvoldoende hoogte en een golfhoogte tussen 0,5 en 1,5 m. Bij onvoldoende voorland en zeer lage golven kan de steenbekleding worden beperkt tot een hoogte van ongeveer 1 m boven gemiddeld hoogwater; in dit geval spreekt men van een deels groene dijk.

Op Schiermonnikoog en Ameland zijn dergelijke groene dijken te zien. De dijk op Ameland, met een taludhelling van circa 1:7 en een kruinhoogte van circa NAP +6 m, heeft een verharding aan de onderzijde tot circa NAP +3,30 m.

Vanuit de overige functies dan "waterkeren" gelden eisen en wensen met betrekking tot het behoud van bepaalde elementen op of nabij de dijk en tot de architectuur van de dijk: de kruinbreedte, de vormgeving van de taluds, de bekleding en de bermen.

Een en ander zal, na afwegingen conform een beleidsanalytische aanpak, in veel gevallen leiden tot de aanpassing van het profiel. Uiteindelijk kan de afweging zelfs leiden tot een ander tracéverloop van de waterkering.

Een dijk vormt een harde scheiding tussen enerzijds het agrarische, gecultiveerde polderlandschap en anderzijds de uitgestrektheid, natuurlijkheid en dynamiek van de rivier, het meer, de zee, de zeearm of het wad. Voor een behandeling van de vormgeving van een dijk vanuit landschap, natuur en cultuurhistorie wordt verwezen naar de Handreiking Ruimtelijk Ontwerpen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1994).

Aanvullende informatie is te vinden in Natuurvriendelijke waterkeringen langs de Westerschelde en de Oosterschelde; handreiking voor integraal beheer (Van Berchum et al., 1995).

Enkele aandachtspunten zijn:

- > Pas daar waar het mogelijk is een grasmat toe als bekleding (zie § 4.5.2). Ook overige beplanting en begroeiing van een dijk is in principe geen probleem, mits bij het aanbrengen van de groenvoorzieningen rekening gehouden wordt met de eisen van de waterkering.
De aspecten waar rekening mee moet worden gehouden staan in de Handreiking Constructief Ontwerpen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1994). Hierbij moet bij de afweging met betrekking tot het handhaven c.q. plaatsen van bomen rekening worden gehouden met het feit dat bij zee- en meerdijken het optreden van extreem hoog water in de regel samenvalt met zware windbelasting. Bij stormen kunnen bomen door het opwekken van trillingen het dijklichaam verweken, en door om te waaien kunnen zij een groot gat in de dijk slaan. Om deze redenen is het planten van bomen op hoofdwaterkeringen niet wenselijk. Indien om landschappelijke redenen toch bomen nodig zijn, dient een overhoogte aangebracht te worden ter dikte van 0,75 maal de verwachte bewortelingsdiepte van de bomen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1994).
- > Op het buitentalud van zeedijken ontstaan op de harde bekleding en de teenconstructies begroeiingszones als functie van het type bekleding, de taludhelling, het type substraat, de stroomsterkte, de getij-amplitude en de hoogteligging in de getijzone. De dijktoen op Neeltje Jans en de Dijktoen II op Tholen laten daarvan voorbeelden zien. Ruwe oppervlakken bieden meer gelegenheid tot aanhechting dan gladde. Gladde bekledingen zijn, vooral bij de waterlijn, moeilijk beloopbaar, ook voor dieren. Los gestapelde steenhellingen bevatten allerlei holtes waar dieren in weg kunnen kruipen. De toepassing van dijkbeschermsmaterialen, die stoffen bevatten die toxisch kunnen werken als ze door erop groeiende organismen worden opgenomen, moet worden vermeden (zoals bijvoorbeeld de vroeger veel toegepaste lood- en koperslakblokken en ook bij ertsslakken en een aantal teerproducten). Door hiermee rekening te houden bij het ontwerp van een waterkering kan het natuur- en landschapsaspect worden bevorderd. De levensgemeenschappen op harde substraten zijn echter niet alleen vanuit natuurwetenschappelijk en esthetisch oogpunt de moeite van het bestuderen waard. Verschillende soorten zijn te beschouwen als indicatoren voor de waterkwaliteit, en als zodanig belangrijk in het integrale waterbeheer. Bij vervanging van bekleding kan schade ontstaan aan natuurwaarde. Een gedeeltelijke compensatie is dan mogelijk door het aanbrengen van een kreukelberm met behulp van steenafval met blokken en/of brokken met een diameter groter dan ongeveer 0,2 m. Het is mogelijk door een speciale vormgeving van de kreukelberm (verhoogde rand) water achter te houden.
- > Wat betreft de begroeiingsmogelijkheden en ontwikkelingsmogelijkheden voor levensgemeenschappen van materialen kan ruwweg worden gezegd:
 - > betonblokken en los gestorte breuksteen scoren vanwege de holle ruimte tussen de elementen goed;
 - > basalt scoort redelijk tot goed, afhankelijk van de expositie, basalt ingegoten met asfalt scoort slecht: Basaltglooiingen hebben een lagere ecologische waarde omdat de donkere kleur van basalt, onder invloed van de stralingswarmte van de zon, leidt tot een hoge temperatuur van de steen en daardoor tot een snelle verdamping van vocht;
 - > ecoblokken (betonzuilen voorzien van een speciale open toplaag en met voldoende ruimte tussen de blokken) scoren goed;
 - > open steenasfalt scoort in een aantal gevallen goed; 100% bedekking met asfalt biedt echter nauwelijks ontwikkelingsmogelijkheden voor soortenrijke levensgemeenschappen.
- > De verschillende bekledingen van oude dijkvakken vormen een afspiegeling van de inzichten en waterbouwkundige (on-)mogelijkheden ten aanzien van de dijkbouw en het onderhoud in een bepaalde

periode. Bepaalde materialen worden niet meer toegepast. In die zin hebben oude bekledingen een "waterstaatkundig-historische" waarde. Het in stand houden van dergelijke dijkvakken of het hergebruik van streekeigen materialen of kleuren (bijvoorbeeld Vilvoordse en Lessinese steen op plaatsen met geringe golfaanval) heeft dan drie voordelen:

- > (H)erkennen van cultuurhistorische elementen;
 - > Dijkvakken met een zekere historische waarde worden geconserveerd;
 - > Bepaalde substraattypen blijven bestaan, waardoor de bestaansmogelijkheid van bepaalde levensgemeenschappen aanwezig blijft.
- > Het is mogelijk en soms gewenst op bepaalde lokaties een dijk te verpakken als duin. Hierbij wordt de dijk "normaal" uitgevoerd en moet, in verband met het dynamische karakter van duinen de verpakking in zand grotendeels aan de natuur worden overgelaten. Wel kan de natuur een handje worden geholpen door ondergestoven delen min of meer vast te leggen door helmbeplanting. Een voorbeeld hiervan is de binnenzijde van de Veerse dam waar op het asfalt een bedekking met zand is aangebracht.

Bijlage I: Overzicht standaardsorteringen breuksteen

Sortering	D_{50}	M_{50}	D_{n50}	laag	
	(m)	(kg)	(m)	dikte (m)	massa (kg/m ²)
30/60 mm	0,039–0,049	0,10–0,19	0,033–0,041	0,07	120
40/100 mm	0,062–0,088	0,38–1,12	0,052–0,074	0,12	200
50/150 mm	0,088–0,123	1,12–3,01	0,074–0,103	0,17	300
80/200 mm	0,123–0,177	3,01–8,98	0,103–0,149	0,24	400
5-40 kg	0,20–0,25	12–25	0,17–0,21	0,35	600
10-60 kg	0,25–0,30	24–43	0,21–0,25	0,42	700
40-200 kg	0,37–0,43	84–131	0,31–0,36	0,60	1000
60-300 kg	0,44–0,50	139–204	0,37–0,42	0,72	1200
300-1000 kg	0,69–0,75	541–692	0,58–0,63	1,12	1875
1000-3000 kg	1,00–1,07	1620–1980	0,84–0,90	1,61	2700
3000-6000 kg	1,33–1,39	3843–4392	1,12–1,17	2,10	3500
6000-10000 kg	1,63–1,70	7050–7990	1,37–1,43	2,54	4250

Opmerkingen

1. De D_{50} , M_{50} en D_{n50} zijn berekend voor een dichtheid van de breuksteen (ρ_x) van 2.700 kg/m³ en lichte verfijning (Laan, 1996). Er is geen ontmenging in rekening gebracht die vooral bij fijne sorteringen een rol kan spelen.

Voor dichtheden (ρ_{rx}) die afwijken van 2.700 kg/m³ geldt het volgende:

– de in de tabel gegeven M_{50} -waarden voor de fijne sorteringen (mm - maten) dienen vermenigvuldigd te worden met $\frac{\rho_{rx}}{2.700}$;

– de in de tabel gegeven D_{50} - en D_{n50} -waarden van de lichte en zware sorteringen (kg-maten) dienen vermenigvuldigd te worden

met $13,92 \sqrt[3]{\frac{1}{\rho_{rx}}}$.

2. De laagdikten zijn berekend op basis van $1,5 D_{50}$ wat overeenkomt met $\frac{1,5}{0,84} D_{n50} = 1,8 D_{n50}$. De in rekeninggebrachte D_{50} -waarden

betreffen per sortering het gemiddelde van de uiterste waarden van onverfijnd materiaal. Voor deze D_{50} -waarden en daarmee ook voor

de laagdikten geldt een correctiefactor van $13,92 \sqrt[3]{\frac{1}{\rho_{rx}}}$ voor een dichtheid ρ_{rx} die afwijkt van 2.700 kg/m³.

3. De massa's van de laag zijn berekend voor een dichtheid van 2.700 kg/m³ en een holle ruimte van 38% en betreffen afgeronde waarden.

Symbolen

A	= totale doorsnede waterloop	[m ²]
A_c	= oppervlak van de natte vaarwegdoorsnede	[m ²]
A_c'	= oppervlak natte kanaaldoorsnede tussenscheeps-as en oever bij uit de as varen	[m ²]
A_{dam}	= factor die het type dam aangeeft	[-]
A_m	= grootspantoppervlak schip	[m ²]
A_w	= oppervlak natte kanaaldoorsnede verminderd met grootspantoppervlak schip en spiegeldaling	[m ²]
A_1	= natte oppervlakte open water gedeelte	[m ²]
A_2	= natte oppervlakte begroeide gedeelte	[m ²]
B	= breedte vegetatie	[m]
B	= breedte kruin	[m]
b_b	= breedte vaarweg op de bodem	[m]
B_{eff}	= effectieve breedte van de vegetatie	[m]
b_{hor}	= parameter bij evenwichtsprofiel belast door stroming	[m]
B_s	= scheepsbreedte	[m]
b_w	= breedte vaarweg op de waterspiegel	[m]
C	= Chezy-waarde	[m ^{0.5} /s]
C_b	= Chezy-waarde voor bomen	[m ^{1/2} /s]
C_g	= Chezy-waarde voor grasland	[m ^{1/2} /s]
C_H	= coëfficiënt voor het type golfbelasting	[-]
C_0	= voortplantingssnelheid golven, diep water	[m/s]
C_t	= Chezy-waarde voor gras en bomen tezamen	[m ^{1/2} /s]
C_u	= gelijkmatigheidscoëfficiënt	[-]
C_w	= voortplantingssnelheid golven, ondiep water	[m/s]
c	= coëfficiënt afhankelijk van de vorm van het verticale snelheidsprofiel	[-]
c_{we}	= weerstandcoëfficiënt voor stroming om stam	[-]
D_b	= dikte stammen	[m]
D_n	= normale materiaaldiameter	[m]
D_n	= karakteristieke afmeting van het verdedigingselement	[m]
D_p	= schroefdiameter	[m]
D_0	= effectieve uitstroomopeningen schroefstraal	[m]
D_s	= stengeldiameter	[m]
D_{50}	= karakteristieke breuksteendiameter onderschreden door 50 % van het materiaal	[m]
d	= blokdikte of matrasdikte	[m]
$d_{(x)}$	= zeefmaat van de theoretische zeef met vierkante openingen waardoorheen x % van de korrels van een fractie van het basismateriaal gaat	[m]
F_e	= effectieve strijklengte	[m]
f	= veiligheidsfactor	[-]
G	= gatbreedte of -lengte	[m]
g	= zwaartekracht versnelling	[m/s ²]

H	= golfhoogte	[m]
H	= hoogte bomen	[m]
H _i	= golfhoogte interferentie pieken	[m]
H _o	= dimensieloze golfhoogte	[-]
H _s	= significante golfhoogte	[m]
H _t	= golfhoogte achter de vegetatie	[m]
H _t	= doorgelaten golfhoogte	[m]
h	= waterdiepte	[m]
h _d	= constructiehoogte tov waterpeil	[m]
h _r	= waterdiepte onder de beschouwde schanskorf	[m]
h _s	= waterdiepte tot waar de oeeverdediging moet doorlopen	[m]
Δh	= waterspiegeldaling	[m]
Δ̂h	= maximale waterspiegeldaling nabij de oever	[m]
Δ̄h	= gemiddelde waterspiegeldaling	[m]
i	= verhang	[-]
K _h	= diepteparameter	[-]
K _s	= taludfactor	[-]
K _T	= turbulentiefactor	[-]
K _t	= golf transmissie-coëfficiënt	[-]
k _m	= ruwheidsfactor	[-]
k _{m0}	= ruwheidsfactor open water gedeelte	[m ^{1/3} /s]
k _r	= ruwheidsparameter	[m]
L _s	= scheeps lengte	[m]
L _w	= golflengte, ondiep water	[m]
L _{wi}	= golflengte interferentie pieken, diep water	[m]
L _z	= golflengte op diep water	[m]
L ₀	= golflengte, ondiep water	[m]
l	= kerende hoogte	[m]
l _d	= totale damwandlengte	[m]
l _s	= parameter bij evenwichtsprofiel belast door golven	[-]
m	= taludhelling (1 : m)	[-]
N	= aantal scheepvaarpassages	[-]
N	= aantal windgolven (minimum 500)	[-]
N _b	= aantal bomen per m ²	[1/m ²]
N _{s,l}	= aantal levende stengels per m ²	[m ⁻²]
n	= gehalte aan open ruimte (incl. poriën)	[-]
O _x	= afmeting van de porie van het geotextiel corresponderend met de gemiddelde diameter van een zandfractie waarvan x % op en in het geotextiel achterblijft bij zeving	[m]
P	= doorlatendheidsfactor	[-]
P	= aangewend vermogen van het schip	[W]
p	= profielparameter	[-]
p ₁	= lutumgehalte	[-]

Q	= afvoer	[m ³ /s]
R	= wind stralen	
R	= theoretische golfoploop inclusief taludruwheid	[m]
R ₁	= hydraulische straal open water gedeelte	[m]
r _r	= reductiefactor voor taludruwheid	[-]
S	= schadegetal	[-]
s	= afstand van zijkant schip tot oever	[m]
T	= golfperiode	[s]
T _i	= golfperiode interferentie pieken	[s]
T _o	= dimensieloze golfperiode	[-]
T _{ong}	= over de scheepslengte gemiddelde diepgang ongeladen	[m]
T _s	= diepgang geladen schip	[m]
T _z	= golfperiode op diep water	[s]
u _b	= maximale stroomsnelheid in de schroefstraal nabij de bodem	[m/s]
u _{toel}	= toelaatbare stroomsnelheid	[m/s]
u _o	= maximale stroomsnelheid in de as van de schroefstraal achter de schroef	[m/s]
û	= gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]
û _r	= maximale reourstroomsnelheid nabij de oever	[m/s]
û _r	= gemiddelde retourstroomsnelheid	[m/s]
V _s	= vaarsnelheid schip	[m/s]
V _i	= grenssnelheid	[m/s]
W	= weerstandsfactor voor het begroeide gedeelte	[m/s]
W ₅₀	= massa van een steenstuk dan door 50 % van de steenstukken wordt overschreden	[kg]
x	= afstand achter de schroef	[m]
x _m	= paramter bij evenwichtsprofiel belast door stroming	[m]
Y	= maximale erosie-diepte	[m]
y	= excentriciteit (afstand scheeps-as tot de as van de vaarweg)	[m]
Z _b	= afstand van de schroefas tot de bodem	[m]
Z _{max}	= maximale hoogte van de haalgolf	[m]
Δ	= relatieve dichtheid	[-]
Δ _m	= relatieve dichtheid	[-]
α	= taludhoek	[°]
α _s	= correctiefactor volgens Schijf	[-]
α _w	= hoek ten opzicht van de windrichting	[°]
α ₁	= coëfficiënt	[-]
β	= hoek van golfinval	[°]
φ	= stabiliteitsparameter	[-]
φ _n	= hoek van natuurlijk talud (gondsoort afhankelijk)	[°]
θ	= hoek van inwendige wrijving	[°]
ρ	= dichtheid	[kg/m ³]
ψ _u	= upgrading factor	[-]
ψ _c	= kritieke schuifspanningsparameter	[-]

Literatuur

- André, D., Bouwknecht, A.J. Gelok en G.J. Hartman, 1996.** Handleiding voor het programma DIWA waarmee hydraulische berekeningen van oppervlaktewatersystemen kunnen worden gemaakt. Deel A,B en C. Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden, Utrecht
- d'Angremond, K., J.W. van der Meer and R.J. de Jong, 1996.** Wave transmission at low-crested structures. ASCE, Proceedings twenty-fifth ICCE, Orlando, USA.
- Bouwknecht, J, 1995.** Cursus "Waterbouw en ecologie", WE 14: Hydraulische aspecten van beekherstel. Stichting Postacademisch Onderwijs Civiele Techniek en Bouwtechniek, Delft, 1995
- Bolderman, M.B.N. en A.W.C. Dwars, 1968.** Algemene Waterbouwkunde, deel 1 (volledig herzien door M.J. Fraanje). L.J. Veen's uitgeverijmaatschappij N.V., Amsterdam, 1968.
- Breusers, H.N.C. en A.J. Raudkivi, 1991.** Scouring. A.A. Balkema, Rotterdam, 1991.
- CIRIA, 1987.** H.W.M. Hewlett, L.A. Boorman and M.E. Bramley. Design of reinforced grass waterways. Report 116, London, 1987.
- CUR, 1989.** Ontwerpprogramma voor oeververdedigingen in vaarwegen (DIPRO). Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium. CUR rapport 89-8, Gouda, 1989.
- CUR, 1992.** Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving en Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, CUR-rapport 155, Gouda, 1992.
- CUR, 1993.** Handboek Damwandconstructies. CUR-rapport 166. Gouda, 1993.
- CUR, 1995.** CUR-publicatie 174 'Geotextielen in de waterbouw', Gouda, januari 1995.
- CUR, 1996.** Erosie van onverdedigde oevers. CUR-rapport 96-7. Gouda, 1996.
- CUR/NGO, 1996.** 'Biologisch afbreekbare geotextielen', 1996, CUR/NGO-publicatie 187, Gouda, 1996.
- CUR, 1997.** CUR Aanbeveling 60 'Doorgroeibaarheid van geotextielen voor Riet' Gouda, 1997.
- CUR, 1998.** Breuksteen in de praktijk Deel 1: productie, verwerking en kwaliteitszorg, CUR-publicatie 192, Gouda, 1998.
- CUR, 1999.** Natuurvriendelijke oevers: aanpak en toepassingen. CUR-publicatie 200, Gouda 1999.
- CUR, 1999.** Natuurvriendelijke oevers: oeverbeschermingsmaterialen. CUR-publicatie 202, Gouda 1999.
- CUR, 1999.** Natuurvriendelijke oevers: fauna. CUR-publicatie 203, Gouda 1999.
- CUR, 1999.** Natuurvriendelijke oevers: vegetatie langs grote wateren. CUR-publicatie 204, Gouda 1999.
- CUR, 1999.** Natuurvriendelijke oevers: water - en oeverplanten. CUR-publicatie 205, Gouda 1999.
- Commissie Vaarweg Beheerders, 1989.** Aanbevelingen voor het ontwerp van oevers langs vaarwegen. Secretariaat CVB: Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde.
- Commissie Vaarweg Beheerders, 1996.** Richtlijnen Vaarwegen. Secretariaat CVB: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam.
- Griffioen, C.J.H., 1996.** Het dimensioneren van waterlopen m.b.v. het programma DIWA. PAO-cursus Natuurvriendelijke Oevers, 1996.
- Dorst, C.J., 1995.** Wilgen als oeverbescherming in kribvakken. Afstudeerrapport Technische Universiteit Delft.
- Grune/Kohlhase, 1974.** Wave transmission through vertical slotted wall. Proceedings 14th International Conference on Coastal Engineering, Vol III.

- Hoogerland, J.R. en T.E.J. van Zeijts, (1994).** Kosten van rietoevers, vergelijking van kosten tussen rietoevers en traditionele oevers bij waterlopen in landinrichtingsprojecten. Landinrichtingsdienst, Inspectie, Techniek en Uitvoering, Utrecht.
- Hijum, E. van et al, 1993.** Oevers: Collegedictaat t.b.v. het HTS onderwijs. RWS, DWW en Onderwijs Innovatiecentrum Bouwnijverheid HBO
- Ivens, E.A.M., G.J. Verkade en J.M. Reitsma, 1992.** Oevervegetatie kan functie geotextiel versterken, doorgroeibaarheid geotextielen onderzocht. Civiele Techniek nr. 3, 1992.
- Jansen P.Ph. e.a., 1979.** Principles of river engineering. ISBN 0-273-01139-1. Pitman Publishing Limited, London.
- John, N.W.M., 1987.** Geotextiles. Chapman and Hall, 1987.
- Jonker, A. en L. de Quelerij, 1988.** Invloed boombeplanting op verankerde damwand. PT Civiele Techniek-Waterbouw, nr. 2, 1988.
- KNMI, 1958.** Zeegolven ; Publicatienummer K.N.M.I. III-II.
- Laan, G.J., 1996.** De relatie tussen eisen aan loskorrelige steenmaterialen en ontwerpparameters. P-DWW-96-069, Delft.
- Leeuwestein, W. en P. Schoot, 1988.** Evaluatie oevers-eindrapportage van het projekt oevererosie. Technische Universiteit Delft, 1988.
- Lemmens, R.J.M., 1996.** Natuurvriendelijke verbetering van zanddichtheid van klassieke zink- en kraagstukken. Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek; juni 1996.
- Meer, J.W. van der, 1988.** Rock slopes and gravel beaches under wave attack. Delft Hydraulics Communication 396, 1988.
- Meer, J.W. van der, 1991.** Stability and transmission at low-crested structures. Delft Hydraulics Publications 453. Delft, 1991.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991.** Evaluatie oeververdedigingen Korendijkse en Beninger Slikken. November 1991.
- Oranjewoud, 1992.** Tijdelijke bescherming voor rietoevers. PMO rapport nr. 19. Ingenieursbureau Oranjewoud bv i.o.v. RWS - DWW, Heerenveen, 1992.
- PIANC, 1987.** Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways. PIANC, PTC 1, Brussels.
- Pilarczyk, K.W., 1990a.** Coastal Protection. A.A. Balkema, Rotterdam, 1990.
- Pilarczyk, K.W., H.Havinga, G.J.Klaassen, H.J.Verheij, E.Mosselman and J.A.A.M.Leemans, 1990b.** Control of bank erosion in the Netherlands - State-of-the-art. Delft Hydraulics publication 442, Delft, 1990.
- Pitlo, R.H. en C.J.H. Griffioen, 1991.** Stromingsmodel voor begroeide waterlopen. Waterschapsbelangen nr.10, 1991
- Reitsma, J.M., 1992.** Doorgroeikbaarheid van geotextielen: een pilotstudie. PMO-rapport nr. 18. Bureau Waardenburg bv i.o.v. Stichting CUR. Culemborg, 1992.
- Rijkswaterstaat/DVK, 1986.** De invloed van een rietkraag op scheepsgolven. RWS, Dienst Verkeerskunde Hoofdafdeling Scheepvaart, nota S 83.108, 1986.
- Rijkswaterstaat/RIKZ, 1995.** Natuurvriendelijke waterkeringen langs de Westerschelde; Handreiking voor integraal beheer. A.M. van Berchem, J. Coosen en A.J.M Meijer. Middelburg, januari en december 1995
- Rijkswaterstaat/RIZA, 1991.** Hydraulische ruwheid van oobossen - Vergelijking van gemeten en berekende ruwheden. RWS, RIZA, werkdocument 91.133X, Arnhem, 1991.
- Rijkswaterstaat/RIZA, 1997a.** Ooibos; wilgen en populieren langs rivieren. RWS, RIZA, Lelystad, 1997.

- Rijkswaterstaat/RIZA, 1997b.** Milieubeoordeling oeverbeschermingsmaterialen; Eindrapportage. RWS, RIZA, Lelystad, juli 1997.
- Ruff, J.F. and H.J.Verheij, 1991.** Hydraulic aspects of bank stabilization using vegetation, literature review. Delft Hydraulics, report Q632, Delft, 1991.
- Technische Universiteit Delft, 1995.** Wilgen als oeverbescherming in kribvakken. Delft, 1995.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1985.** Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel I, Bovenrivierengebied. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1985.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1989.** Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's Gravenhage, 1989.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1994.** Handreiking constructief ontwerpen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, april 1994.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1994.** Handreiking Ruimtelijk Ontwerpen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, april 1994.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1995.** Leidraad Zandige Kust en Basis rapport. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, januari 1995.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996.** Hydraulische Randvoorwaarden voor primaire waterkeringen voor de periode 1995-2000. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, juli 1996.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998.** Leidraad Zee en Meerdijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 1998.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998.** Leidraad Grondslagen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Secretariaat TAW: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, april 1998.
- Verruijt, A, 1983.** Grondmechanica. Delftse Uitgeversmaatschappij, Delft, 1983.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1988.** Formulering gedragsmodel voor onverdedigde oevers. WL, verslag Q 808-03, Delft, 1988.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1988.** Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen. Technische aanbevelingen voor oeververdedigingen van losgestorte en gezette steen. Waterloopkundig laboratorium, samenvattend verslag M1115, deel XIX, 1988.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1989a.** Praktijkgericht onderzoek milieuvriendelijke oevers. Erosie door open taludbekledingen, WL verslag aanvullend modelonderzoek Q 913, Delft, 1989.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1989b.** Erosie door open taludbekledingen, praktijkgericht onderzoek dijken. WL rapport H657, bijlage C, verslag modelonderzoek Deltagoot. Delft, 1989.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1991a.** Waterbeweging door scheepvaart op rivieren en in kribvakken, bureaustudie. WL rapport Q1046, Delft, 1991.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1991b.** BREAKWAT, designtool for rubblemound structures. User Manual, Delft, 1991.

Waterloopkundig Laboratorium en Rijkswaterstaat - RIZA, 1994. Oevers begroeid met riet en mattenbies, wisselwerking belastingen en vegetatie. Verslag modelonderzoek. WL rapport Q 632, Delft, juni 1994.

Waterloopkundig Laboratorium, 1995. Golfdemping door riet, Verslag bureaustudie. WL rapport Q 2037, Delft, november 1995.

Waterloopkundig Laboratorium en Haskoning, 1997. Effectiviteit van kribben. WL rapport Q 2360, Delft, december 1997.

Wiegel, R.L., 1960. Transmission of waves past a rigid vertical thin barrier. Journal of Waterways and Harbours Division, A.S.C.E., Vol. 86, March 1960.

Verantwoording

De tekst van dit handboek is samengesteld door ing. J.J. Bakker van Infram B.V., i.s.m. medewerkers van de Productgroep Oevers van RWS-DWW.

Fotoverantwoording

blz. 11 Jan Koolen

blz. 12 Jan Bakker

blz. 13 Jan Bakker

blz. 15 Jeroen Reinhold

Colofon

Vormgeving omslag: M. Kalfsbeek-Verkade

Druk:

Meinema Drukkerij Delft



De serie Natuurvriendelijke oevers bestaat uit de volgende titels:

- 200 Natuurvriendelijke oevers: *Aanpak en toepassingen*
ISBN 90 37604 60 9
- 201 Natuurvriendelijke oevers: *Belasting en sterkte*
ISBN 90 37604 70 6
- 202 Natuurvriendelijke oevers: *Oeverbeschermingsmaterialen*
ISBN 90 37601 50 2
- 203 Natuurvriendelijke oevers: *Fauna*
ISBN 90 37604 80 3
- 204 Natuurvriendelijke oevers: *Vegetatie langs grote wateren*
ISBN 90 37604 90 0
- 205 Natuurvriendelijke oevers: *Water- en oeverplanten*
ISBN 90 37605 00 1

Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR)

CUR richt zich op ontwikkeling, vergaring en overdracht van kennis en ervaring op het brede gebied van de civiele techniek. De kennis is van belang voor de bouw, zowel voor het bedrijfsleven als voor de bij de bouw betrokken overheden, alsook voor onderwijs, onderzoek en wetenschap.

CUR

Büchnerweg 1
Postbus 420, 2800 AK Gouda
Telefoon 0182-540600
E-mail cur@cur.nl
Internet www.cur.nl

Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW)

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat adviseert over de veiligheid, het beheer en de landschappelijke inpassing van de natte en droge infrastructuur, en verricht het daartoe benodigde onderzoek.

DWW

Postbus 5044, 2600 GA Delft
Telefoon 015-2518518
E-mail postmaster@dww.rws.minvenw.nl