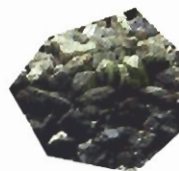
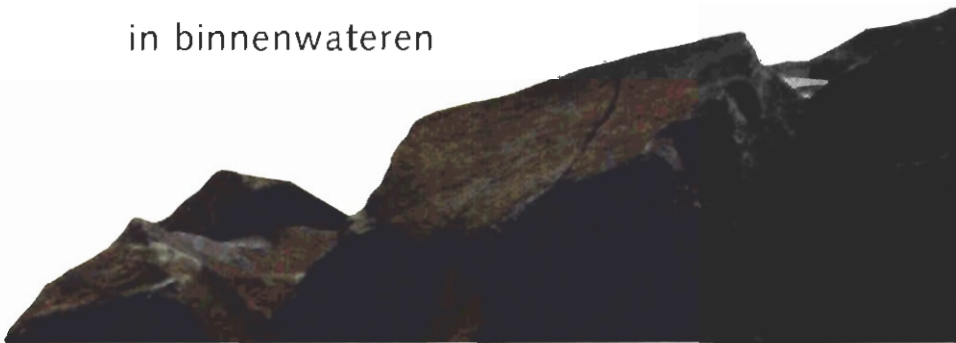


197

2000-15

Breuksteen in de praktijk

Deel 2: dimensionering van constructies
in binnenwateren



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg-en Waterbouwkunde

32/440(2000-15)

197 Breuksteen in de praktijk

Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwateren

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

12 DEC 2000



CUR Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR publicatie 197)

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Stowa Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stowa rapportnummer 2000-15)

1600713
1600714

Dit rapport is onder de volgende trefwoorden opgenomen in het CUR-infobestand:

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| binnenwateren | hydraulische belastingen |
| breuksteen | loskorrelige materialen |
| constructieve aspecten | gradering, korrelverdeling |
| dimensionering | natuurvriendelijke oevers |
| bodemverdediging | overgangsconstructies |
| dammen, drempels | schade (mechanismen) |
| taludverdediging | stroombelasting |
| dijkbekledingen | toelaatbare stroomsnelheid |
| duurzaam bouwen | stabiliteit bekledingsconstructies |
| filters, filterconstructies | waterbouw |
| golven, golfaanvallen | |

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag **worden** veeelvoudigd, 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 197 "Breuksteen in de praktijk. Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwateren", juni 2000. Stichting CUR, Gouda.

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 3760 132 4

Voorwoord

Uit de waterbouwsector is breuksteen niet weg te denken. Langs de grote maar ook langs tal van kleinere wateren is breuksteen een van de meest toegepaste materialen.

Om op een verantwoorde wijze een ontwerp te maken om vervolgens vanuit het ontwerp, via een bestekomschrijving, naar een bestekuitvoering te komen, is het noodzakelijk dat specialistische kennis wordt geraadpleegd. Deze specialistische kennis is wel beschikbaar maar niet altijd gemakkelijk toegankelijk voor de gebruikers. In de praktijk bestaan enkele handleidingen die deze problematiek deels behandelen. Het niveau van de handleidingen is echter te veel toegespitst op dat van de ontwerper van technisch hoogwaardige constructies. Bovendien zijn een aantal handleidingen in de Engelse taal opgesteld en dus minder toegankelijk.

In CUR-verband is het handboek "Breuksteen in de praktijk, Deel 1: productie, verwerking en kwaliteitszorg" samengesteld.

In de ontwerp praktijk blijkt dat voor relatief eenvoudige constructies met geringe belastingen vaak te zware constructies worden ontworpen. Dit brengt hogere aanlegkosten met zich mee en verder worden in een relatief kleinschalig landschap forse constructies aangelegd, die afbreuk doen aan het landschap en de natuurlijke omgeving.

Deze ervaringen waren voor de CUR-kennisoverdrachtcommissie F 28 "Dimensioneren met breuksteen" de aanleiding het voorstel uit te werken voor het samenstellen van een handboek "Breuksteen in de praktijk: deel 2" dat ingaat op de dimensionering van de wat kleinere en relatief eenvoudige, maar veel voorkomende constructies van breuksteen in de Nederlandse binnenwateren.

De studie is begeleid door CUR-kennisoverdrachtscommissie F 28 "Dimensioneren met breuksteen".

De samenstelling van de commissie was als volgt:

IR. G.J. SCHIERECK, VOORZITTER TU-Delft
IR. R.E.A.M. BOETERS, SECRETARIS Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
W.G.J.M. DE BEIJER VPI
IR. C.J. DORST Bouwdienst Rijkswaterstaat
ING. H.A.P. EERDEN Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland, afd. nieuwe werken
ING. E.W.L.J. FAASSEN Hoogheemraadschap van Rijnland
IR. H. VAN MEEKEREN Ingenieursbureau Oranjewoud (namens ONRI)
P.G.J. VAN DER PLUIJM Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, Uitvoeringsbureau Zuid-West, afd. TXU
IR. J.T.M. VAN DER SANDE Waterschap Zeeuwse Eilanden
IR. W. OP DEN VELDE Van Oord ACZ (namens VBKO)
IR. L.R. WENTHOLT STOWA
IR. J. WOUTERS, RAPORTEUR Infram
IR. G.J. VERKADE, COÖRDINATOR CUR
PROF.DR.IR. J.F. AGEMA, MENTOR CUR

Het handboek is samengesteld door ing. J.J. Bakker en ir. J. Wouters (Infram)

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

- > Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- > Rijkswaterstaat Bouwdienst
- > Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland
- > Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)
- > Vereniging van Waterbouwers in Bagger-, Kust en Oeverwerken (VBKO)

Juni 2000

Het bestuur van de CUR

Inhoudsopgave

| | | | |
|------------------|------------|-------------------------------------|-----------|
| | | Samenvatting | 9 |
| | | Summary | 11 |
| Hoofdstuk | 1 | Inleiding | 13 |
| | 1.1 | Algemeen | 13 |
| | 1.2 | Doel van het handboek | 13 |
| | 1.3 | Doelgroep | 14 |
| | 1.4 | Afbakening | 14 |
| Hoofdstuk | 2 | Breuksteentoepassingen | 15 |
| | 2.1 | Algemeen | 15 |
| | 2.2 | Taludverdediging | 16 |
| | 2.3 | Bodemverdediging | 19 |
| | 2.4 | Dammen en drempels | 20 |
| Hoofdstuk | 3 | Belastingen en typen wateren | 21 |
| | 3.1 | Belastingen | 21 |
| | 3.1.1 | Golfbelasting | 21 |
| | 3.1.2 | Stroombelasting | 25 |
| | 3.1.3 | Waterstandvariaties | 25 |
| | 3.1.4 | Ijsbelasting | 26 |
| | 3.1.5 | Recreatie en vandalisme | 27 |
| | 3.1.6 | Ankers en spudpalen | 27 |
| | 3.2 | Indeling van typen wateren | 27 |
| | 3.2.1 | Meren | 28 |
| | 3.2.2 | Kanalen | 28 |
| | 3.2.3 | Rivieren | 28 |
| | 3.2.4 | Kleine wateren | 29 |
| Hoofdstuk | 4 | Constructieve aspecten | 31 |
| | 4.1 | Breuksteen | 31 |
| | 4.1.1 | Algemeen | 31 |
| | 4.1.2 | Dichtheid | 31 |
| | 4.1.3 | Standaardsorteringen | 31 |
| | 4.2 | Opbouw breuksteentoepassing | 32 |
| | 4.2.1 | Algemeen | 32 |
| | 4.2.2 | Ondergrond | 32 |
| | 4.2.3 | Filter | 33 |
| | 4.2.4 | Toplaag | 37 |
| | 4.2.5 | Schanskorven | 37 |

| | | | |
|-----------|-------|---------------------------------------------------------------|----|
| | 4.3 | Overgangsconstructies | 39 |
| | 4.4 | Schademechanismen | 40 |
| Hoofdstuk | 5 | Ontwerp- en onderhoudsfilosofie | 43 |
| | 5.1 | Algemeen | 43 |
| | 5.2 | Duurzaam bouwen | 44 |
| | 5.3 | Schade | 44 |
| | 5.4 | Inspecties en onderhoud | 46 |
| Hoofdstuk | 6 | Uitvoeringsaspecten | 49 |
| | 6.1 | Algemeen | 49 |
| | 6.2 | Nauwkeurigheden en hoeveelheden | 49 |
| | 6.3 | Controle van de aangevoerde breuksteen | 50 |
| | 6.4 | Aanleg van de constructie | 50 |
| | 6.5 | Controle van het gemaakte werk | 53 |
| Hoofdstuk | 7 | Taludverdediging | 55 |
| | 7.1 | Algemeen | 55 |
| | 7.2 | Schade- en faalmechanismen | 55 |
| | 7.2.1 | Afschuiving | 56 |
| | 7.2.2 | Aantasting toplaag | 57 |
| | 7.2.3 | Golfoploop | 57 |
| | 7.2.4 | Aantasting teen van de constructie | 58 |
| | 7.2.5 | Aantasting ondergrond | 58 |
| | 7.3 | Eisen | 58 |
| | 7.3.1 | Golfbestendigheid | 59 |
| | 7.3.2 | Stroombestendigheid | 60 |
| | 7.3.3 | Invloed van de dichtheid en de taludhelling op de stabiliteit | 62 |
| | 7.3.4 | Grondichtheid | 62 |
| | 7.3.5 | Afmetingen van de taludverdediging | 63 |
| | 7.4 | Dynamisch stabiele oevers | 64 |
| Hoofdstuk | 8 | Bodemverdediging | 67 |
| | 8.1 | Definitie van een bodemverdediging | 67 |
| | 8.2 | Eisen | 67 |
| | 8.2.1 | Stroombestendigheid van breuksteen | 68 |
| | 8.2.2 | De horizontale afmetingen van de bodemverdediging | 71 |
| | 8.2.3 | De verticale opbouw | 72 |
| Hoofdstuk | 9 | Dammen en drempels | 75 |
| | 9.1 | Definitie van dammen en drempels | 75 |
| | 9.2 | Dimensionering van dammen en drempels | 76 |
| | 9.2.1 | Golfbelasting | 76 |
| | 9.2.2 | Stroombelasting | 78 |

| | | |
|--------------------------|-----------------------------------------------|----|
| Voorbeelden | 79 | |
| Bijlage I | Overzicht standaardsorteringen breuksteen | 89 |
| Bijlage II | CUWVO indeling Nederlandse oppervlaktewateren | 91 |
| Bijlage III | Stabiliteitsformuleringen | 93 |
| Literatuurlijst | 95 | |
| Verklarende woordenlijst | 97 | |
| Symbolenlijst | 101 | |

Samenvatting

In dit handboek staan de toepassingen van breuksteen in de waterbouw centraal. Met name het dimensioneren en construeren van relatief eenvoudige, maar veel voorkomende breuksteenconstructies worden behandeld. Dit boek richt zich vooral op toepassing van breuksteen in binnenwateren, beken, meren en dergelijke. Veel voorkomende constructies met breuksteen zijn hier taludverdedigingen, bodemverdedigingen en dammen en drempels.

Het ontwerpen van constructies begint over het algemeen met het bepalen van de belastingen hierop. In de waterbouw zijn de belastingen op de constructie door golven en stromingen, afhankelijk van het type water waarin of waaraan de constructie ligt. Vandaar dat in dit boek een verdeling van watertypen zoals meren, rivieren, kanalen en kleine wateren wordt aangehouden. Naast hydraulische belastingen komen ook belastingen door ijsgang, scheepvaart, ankers of spudpalen voor. Bij sommige oevers moet ook rekening worden gehouden met schade door recreatie of vandalisme.

Een breuksteenconstructie heeft als algemeen kenmerk dat het bestaat uit een toplaag van vele losse elementen (stenen), die verschillend van grootte zijn, met daaronder een filterconstructie als overgang naar de ondergrond.

De aspecten, die aan de orde komen zijn:

- de eigenschappen van de breuksteen;
- de opbouw van een breuksteenconstructie van ondergrond tot toplaag;
- overgangsconstructies;
- schademechanismen.

Een apart hoofdstuk in dit handboek gaat over de ontwerp- en onderhoudsfilosofie. Daarbij wordt opgemerkt dat het niet moeilijk is om een constructie zo te ontwerpen dat er nooit schade aan op zal treden. Een dergelijke constructie is dan echter te zwaar, wat te hoge aanlegkosten met zich meebrengt. Bij een uitgekiende constructie daarentegen is sprake van een bewuste afweging tussen aanleg- en onderhoudskosten. Het inspelen bij het ontwerp op een mate van schade, die acceptabel is, leidt tot een optimaal ontwerp. Het acceptatieniveau van de schade hangt onder meer af van de verwachte vervolgschade bij falen van de constructie.

De uitvoering bepaalt in hoge mate de uiteindelijke kwaliteit van de constructie. Daar breuksteenconstructies zich veelal voor een groot deel onder water bevinden, is controle van het gemaakte werk moeilijk. Vandaar dat de manier van uitvoeren van het werk dusdanig moet zijn dat een voldoende mate van kwaliteit gegarandeerd is.

Uitvoerig wordt in dit handboek ingegaan op de dimensioneringsaspecten die behoren bij taludverdedigingen, bodemverdedigingen en dammen en drempels. Om dit boek voor een grote groep gebruikers van breuksteen toegankelijk te laten zijn is er voor gekozen om zoveel mogelijk formules uit de tekst weg te laten. De formules zijn voor de geïnteresseerde lezer te raadplegen in een bijlage.

Summary

The main theme of this handbook is the use of rubble in hydraulic engineering. Particular attention is paid to the dimensioning and construction of relatively simple but frequently encountered rubble structures, and especially to the use of rubble in inland waterways, streams and lakes and similar features. Many frequently used rubble structures are considered, including those for slope protection, bottom protection, dams and sills.

The design of a structure usually begins with the determination of the loads to be borne. In hydraulic engineering the loads on the structure generated by waves and flow depend on the type of water body in which it will be located. For this reason in this book water bodies are divided into categories such as lakes, rivers, canals and small water bodies. In addition to hydraulic loads, structures are also exposed to loads generated by ice, shipping, anchors and spuds. On some banks it is also necessary to take into account the possible effects of damage resulting from recreational use or from vandalism.

A rubble structure is usually characterised by consisting of a top layer composed of many separate elements (stones) that vary in size, which overlies a filter construction that forms the transition to the subsoil.

The aspects that are considered are:

- the properties of rubble;
- the structure of the rubble construction from the foundation to the top layer;
- the transitional structure;
- damage mechanisms.

A separate chapter is devoted to the design and maintenance philosophies. It should be noted that it is not difficult to design a structure in such a way that damage will never occur. Such a structure, however, would be too heavy, so the construction costs would be excessive. With a judicious design, on the other hand, there is conscious balance between the construction and maintenance costs. The provision in the design stage for a degree of damage that is acceptable leads to an optimal design. The level of acceptance of the damage depends on various factors including the anticipated damage that would result from the failure of the structure.

The mode execution determines the final quality of the construction. Since the greater part of a rubble structure is often underwater, it is difficult to examine the quality of the work. For this reason the method of execution used must be such that a sufficient level of quality is guaranteed.

This handbook gives detailed considerations to dimensioning aspects relating to slope protection, bottom protection dams and sills. However, to make the book accessible to the large group of users of rubble, the decision was taken to omit most formulas from the text. Readers interested in the mathematical aspects will find the equations in an appendix.

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 ALGEMEEN

In de waterbouw worden steenconstructies al heel lang toegepast om golf- en stroombelastingen op te vangen en zodoende erosie te voorkomen. Oorspronkelijk werd de zwaarte van de toe te passen steen en de omvang van de constructie gebaseerd op ervaring en gevoel. Rekenmethodes voor de bepaling van de zwaarte van de stenen, en kennis van maatgevende golf- en stroomaanval bestonden niet. Opgetreden schades werden hersteld, eventueel met meer of met zwaardere stenen.

Traditioneel gezien is de neiging van beheerders om schade te voorkomen groot. In de ontwerp-praktijk blijkt dan ook dat relatief eenvoudige, weinig belaste constructies, vaak te zwaar en te omvangrijk worden aangelegd. Een mogelijke verklaring hiervoor wordt gevormd door de onzekerheden van de ontwerper of opdrachtgever, want zware constructies geven meer zekerheid. Dit heeft tot gevolg dat allerlei uitzonderlijke situaties bij elkaar opgeteld worden en dat tussen-resultaten stelselmatig naar boven worden afgerond. Als dan ook nog een royale onzekerheids-marge wordt aangehouden, ontstaan constructies die meer afgestemd zijn op uitzonderlijke dan op reële belastingen.

Een te robuuste constructie kan ook het gevolg zijn van het streven naar lagere instandhoudingskosten. Zulke zware constructies brengen echter zwaardere milieubelastingen, grotere aantastingen van het landschap en hogere aanlegkosten met zich mee.

In de laatste decennia is er veel kennis ontwikkeld op het gebied van golf- en stroombelastingen enerzijds en de sterkte van breuksteenbestortingen anderzijds, waardoor het dimensioneren van breuksteenbestortingen beter mogelijk is geworden. Deze kennis is echter meestal door en voor specialisten vastgelegd in omvangrijke, moeilijk toegankelijke en deels Engelstalige onderzoeksrapporten en boeken (zie literatuurlijst). Die kennis is bovendien meestal gericht op hoge belastingen en op complexe projecten in kustwateren. Dit maakt dat er behoefte is ontstaan aan een handboek, waarmee snel en op eenvoudige wijze lichtbelaste breuksteenconstructies kunnen worden ontworpen en gedimensioneerd.

1.2 DOEL VAN HET HANDBOEK

Dit tweede deel van "Breuksteen in de praktijk" richt zich op het dimensioneren van relatief eenvoudige, maar veel voorkomende constructies van breuksteen in de Nederlandse binnenwateren. In Deel 1 [1] is met name aandacht besteed aan de winning, de productie, de verwerking en de kwaliteitszorg van breuksteen.

Deel 2 van dit handboek beoogt de beschikbare kennis en ervaring op een toegankelijke en direct bruikbare wijze te presenteren, zodat nodeloos zware en omvangrijke constructies kunnen worden vermeden.

1.3 DOELGROEP

De doelgroep van dit handboek bestaat uit ontwerpers die incidenteel een constructie ontwerpen en beheerders van breuksteentoepassingen in de waterbouw zonder gespecialiseerde ontwerpafdeling. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan sommige lagere overheden, organisaties voor natuur- en landschapsbeheer en niet-civieltechnisch gespecialiseerde adviesbureaus.

1.4 AFBAKENING

Dit handboek beperkt zich tot het gebruik van los gestorte breuksteen en grind voor relatief eenvoudige en licht belaste constructies in de binnenwateren. Onder relatief eenvoudig en licht belast worden verstaan die constructies, waarbij de gevolgen na falen van de constructie betrekkelijk klein blijven, en waarbij de veiligheid tegen overstroming dus niet of nauwelijks in het geding komt. De bovenbegrenzing van deze toepassingen wordt in dit handboek gevormd door de standaardsoortering 10–60 kg (zie Bijlage I).

Dit handboek richt zich dan ook op de kleinste binnenwateren, waar toepassing van breuksteen nog zinvol is, en op die (vooroever)verdedigingen in de grote meren en afgesloten zeearmen waar de sortering 10–60 kg toereikend is.

Breuksteentoepassingen voor primaire waterkeringen vallen buiten de definitie van relatief eenvoudige en licht belaste constructies.

Toepassingen van met beton of asfalt gefixeerde breuksteen en die, waarbij de breuksteen als zetsteen wordt gebruikt, vallen buiten het kader van dit handboek. Los gestorte breuksteen in een omhuïsel van gaas, de zogenaamde schanskorven en schanskorfmatrassen, zullen in dit handboek wel worden behandeld.

Hoofdstuk 2: Breuksteentoepassingen

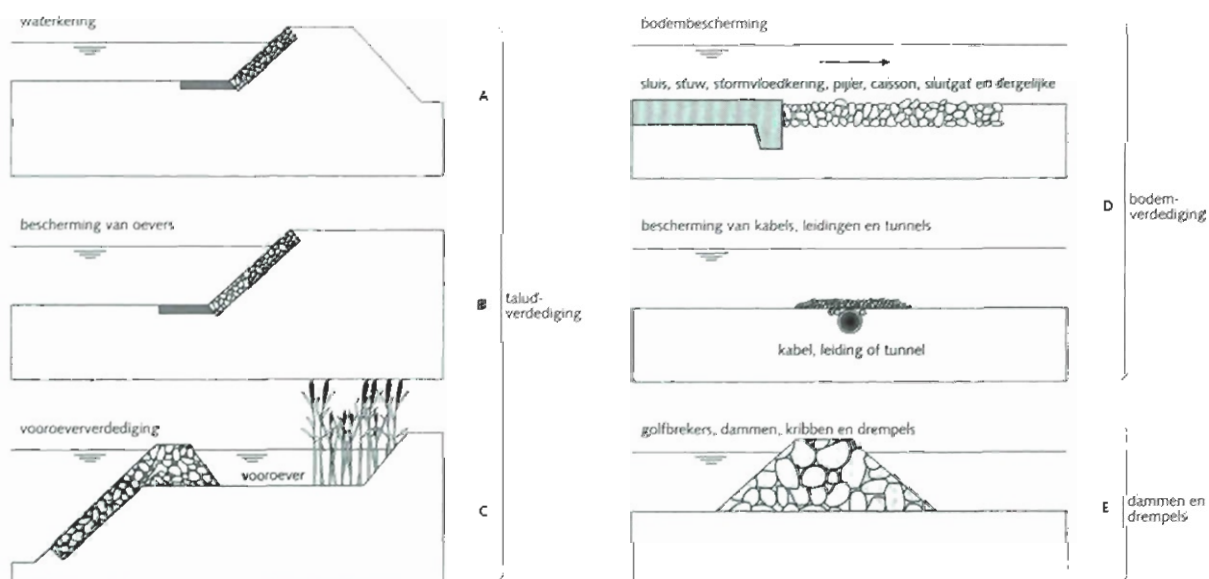
2.1 ALGEMEEN

De in dit handboek beschreven toepassingen van breuksteen betreffen over het algemeen constructies die dienen om lokale erosie, zoals oeverafslag en ongewenste verdieping, als gevolg van stroom- en golfaanval te voorkomen. De algemene eisen bij deze toepassingen zijn:

- de toplaag moet bestand zijn tegen de golf- en stroomaanval,
- de verdediging moet, om eventuele opwaartse waterdruk te vermijden, waterdoorlatend zijn (een uitzondering hierop is als de breuksteen wordt gebruikt als ballast om een waterdichte bekleding van een kanaal te beschermen), en
- de opbouw van de constructie moet zodanig zijn dat, als gevolg van uittredend grondwater en stroom- en golfbelasting op de toplaag, geen gronddeeltjes van de ondergrond door de verdediging heen uitspoelen.

In Deel 1 [1] worden de volgende toepassingen van breuksteen in de waterbouw onderscheiden:

- waterkeringen;
- oeververdedigingen;
- bodembeschermingen;
- golfbrekers, dammen, kribben en drempels;
- aanvullingen en ophogingen;
- beschermingen van kabels, leidingen, sifons en tunnels en eventueel ook als verzwaring tegen opdrijven.



Afbeelding 2.1 Toepassingen van breuksteen in de waterbouw (schematisch weergegeven).

In voorliggend Deel 2 van het handboek zijn de toepassingen als volgt ingedeeld:

1. Taludverdediging (waterkeringen, (voor)oeververdedigingen en grindstranden).
2. Bodemverdediging (bodembeschermingen, beschermingen van kabels, leidingen etc.).
3. Dammen en drempels (golfbrekers, dammen, kribben en drempels).

Het grootste deel van de in de waterbouw gebruikte breuksteen wordt gebruikt voor talud- en bodemverdedigingen. De toepassingen voor oeververdedigingen moeten meestal voldoen aan eisen gesteld vanuit de functies natuur en landschap. Ontwerpcriteria hiervoor staan in het handboek "Natuurvriendelijke oevers" [2].



Afbeelding 2.2 Toepassing van breuksteen langs een traject van de Vloedgraaf waar beperkt ruimte was voor hermeandering (links). Rechts een traject waar veel ruimte was voor hermeandering en waar op enkele plaatsen breuksteen is toegepast om het proces van hermeandering iets te sturen. (Foto's J.L. Koolen en J. Simons)

De toepassing van breuksteen als kernmateriaal voor aanvullingen, ophogingen en dammen is beperkt, omdat hiervoor meestal zand wordt gebruikt. Bovendien is hiervoor het dimensioneren, vanwege het ontbreken van belastingen, veelal niet relevant. In dit boek zal daarom op deze toepassing van breuksteen niet nader worden in gegaan.

Breuksteen wordt ook gebruikt als ballast voor het afzinken en op de plaats houden van kraag- of zinkstukken. Dit is echter geen toepassing op zich omdat het een onderdeel vormt van een talud- of bodemverdediging.

2.2 TALUDVERDEDIGING

Taludverdedigingen van oevers en waterkeringen hebben als doel erosie van de onder- en achterliggende grond als gevolg van golf- en stroomaanval te voorkomen. Het zijn constructies die belast worden door scheeps-, windgolven en/of stromingen en kunnen onder invloed staan van wisselende waterstanden.



Abbeelding 2.3 Een door golven belaste taludverdediging langs de Amer. (Foto M. de la Haye)

Het meest in het oog lopende verschil tussen een taludverdediging bij oevers en die bij waterkeringen blijkt als het gevolg van falen van de constructie wordt beschouwd. Bij het falen van de oeververdediging zal afslag optreden waarbij schade ontstaat die meestal beperkt blijft tot de constructie zelf, het landgebruik in de direct aangrenzende zone en de natuurfunctie van de oeverzone. Soms kan voortgaande oevererosie leiden tot een onaanvaardbare verondieping van de waterweg waardoor de afvoer van water of de scheepvaartbelangen in het geding komen. Het falen van de taludverdediging van een waterkering kan uiteindelijk aanleiding zijn tot doorbraak van de kering en daarmee tot overstromingen van het achterland of tot het leeglopen van het betreffende kanaalpand of waterbekken. Omdat de gevolgen hiervan veel groter kunnen zijn dan van oevererosie zullen aan taludverdedigingen op waterkeringen doorgaans veel stringenter eisen worden gesteld dan aan die op oevers.

Vandaar dat een oeververdediging doorgaans wordt ontworpen op belastingen die een redelijk grote kans van voorkomen hebben bij een normaal voorkomende waterstand. Een taludverdediging van een waterkering moet daarentegen ook bestand zijn tegen een extreme belasting bij een hoge waterstand. Dit betekent dat taludverdedigingen van waterkeringen vaak hoger zijn opgetrokken dan die bij oevers en zwaarder zijn gedimensioneerd.



Afbeelding 2.4 Taludverdediging langs de Overijsselsche Vecht (links) en langs de Vliet bij Boompjesdijk (rechts). (Foto's J.L. Koolen)

Een vooroeververdediging is een afwijkend soort taludverdediging. Een vooroeververdediging bestaat uit een dam(metje) op enige afstand van de eigenlijke, onverdedigde oever (zie derde plaatje van afbeelding 2.1). Op plaatsen waar voldoende ruimte is en de hydraulische belasting zo groot is dat een oeververdediging noodzakelijk is, is een vooroeververdediging een mogelijk alternatief. Hierbij is een zekere functiescheiding mogelijk waarbij het opvangen van de hydraulische belastingen naar voren is gehaald en er ruimte ontstaat voor landschappelijke en ecologische vormgeving. De vooroever vangt de eerste golfklappen op zodat op de oever de golfbelasting wordt gereduceerd. Een dam met de kruin op het stil water niveau halveert bij benadering de inkomende golfhoogte. Riet of andere planten moeten dan de resterende golfslag op kunnen vangen. Met name vanuit ecologisch en landschappelijk oogpunt is een vooroeververdediging aan te bevelen.



Afbeelding 2.5 Breukstenen vooroeververdediging langs het kanaal Wessem Nederweert (links) en langs een grindgat bij Maasbracht (rechts). (Foto's J.L. Koolen)

Als er geen ruimte is voor een vooroeververdediging is een zogenaamde doorgroeiconstructie een mogelijkheid. Dit is een tussenvorm tussen een kale harde verdediging en een natuurlijke, door oevervegetatie beschermde, oever. Een dergelijke oever is doelbewust zodanig ontworpen en uitgevoerd

dat de breuksteenconstructie met oeverplanten doorgroeit kan raken. Landschappelijk is een dergelijke oever aantrekkelijker dan een kale steenbestorting en biedt tevens meer kansen voor de natuur.



Abbeelding 2.6 Doorgroeiconstructie langs de Nieuwe Maas nabij Sormpolder. (Foto J.L. Koolen)

In hoofdstuk 7 wordt nader op de dimensionering van taludverdedigingen ingegaan.

2.3 BODEMVERDEDIGING

Bij bodemverdedigingen moet worden gedacht aan een bescherming van de onderwaterbodem tegen ongewenste verdieping, bijvoorbeeld bij een verandering in het doorstroomprofiel of op plaatsen met een belasting door schroefstralen van manoeuvrerende schepen. Daarbij kunnen hoge stroomsnelheden optreden, vaak in combinatie met een intensieve turbulentie. Verdieping is ongewenst als dit kan leiden tot ondermijning van een constructie of talud, waardoor de stabiliteit daarvan in gevaar kan komen. Verdieping kan ook leiden tot het verdwijnen van de afdekking van duikers, sifons e.d.

Veel voorkomende bodemverdedigingen zijn stortebedden achter duikers, sluizen, stuwen en gemalen en bodemverdedigingen rond obstakels (zoals pijlers) in stromend water. Ook in relatief ondiep water en in de buurt van verticale constructies zoals kades en damwanden waar nagenoeg stilliggende schepen met veel vermogen en roeruitslag manoeuvreren kan een bodemverdediging noodzakelijk zijn.

Bijzondere toepassingen van lokale bodemverdedigingen zijn bestortingen:

- op kabels, leidingen, tunnels, sifons en waterdichte bekledingen van kanalen of op de onderwaterbodem als bescherming tegen de gevolgen van bijvoorbeeld ankers, spudpalen en van te diep stekende schepen. In de praktijk wordt hiertoe meestal een vereiste minimale gronddekking toegepast (zie tabel 2.1).

- als ballast om het opdrijven of verplaatsingen van leidingen of constructies te voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn zink- en kraagstukken, tunnelelementen en leidingen voor gas- of vloeistoftransport, die bij aanleg of tijdens reparatiewerkzaamheden gevuld kunnen zijn met lucht.

Tabel 2.1 Minimale gronddekking voor leidingen e.d.

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Commissie Vaarweg Beheerders (CVB) Richtlijnen Vaarwegen [14] Paragraaf 6.4. | |
| Ruimte onder de vaarweg: | |
| Algemene regels voor de minimale gronddekking voor zinkers, kabels, leidingen etc. | |
| Vaarwegen voor de recreatievaart, alle klassen: | 1,0 m |
| Vaarwegen voor de beroepsvaart, klasse I en II | 1,0 m |
| Vaarwegen voor de beroepsvaart, klassen III t/m V. | 1,5 m |

In hoofdstuk 8 wordt nader op het dimensioneren van een bodemverdediging ingegaan.

2.4 DAMMEN EN DREMPELS

Dammen en drempels worden voornamelijk toegepast om de golfhoogte te reduceren en de stroming te geleiden. Dammen zijn te beschouwen als oevers zonder direct achterland, zeker als ze bestaan uit een kern van grond die afgedekt is met een verdediging. Dammen kunnen ook volledig uit breuksteen zijn opgebouwd of uit stapelingen van schanskorven. De opbouw van drempels is gelijk aan die van dammen, echter waar dammen onder normale omstandigheden met hun kruin boven water uitkomen, blijven drempels onder die omstandigheden onder water. Voorbeelden van dammen en drempels zijn golfbrekers, vooroeverdammen, kribben, strek- en geleidedammen.

In hoofdstuk 9 zal nader op het dimensioneren van dammen en drempels worden ingegaan.



Abbeelding 2.7 Aanleg van een doorgroeiakrib langs de Nieuwe Merwede en twee jaar na aanleg. (Foto's J.L. Koolen)

Hoofdstuk 3: Belastingen en typen wateren

3.1 BELASTINGEN

Belastingen die op breuksteenconstructies kunnen worden uitgeoefend en bepalend kunnen zijn voor zowel het ontwerp als het onderhoud, bestaan uit:

hydraulische belastingen:

- golven: wind- en scheepsgolven;
- stroming: aan- en afvoer van water, retourstroom tijdens scheepspassage, schroefstralen;
- waterstandvariaties.

en mechanische belastingen:

- ijsgang;
- recreatie en vandalisme;
- ankers en spudpalen.

Het bepalen van de maatgevende belastingen (grootte, duur en frequentie van voorkomen) is in zijn algemeenheid niet zo eenvoudig. Het gaat daarbij met name om hydraulische belastingen (golven, stroming en waterstanden). Kenmerkende belastingen per type water worden in dit hoofdstuk gepresenteerd. De mechanische belastingen zullen per situatie vastgesteld moeten worden.

Belastingen op de breuksteenconstructies als gevolg van abnormale gebeurtenissen, zoals aanvaringen met schepen, zijn normaal gesproken niet maatgevend voor het ontwerp. Schade als gevolg van dit soort calamiteiten is nauwelijks te voorkomen en wordt, al of niet op kosten van de veroorzaker, in het kader van variabel onderhoud hersteld.

3.1.1 GOLFBELASTING

Langs de beschouwde wateren worden twee typen golven onderscheiden:

- windgolven;
- scheepsgolven.

Windgolven

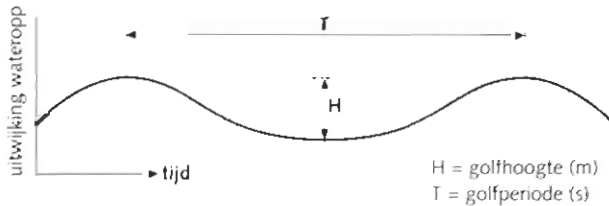
Als de wind over het wateroppervlak strijkt, ontstaan er golven in het wateroppervlak. De hoogte van deze golven is afhankelijk van verschillende factoren, zoals:

- windsnelheid en duur van de windbelasting;
- strijklengte;
- waterdiepte.

De hoogte van de windgolven wordt meestal uitgedrukt in de zogenaamde significante golfhoogte. Deze significante golfhoogte H_s is de gemiddelde waarde van het hoogste éénderde deel van alle golfhoogten gedurende een bepaalde periode (voor ontwerpdoeleinden wordt hiervoor de storm-

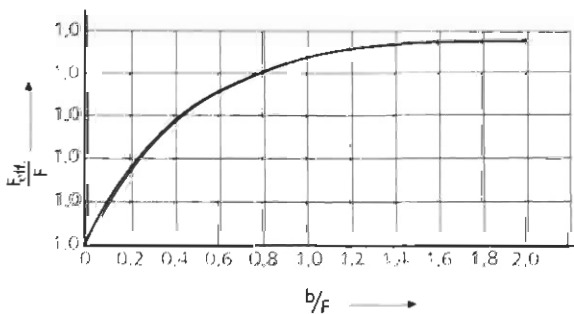
duur genomen). Die hoogte wordt door circa 13,6% van alle golven overschreden. In vrijwel alle formules waarmee de golfbestendigheid van breuksteen kan worden berekend wordt gebruik gemaakt van de significante golfhoogte.

Een andere belangrijk kenmerk van golven is de bijbehorende golfperiode T . Dit is de gemiddelde tijd die verloopt tussen het passeren van opeenvolgende golftoppen.



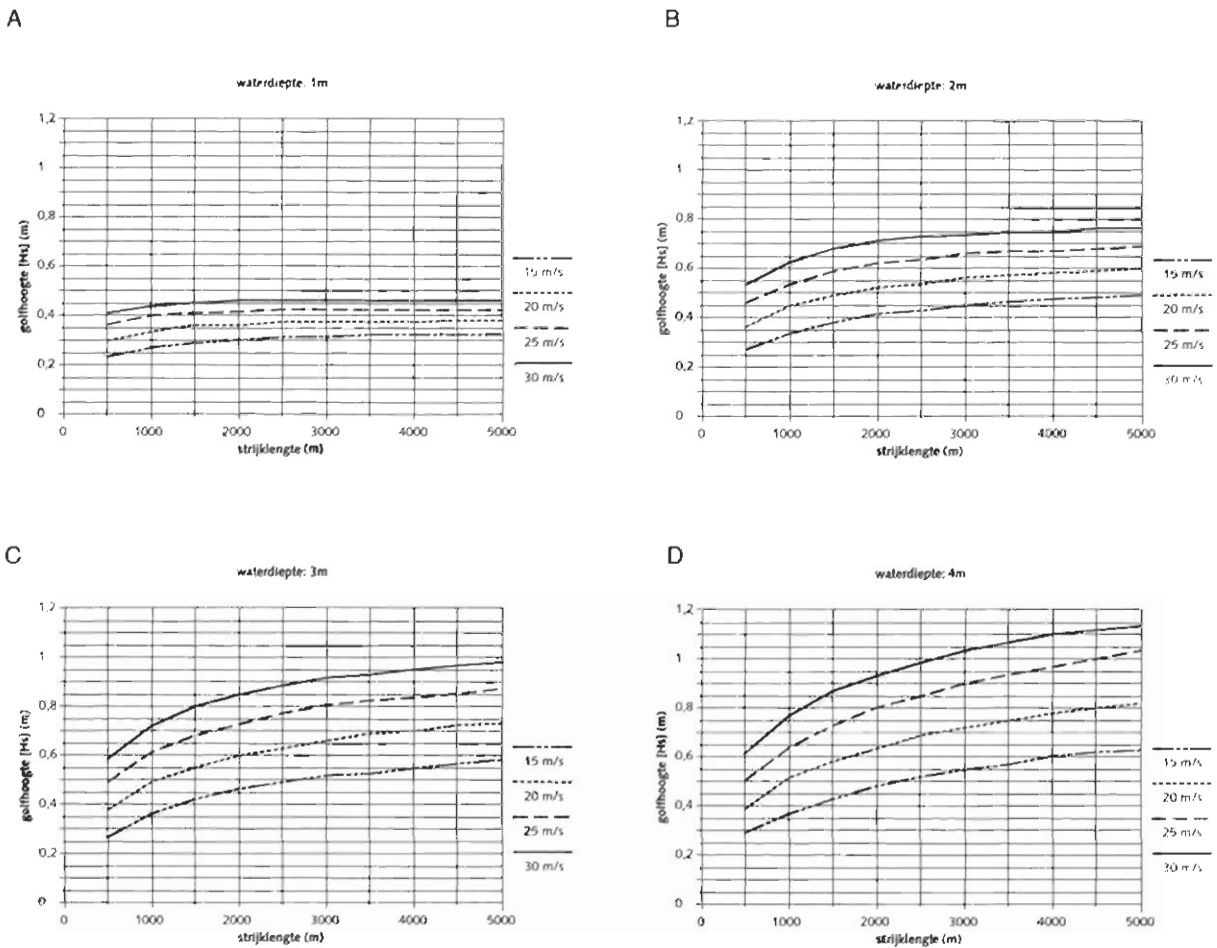
Afbeelding 3.1 Definitie golfparameters

Onder de strijklengte " F " (in het Engels "fetch", vandaar dat de letter F meestal voor de strijklengte wordt gebruikt) wordt verstaan de lengte van het open water, gemeten in de windrichting, die beschikbaar is voor de golfontwikkeling. Als de breedte " b " van het wateroppervlakte kleiner is dan ongeveer de strijklengte " F " dan zijn de opgewekte golven lager dan bij onbeperkte breedte [15]. Vandaar dat in die gevallen wordt gerekend met de zogenaamde effectieve strijklengte " F_{eff} ". De effectieve strijklengte kan met behulp van de onderstaande afbeelding worden afgelezen.



Afbeelding 3.2 Relatie tussen de effectieve strijklengte en de breedte.

In de afbeeldingen 3.3 a, b, c en d staan de te verwachten golfhoogten (H_s) bij een variërende (effectieve) strijklengte en verschillende waterdiepten bij respectievelijk een windsnelheid van 30 m/s (zeer zware storm, windkracht 11), 25 m/s (zware storm, windkracht 10), 20 m/s (windkracht 8) en 15 m/s (windkracht 7) gedurende 6 uur weergegeven. Deze golfhoogten worden in het algemeen in binnenwateren al in minder dan één uur storm bereikt.

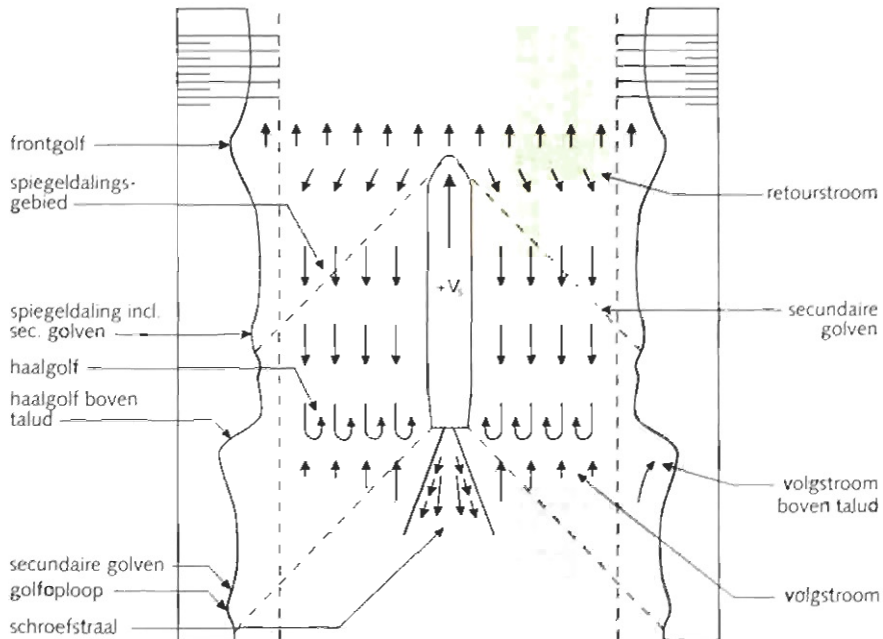


Afbeelding 3.3 Windgolp hoogte per waterdiepte als functie van de strijklengte en windsnelheid.

In tabel 3.1 worden de te verwachten golp hoogten voor verschillende typen wateren gegeven.

Scheepsgolven

Varende schepen wekken golven op. De hoogte van die golven is afhankelijk van de grootte van het schip, de diepgang en de snelheid waarmee het vaart. Scheepsgolven worden grofweg in twee typen golven verdeeld, namelijk de haalgolf die een direct gevolg is van de waterspiegeldaling door het varende schip en de secundaire golven, de boeg- en hekgolf. Voor oeververdedigingen is de haalgolf (H_s) meestal bepalend voor de zwaarte van de toplaag.



Abbeelding 3.4 Karakteristieke waterbeweging door varende schepen.

Kenmerkende hoogten voor respectievelijk wind- en scheepsgolven worden in de onderstaande tabel per type water gegeven.

Tabel 3.1 Kenmerkende golfhoogten.

| | Windgolven | Type water H_1 in (m) | Scheepsgolven in (m) |
|----------------------|------------|----------------------------|-------------------------|
| Meren | | 0,25 – 1,00 | 0,10 – 0,50 |
| Kanalen | | 0,10 – 0,25 | 0,25 – 0,75 |
| Rivieren | | 0,25 – 1,00 | 0,25 – 0,75 |
| Kleine waterlopen *) | | 0,10 – 0,20 | n.v.t. |

*) Er vanuit gaande dat hier geen gemotoriseerde recreatievaart plaatsvindt

in kanalen zullen scheepsgolven veelal maatgevend zijn voor de dimensionering van een breuksteen taludverdediging. Als meer inzicht in de scheepsgolven gewenst is wordt aangeraden om berekeningen naar de te verwachten golfbelasting te laten uitvoeren. Het computerprogramma DIPRO [1] is hiervoor geschikt; daarmee kan tevens de zwaarte van de verdediging worden berekend.

De maatgevende belastingen op oevers en dammen in meren worden meestal gevormd door windgolven. In kleine wateren zijn de windgolfbelastingen veelal zo klein dat breuksteenverdedigingen daar, wat betreft golfaanval, niet of nauwelijks op hun plaats zijn. Echter in kleine wateren, die openstaan voor recreatievaart, worden de oevers wel belast door scheepsgolven. Deze belasting is afhankelijk van de vaarwegklasse, zie [14].

Breuksteentoepassingen die zich in binnenwateren ruim (vanaf 1 à 2 m) onder water bevinden, zoals onderwatertalud- en bodemverdedigingen, worden vrijwel niet door golven belast.

3.1.2 STROOMBELASTING

Stroombelastingen kunnen een grote rol spelen bij alle breuksteentoepassingen op en onder de waterlijn. Stromingen ontstaan door passerende schepen of door de aan- en afvoer van water. De stroming als gevolg van passerende schepen, de zogenaamde retourstroom, ontstaat doordat het water, dat aan de voorkant van het schip verdrongen wordt, langs de zijkanten en de onderzijde van het schip naar achteren stroomt. Deze retourstroom belast daarom zowel de bodem als het talud van de vaarweg en gaat gepaard met een, soms sterke, daling van de waterspiegel. Deze waterspiegeldaling en de retourstroom worden groter naarmate het kanaalprofiel kleiner is, het schip groter is of dieper steekt, en sneller of dichter langs de oever vaart. Lokaal kunnen schepen met hun schroeven voor voortstuwung en manoeuvreren (boegschroef) hoge stroomsnelheden veroorzaken. De hoogturbulente stromingen in de schroefstralen kunnen de bodem en de taluds zwaar belasten.

In de onderstaande tabel worden kenmerkende waarden voor de te verwachten stroomsnelheden in de verschillende typen wateren gegeven.

Tabel 3.2 Kenmerkende stroomsnelheden.

| Type water | Natuurlijke stroming (m/s) | Retourstroom (m/s) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Meren | 0,1 – 0,5 | 0,1 – 0,25 |
| Kanalen | 0,5 – 1,0 | 0,5 – 1,0 |
| Rivieren | 1,0 – 2,0 | 0,5 – 1,0 |
| Kleine waterlopen *) | 0,2 – 1,0 | n.v.t. |

*) Er vanuit gaande dat hier geen gemotoriseerde recreatievaart plaatsvindt.

Bij stroomversnellingen en daaraan gekoppelde stroomvertragingen, bijvoorbeeld bij en achter kunstwerken zoals duikers, stuwen, bruggen en pijlers, kunnen lokaal hoge stroombelastingen op de bodem of taluds optreden. De stroombelasting op de breuksteenverdediging (snelheid en turbulentie) is sterk afhankelijk van het type kunstwerk en de vormgeving daarvan. Het ontwerp van zo'n verdediging zal dan ook een integraal onderdeel moeten zijn van het ontwerp van het kunstwerk zelf. Om die reden is het moeilijk voor dit type bodemverdedigingen kenmerkende stroomsnelheden te geven.

3.1.3 WATERSTANDVARIATIES

Waterstandvariatiës vormen op zich voor breuksteenoevers geen belasting van betekenis maar hebben wel consequenties. Lang periodieke waterstandvariatiës worden veroorzaakt door bijvoorbeeld de invloed van het getij op zee (in het mondingsgebied van Rijn en Maas), door op- en afwaaiing, door stuwung als gevolg van ijssdammen of door verschillen in aan- en afvoer (bemaling en berging). Veranderingen in waterstand veroorzaken stromingen, in- en uittredend water, golfaanval op

verschillende niveaus en beïnvloeden de plaats van ijsbelasting. Bij dagelijkse waterstandswisselingen zal de aanleghoogte van oeververdedigingen er door worden bepaald, terwijl tegelijkertijd de golfbelastingen over een grotere zone worden verdeeld. Bij incidenteel hoogwater zal de oever(verdediging) zich onder water bevinden en daar een kleinere golfbelasting ondervinden. De tijdelijke golfbelasting op dat hogere niveau moet dan worden opgenomen door de aanwezige begroeiing of doorgroeiverdediging.

3.1.4 IJSBELASTING

Ijs vormt uitsluitend een bedreiging voor taludverdedigingen (oevers) en voor dammen. Bij de in dit handboek behandelde constructies is ijsbelasting zelden reden tot omvangrijke schade. Er zijn ook geen dimensioneringsregels voor te geven. Eventuele beschadigde breuksteenconstructies worden doorgaans in het kader van variabel onderhoud hersteld. In het onderstaande intermezzo staat enige informatie over ijsbelasting en de mogelijke gevolgen daarvan.

Ijsbelasting

De ijsbelasting op oevers en dammen bestaat uit kruierend ijs en horizontale trek- en drukbelastingen als gevolg van wind, scheepvaart (ijsbrekend), stromend water en waterstandvariaties. De mate waarin deze schade optreedt is mede 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.

De gevolgen van ijsgang 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.
- Tijdens de vorstperiode: Door uitzetting van ijs en door harde wind kunnen bij meren zulke grote belastingen op oevers of (steiger)palen ontstaan dat delen van de oever(verdediging) worden verplaatst of lichte constructies worden weggedrukt of omgetrokken.
- Aan het eind van de vorstperiode: In meren kan kruierend ijs lokaal de oever(bescherming) beschadigen. Als bij het begin van een dooiperiode de bemaling wordt hervat kan in polders en boezemwateren het nog bestaande ijsdek bij de daaropvolgende waterstandsval stukken begroeide oever met grond en al of individuele stenen uit een oeververdediging meetrokken naar dieper water.

Een bijzonder en weinig voorkomend schademechanisme van breuksteenconstructies bestaat uit het **schijnbare gewichtsverlies** van breukstenen als gevolg van grondijs. Als breukstenen volledig zijn omgeven door grondijs kan door de toegenomen opwaartse kracht de stabiliteit van die bestorting zijn afgenomen. Dit verschijnsel is in binnenwateren vooral een punt van aandacht als bij de inval van de dooi het spuien en de bemaling weer wordt hervat. Bij het dimensioneren wordt met dit zelden optredende verschijnsel geen rekening gehouden.

3.1.5 RECREATIE EN VANDALISME

Als lokaal de recreatiedruk (sportvissen, zwemmen, plankzeilen, afmeren etc.) groot is, kan er als gevolg van het intensieve of oneigenlijke gebruik onbedoeld schade optreden. Om die schade, die zich vrijwel altijd zal beperken tot de taludverdediging rond de waterlijn en daarboven, te voorkomen kunnen voorzieningen worden getroffen om de recreatie te verplaatsen naar locaties waar deze goed opgevangen kan worden (functiescheiding). Voorbeelden zijn strandjes voor zwemmers of voor plankzeilers, afmeergelegenheid voor de recreatievaart en steigers voor de sportvisserij. Die voorzieningen moeten er voor zorgen dat bij normaal recreatief gebruik geen schade wordt aangebracht aan de breuksteenconstructies.

Daar waar veel mensen verblijven en de oeverzone gemakkelijk bereikbaar is kan vandalisme een punt van zorg zijn. Het vandalisme beperkt zich doorgaans tot verstedelijkte gebieden en drukbezochte recreatiegebieden. De vernielingen kunnen bestaan uit het in het water gooien van de stenen, het verplaatsen van de stenen om er plaatselijk iets mee te bouwen of het meenemen van stenen ten behoeve van de aanleg van een rotstuijn. Deze vorm van vandalisme kan beperkt worden door de hiervoor gevoelige plekken minder goed bereikbaar te maken. Dit kan bijvoorbeeld met een afrastering of bermsloot. Als de oever niet bereikbaar is voor auto's zal het meenemen van de stenen praktisch niet voorkomen. Ook door het plaatselijk toepassen van extra zware, en dus moeilijk te tillen, stenen in de zone boven de waterspiegel kan vandalisme worden teruggedrongen.

3.1.6 ANKERS EN SPUDPALLEN

Krachten van ankers en spudpalen kunnen een rol spelen bij breuksteentoepassingen onder water. Met name zijn dat verdedigingen van de bodem- en onderwatertaluds en eventuele beschermingen van voorzieningen op of in de bodem, zoals waterdichte bekledingen van een kanaal, leidingen, kabels en sifons. Veelal zal er ter plaatse van dit soort toepassingen een verbod gelden om te ankeren of spudpalen te gebruiken. Als de bescherming in geval van mogelijke calamiteiten met ankers en spudpalen gewenst is zal met de meest waarschijnlijke belasting door ankers of spudpalen rekening moeten worden gehouden. De bepaling hiervan valt buiten het bestek van dit handboek.

3.2 INDELING VAN TYPEN WATEREN

De mate waarin welke hydraulische belastingen maatgevend zijn voor de breuksteenconstructies is sterk afhankelijk van het type water waarin de constructie wordt aangelegd. In dit handboek is gekozen voor de volgende onderverdeling in typen wateren:

- meren;
- kanalen;
- rivieren;
- kleine wateren.

Deze onderverdeling sluit aan op de in het handboek "Natuurvriendelijke Oevers" [2] gehanteerde indeling. De Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreinigde Oppervlaktewateren (CUWVO) kent een indeling (zie Bijlage II) die in feite een nadere onderverdeling van de hier gehanteerde indeling is maar die voor dimensionering niet relevant is.

De hier gebruikte indeling van de typen wateren dient geen ander doel dan het **geven** van een indicatie van de te verwachten belastingen op de **breuksteenconstructies** in **deze wateren**.

3.2.1 MEREN

Onder deze categorie vallen alle wateren die ontstaan zijn als **gevolg** van afsluitingen van riviertakken, zeearmen en krekken, doorbraak van zee- en rivierdijken, winning van **turf, klei, zand en grind**. Meren hebben doorgaans zodanige afmetingen dat windgolven de belangrijkste belasting vormen. Stroomsnelheden en scheepsgeïnduceerde waterbewegingen (golven, waterspiegeldaling en retourstroming) **geven** doorgaans onbelangrijke belastingen op oevers, behalve daar waar doorgaande scheepsroutes dicht in de buurt van de oever komen. De waterstandswisselingen zijn als gevolg van het peilbeheer meestal beperkt en onnatuurlijk. Het onnatuurlijke zit hem in het zomerpeil dat hoger is dan het winterpeil. Van nature is dit andersom. Dit min of meer stagnante waterpeil is er de oorzaak van dat de golfaanval vrijwel altijd op één niveau aangrijpt. Wel kunnen er zich, door op- en afwaaiing en door extra aan- of afvoer van water, bijvoorbeeld via spuisluisen, tijdelijke waterstandsveranderingen tot ca. 0,50 m voordoen. Meren zijn belangrijk voor waterberging in natte periodes en voor de zoetwatervoorziening in de zomer, scheepvaart, recreatie en de natuur.

De belangrijkste breuksteentoepassingen in meren zijn oeververdedigingen en golfbrekers. De golfbrekers zijn vooral aangelegd ten behoeve van afmeer- en havenfaciliteiten voor de recreatievaart en als vooroeverdam om de daarachter gelegen oeverzone te beschermen tegen te grote golfaanval. Bodemverdediging anders dan eventuele lokale verdedigingen van kabels en leidingen komen hier doorgaans niet voor.

3.2.2 KANALEN

Kanalen zijn gegraven wateren die aangelegd zijn ten behoeve van ontginning, waterbeheersing (water aan- en afvoer en waterberging) en de scheepvaart. De breedte en de waterdiepte van kanalen kunnen sterk variëren. De stroomsnelheden en de waterstandvariaties zijn over het algemeen gering. De grootste belastingen worden bij kanalen veroorzaakt door golven en stroming als gevolg van varende schepen. De grens tussen de kleine wateren en kanalen is functioneel en gebaseerd op de belastingen die kunnen optreden.

Het meest voorkomende type breuksteenconstructie in kanalen is de oeververdediging. Bodemverdedigingen komen hier weinig voor. Plaatsen waar wel sprake is van een bodemverdediging in kanalen zijn die plaatsen waar schepen veel manoeuvreren met gebruikmaking van boegschroef, bodemzones direct gelegen tegen verticale oevers (damwanden) en verdedigingen van waterafsluitende bekleding op bodems en taluds. Plaatselijk kunnen bestortingen voorkomen ter bescherming van kabels, leidingen of andersoortige constructies in de bodem van het kanaal.

3.2.3 RIVIEREN

Alle in Nederland voorkomende stromende wateren met natuurlijke oorsprong, waarop gemotoriseerde scheepvaart mogelijk is, inclusief de Grensmaas, worden tot de "rivieren" gerekend. Het verschil tussen een rivier en een beek (kleine wateren) wordt dus bepaald door de belasting die als gevolg van scheepvaart op de oevers optreedt.

Belangrijke functies van deze wateren zijn water- en sedimentafvoer, beroepsvaart en recreatie(vaart). Bovendien vormen de rivieren essentiële schakels in de ecologische hoofdstructuur

van ons land. Kenmerkend voor de rivieren zijn grote waterstandvariaties en relatief hoge stroomsnelheden. De scheepvaart is vaak verantwoordelijk voor de maatgevende golfbelasting op oevers. Bij rivieren zijn grote hoeveelheden (zware) breuksteen toegepast. De meest zichtbare toepassingen zijn kribben, strekdammen en oeververdedigingen. Aanzienlijke hoeveelheden breuksteen zijn verwerkt in bodemverdedigingen ter voorkoming van lokale erosie. Deze toepassingen zijn te vinden zowel in bochten als rond (brug)pijlers en achter stuwen en sluisen.

Behalve voor de oevers geldt dat vrijwel alle breuksteentoepassingen in rivieren (bodemverdedigingen, kribben en strekdammen) in beheer zijn bij Rijkswaterstaat. Omdat de hier bedoelde toepassingen over het algemeen niet tot de relatief eenvoudige en lichtbelaste constructies behoren, vallen alleen de oeververdedigingen onder de in dit handboek behandelde toepassingen van breuksteen. Soms kunnen plaatselijk bestortingen voorkomen ter bescherming van kabels, leidingen of anderzortige constructies in de bodem van de rivier.

3.2.4 KLEINE WATEREN

Kleine wateren omvatten een grote groep. Ze zijn maximaal 20 m breed en minder dan 2 m diep.

Bij kleine wateren moet onderscheid worden gemaakt tussen:

- kleine wateren, waar gemotoriseerde recreatievaart voorkomt, en
- en overige kleine wateren.

In kleine wateren waar gemotoriseerde recreatievaart mogelijk is moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van scheepsgolven (tot 0,5 m) en retourstroom (tot 1,0 m/s). Bij de overige kleine wateren is nauwelijks sprake van gemotoriseerde recreatievaart.

Kleine wateren vervullen vaak een belangrijke rol in de waterafvoer en waterberging. Voorbeelden van kleine wateren zijn: beken, hoofdwatergangen, sloten, kreekrestanten, kleine boezemwateren, poelen, vijvers en andere kleine stadswateren. De hydraulische belasting bestaat uit stroming en/of kleine windgolfjes, al of niet gecombineerd met waterstandvariaties.

Vanwege de veelal geringe belastingen kennen kleine wateren (zonder gemotoriseerde recreatievaart) betrekkelijk weinig civieltechnische verdedigingen. De meeste oeververdedigingen in deze groep bestaan uit damwanden en beschoeiingen. Breuksteentoepassingen zijn te vinden in (snel) stromende wateren als (doorgroeibare) oeververdediging om meanderen te beteugelen, als bodemverdediging rond brugpijlers en achter profielvernauwingen (stortebed) zoals bij stuwen, duikers en bruggen, en als vistrap. De meeste van deze toepassingen vallen onder de in dit handboek gehanteerde definitie van relatief eenvoudige en lichtbelaste constructies. Voor stortebedden achter kunstwerken geldt dat de stroombelasting sterk afhankelijk is van het type kunstwerk en de vormgeving daarvan.

Hoofdstuk 4: Constructieve aspecten

In dit hoofdstuk zullen de constructieve aspecten van breuksteenconstructies worden behandeld. Achtereenvolgens zal worden ingegaan op:

- de breuksteen;
- de opbouw van een uit breuksteen bestaande constructie;
- de overgangsconstructies;
- de mogelijke schademechanismen bij breuksteenconstructies.

4.1 BREUKSTEEN

4.1.1 ALGEMEEN

De voordelen die breuksteen aan de eerder genoemde toepassingen geeft zijn:

- de betrekkelijk eenvoudige aanleg en de wijze van onderhoud;
- het vermogen zettingen te volgen;
- de lange levensduur;
- de relatief lage kosten;
- de goede mogelijkheden voor hergebruik;
- de hoge dichtheid van het materiaal die de constructie een goede weerstand tegen belastingen geeft.

In de handel is breuksteen in standaardsorteringen verkrijgbaar. De aan deze sorteringen te stellen eisen zijn in het normblad NEN 5180 beschreven en betreffen onder andere de vorm en de dichtheid van de stenen en de korrel- en massaverdeling van de partij (zie Deel 1 [1]; paragraaf 4.3).

4.1.2 DICHTHEID

De dichtheid van breuksteen is afhankelijk van de steensoort en ligt tussen 2000 en 3600 kg/m³ (zie Deel 1 [1]; paragraaf 2.4). De dichtheid van een bepaalde steensoort kan per partij enigszins variëren. Voor toepassingen in de waterbouw wordt in NEN 5180 aan de gemiddelde dichtheid van de breuksteen een minimumeis gesteld van 2500 kg/m³. De stabiliteit (weerstand tegen belasting) van een steensoort met een hogere dichtheid is, bij verder gelijke omstandigheden (gelijke taludhelling, gelijk gewicht van de stenen enz.) groter dan die met een lagere dichtheid. Omdat daarmee de laagdikte van de bestorting afneemt is qua volume tevens minder steen nodig. In die gevallen waarin niet specifiek kleine stenen vereist zijn, zal de keuze van de steensoort voornamelijk worden bepaald door de prijs en beschikbaarheid van de breuksteen [1].

Als in een bestek een standaardsortering is voorgeschreven is bij de berekening veelal uitgegaan van een bepaalde dichtheid. Omdat zo'n voorschrift voorbij gaat aan beschikbaarheid en prijs kan dit tot een hogere aanneemsom leiden dan strikt noodzakelijk is. Door een aannemer de vrijheid te geven een gelijkwaardig alternatief voor te stellen, kan dit worden voorkomen [5].

4.1.3 STANDAARDSORTERINGEN

Er bestaan in totaal 12 standaardsorteringen die in drie groepen zijn verdeeld namelijk fijne, lichte en zware sorteringen, zie tabel 4.1. Voor dit handboek ligt de bovengrens van de toe te passen

standaardsortering op 10–60 kg. De zwaardere sorteringen worden voornamelijk gebruikt voor toepassingen in de kustwateren, waar de kosten van en de belastingen op de constructies van dien aard zijn dat het ontwerp een specialistische benadering verdient.

Tabel 4.1 Standaardsorteringen volgens NEN 5180.

| Fijne sorteringen | Lichte sorteringen | Zware sorteringen |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| 30/60 mm | 5–40 kg | 300–1000 kg |
| 40/100 mm | 10–60 kg | 1000–3000 kg |
| 50/150 mm | 40–200 kg | 3000–6000 kg |
| 80/200 mm | 60–300 kg | 6000–10000 kg |

Toepassingen van de vier fijne sorteringen zijn bodemverdedigingen, dynamisch stabiele verdedigingen van flauwe taluds (voor de definitie, zie paragraaf 4.2.4) en filterlagen (voor de definitie, zie paragraaf 4.2.3) onder een toplaag van zwaardere sorteringen.

De twee resterende lichte sorteringen worden in de binnenwateren voornamelijk gebruikt voor statisch stabiele toplagen van taludbekledingen.

Grind

Voor speciale toepassingen, zoals bijvoorbeeld windsurfstranden, wordt soms de voorkeur gegeven aan het gebruik van grind. De redenen daarvoor kunnen zijn de aanblik, of de vorm van de afzonderlijke stenen. Grind is meestal lichter van kleur en kent diverse kleurschakeringen. Bovendien is grind rond van vorm, in tegenstelling tot gebroken steen, waardoor het aantrekkelijker is om met blote voeten te belopen.

Ondanks het verschil in vorm tussen grind (rond) en breuksteen (hoekig) wordt voor beide materialen een zelfde wijze van dimensioneren van (dynamisch stabiele) grindstranden toegepast. Grind wordt bij voorkeur op flauwe taluds toegepast. Voor meer informatie over dynamisch stabiele taluds en de wijze van dimensioneren hiervan wordt verwezen naar paragraaf 7.4.

4.2 OPBOUW BREUKSTEENTOEPASSINGEN

4.2.1 ALGEMEEN

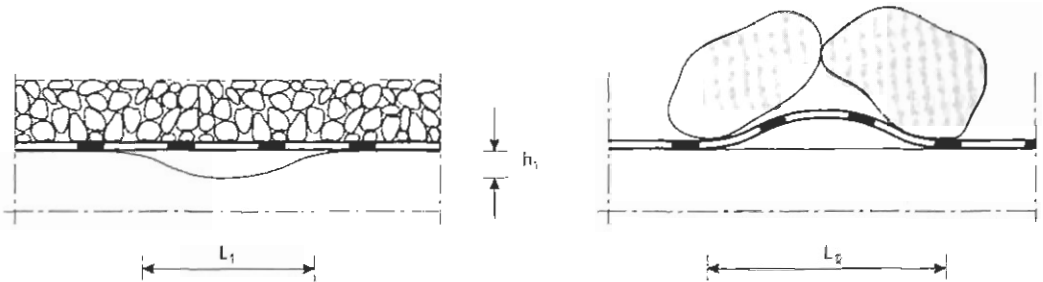
Een breuksteenconstructie kent meestal een kenmerkende verticale opbouw. De bovenste laag, de toplaag, bestaat uit een laag breuksteen, die bestand is tegen de erop werkende stroom- en golfbelastingen. Onder de toplaag bevindt zich een filter dat ervoor moet zorgen dat geen gronddeeltjes van de ondergrond door de verdediging heen uitspoelen.

Het filter wordt meestal rechtstreeks op het vlak afgewerkte beloop van de ondergrond aangebracht. Het filter kan bestaan uit een laag fijne stenen of grind maar ook uit een zanddicht geotextiel.

4.2.2 ONDERGROND

De volgende eigenschappen van de ondergrond van een breuksteentoepassing zijn van belang: de taludhelling, de onregelmatigheid, de erosie- en zettingsgevoeligheid en korrelgrootte. Bij de

aanleg van een verdediging vindt meestal een herprofilering van de ondergrond plaats om de gewenste helling van het talud te realiseren of om de onregelmatigheid te verminderen. Bij te steile taluds kan de verdediging in zijn geheel afschuiven of kan een grondmechanische instabiliteit optreden. De ondergrond moet tamelijk vlak zijn om een goede aansluiting tussen de verdedigingsconstructie en de ondergrond te kunnen waarborgen. In de onderstaande afbeelding worden voorbeelden van een slechte aansluiting van een geotextiel op de ondergrond geïllustreerd.



Afbeelding 4.1 Voorbeelden van een slechte aansluiting van het filter op de ondergrond

Als vuistregel kan worden aangenomen dat de diepte van de oneffenheid (h_1) in de ondergrond kleiner moet zijn dan 0,1 à 0,2 keer de lengte van de oneffenheid (L_1) [7]:

$$h_1 < (0,1 \text{ à } 0,2) L_1$$

Ruimte tussen het geotextiel en de ondergrond kan ook ontstaan doordat het geotextiel niet vlak op de ondergrond is gelegd, zie bovenstaande afbeelding. Hierbij geldt als regel dat de lengte van de plooi (L_2) in het doek kleiner moet zijn dan 0,03 m, zie afbeelding 4.1:

$$L_2 < 0,03 \text{ m}$$

Ook te grote zettingen na aanleg kunnen de verdediging plaatselijk beschadigen.

4.2.3 FILTER

Breksteen, die direct op de ondergrond wordt gelegd, heeft door erosie van gronddeeltjes onder de stenen, de neiging om in die ondergrond weg te zakken. Omdat dit niet de bedoeling is, is het filter een essentieel onderdeel van breksteenconstructies. Het betreft een breksteenconstructie, die wel waterdoorlatend is en blijft, maar waar geen gronddeeltjes door heen kunnen worden uitgespoeld.

Bij onvoldoende filterwerking spoelen door de waterbeweging in en door de constructie gronddeeltjes door de open ruimte van de breksteenverdediging. De hierdoor ontstane erosie kan een aanliggende constructie of de breksteentoepassing zelf ondermijnen, waardoor uiteindelijk die constructie of de verdediging kan falen.

Filters kunnen zijn opgebouwd uit granulair materiaal, een geotextiel, een gevlochten mat van wilgentenen, een composiet (een combinatie van diverse geotextielen), of een combinatie waarbij

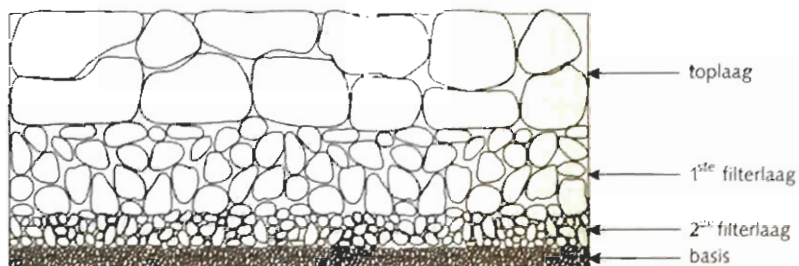
relatief fijn granulair materiaal is verpakt in een geotextiel of een gaas. Op de eerste drie wordt hieronder ingegaan.

Granulaire filters

Granulaire filters bestaan uit meerdere lagen stenen. Die lagen zijn zo opgebouwd dat de stenen of korrels uit de onderliggende lagen, inclusief de ondergrond, niet door de erboven liggende lagen heen kunnen worden uitgespoeld. Daartoe worden naar boven toe lagen toegepast met stenen waarvan de diameter steeds groter wordt. De bovenste laag wordt gevormd door de top laag die bestand moet zijn tegen de erop werkende uitwendige belastingen. Er zijn twee typen granulaire filters:

- de geometrisch dichte filters, en
- de geometrisch open filters.

Bij geometrisch dichte filters is de ruimte tussen de stenen (of korrels) zodanig klein dat de stenen van de eronder liggende laag er niet doorheen kunnen. In een geometrisch open filter is dat wel het geval, maar daarbij wordt rekening gehouden met de demping van de belasting door het bovenliggende filter, waardoor de resterende krachten onvoldoende groot zijn om het onderliggende materiaal door het filter heen uit te laten spoelen.



Abbeelding 4.2 Opbouw granulair filter.

Een zeer simpele vuistregel voor het ontwerpen van een granulair filter luidt:

De korrelgrootte van de bovenlaag mag circa 5 x zo groot zijn als de korrelgrootte in de onderliggende laag.

Toepassing van deze vuistregel zal in het algemeen tot een zeer veilige filterconstructie leiden, vandaar in de praktijk vaak gebruik wordt gemaakt van een serie van voorwaarden voor een filteropbouw, namelijk:

- $D_{f15} / D_{b85} < 5$
- $5 < D_{f50} / D_{b50} < 60$
- $5 < D_{f15} / D_{b15} < 40$

Hierin staat de index f voor filter (= bovenliggende laag) en b voor basis (= onderliggende laag).

Verklaring van begrippen m.b.t. breuksteensorteringen, zie Deel 1: paragraaf 4.5.2

- D_{50} De zeefmaat [m] waardoor 50% van het gewicht van de partij breuksteen kan passeren
- M_{50} De massa [kg] van een denkbeeldig steenstuk uit een partij stenen waarvoor geldt dat 50% van de massa van die partij bestaat uit steenstukken die lichter zijn dan dat denkbeeldige steenstuk
- D_r Nominale steendiameter [m] geeft de ribbe van een tot een kubus geschematiseerd steenstuk waarbij het volume gelijk is gebleven
- D_{r50} De nominale diameter van een steenstuk met een massa gelijk aan die van M_{50} .
- $$D_{50} = (M_{50} \cdot \rho_s)^{1/3} \quad (\rho_s = \text{dichtheid (kg/m}^3\text{) van het materiaal)}$$

Voorbeeld:

Het filtermateriaal dat onder een toplaag bestaande uit 10–60 kg moet worden toegepast is als volgt te berekenen.

Voor 10–60 kg geldt dat bij een dichtheid van de steen van $\rho_r = 2500 \text{ kg/m}^3$,

$D_{15} = 230 \text{ mm}$, $D_{50} = 283 \text{ mm}$ en $D_{85} = 349 \text{ mm}$, zie tabel 8 van Deel 1 [1].

Uitgaande van de eis $D_{15}/D_{85} < 5$ kan de D_{85} van de onderlaag worden berekend:

$$> D_{b85} > D_{15} / 5 = 230 / 5 = 46 \text{ mm.}$$

Hieraan voldoet de sortering 30/60 mm, hiervoor geldt namelijk $D_{15} = 34 \text{ mm}$,

$D_{50} = 45 \text{ mm}$ en $D_{85} = 55 \text{ mm}$. Verder voldoet de sortering aan:

$$- 5 < D_{150} / D_{b50} = 6,3 < 60$$

$$- 5 < D_{115} / D_{b15} = 6,7 < 40$$

Op de zelfde wijze kan de filterlaag tussen de 30/60 mm en de kern worden berekend.

De dikte van een filterlaag moet minimaal 1,5 keer de steendiameter (D_n) bedragen met als praktisch minimum voor de eerste filterlaag 0,2 m en 0,1 m voor een eventueel aanwezige tweede filterlaag.

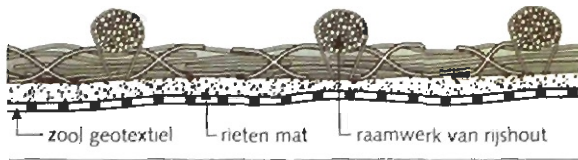
De aanleg van een granulair filter is tamelijk bewerkelijk en duur en wordt daarom in de binnenwateren niet zoveel toegepast.

Uitgebreide achtergrondinformatie over granulaire filters staat in het CUR-rapport 161 "Filters in de waterbouw" [7].

Klassieke zink- en kraagstukken

Klassieke rijshouten zink- en kraagstukken (zie ook paragraaf 7.3.4) zijn veelal gemaakt van wilgentenen, het zogenaamde rijshout [11]. De keuze van het type rijshout dat wordt gebruikt hangt af van het te beschermen bodemmateriaal. Bij zeer fijn bodemmateriaal kan een combinatie van rijshout en bladriet worden gebruikt. Deze matten, die al heel lang in de waterbouw worden toegepast, worden met breuksteen verzwaard op hun plaats afgezonken en bestort. De rijshouten matten bestaan uit een onder- en een bovenroosterwerk van wiepen met daartussen één of meer vlijlagen van rijshout. Een belangrijk deel van de werking van een klassiek zinkstuk berust op de demping van de belasting door het zinkstuk. Hoe dikker de vlijlagen hoe beter het onderliggende

bodemmateriaal tegen uitspoelen wordt beschermd. Bij zwaarbelaste toepassingen kan dit leiden tot tamelijk volumineuze constructies.



Abbeelding 4.3 Opbouw zinkstuk

Om redenen van duurzaam bouwen neemt het gebruik van klassieke kraagstukken van gebiedseigen rijshout de laatste tijd weer toe, zie CUR-rapport 194 [13]. Hierbij speelt niet alleen de afbreekbaarheid van het materiaal een rol maar ook het feit dat het bij de instandhouding van grienden vrijkomend rijshout een zinvolle toepassing krijgt.

Geotextielen

Een geotextiel bestaat voor dit soort toepassingen (filter) meestal uit een synthetisch doek dat waterdoorlatend is maar zodanig dicht dat de korrels van de onderliggende grond er niet doorheen kunnen. Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot geotextielen wordt verwezen naar CUR-rapport 174 "Geotextielen in de waterbouw".



Abbeelding 4.4 Opbouw filter met geotextiel.

Moderne geotextielen zijn duurzaam en gaan, mits goed toegepast, lang mee. Bij toepassingen waar het geotextiel slechts een tijdelijke functie heeft kan een biologisch afbreekbaar geotextiel worden toegepast. Specifieke toepassingen van biologisch afbreekbare geotextielen zijn uitgebreid beschreven in de CUR-rapporten 187 "Biologisch afbreekbare geotextielen" [12], en 194 "Vernieuwbare materialen in en rondom oevers" [13]. In de waterbouw vinden dit soort geotextielen vooral toepassing in natuurvriendelijke oeververdedigingen, waar het gedurende een aantal jaren na de aanleg de functie heeft van tijdelijke bescherming. Na verloop van tijd zal de beoogde vegetatie de verdediging op een natuurlijke wijze overnemen.

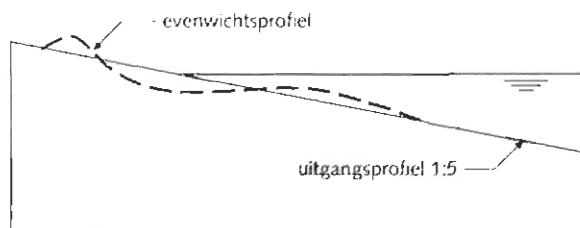
Voor toepassingen onder water wordt het (veelal synthetisch) geotextiel als een zool onder een enkelvoudig wiepenrooster aangebracht, om vervolgens geballast met breuksteen als zink- of kraagstuk toegepast te worden. Op taluds is het van belang dat de bovenste wiepen evenwijdig aan het talud lopen, omdat daarmee de breuksteen maximaal wordt ondersteund en het naar beneden rollen van de stenen wordt voorkomen. Dit type filter wordt bij de in dit handboek bedoelde breuksteentoepassingen veel toegepast.

Een wiepenrooster met synthetisch geotextiel als zoolstuk is bij de aanleg goedkoper dan een klassiek zink- of kraagstuk. Bij de vervanging vormen het opruimen, het afvoeren en het verbranden van de grote hoeveelheden kunststof door een verwerkingsbedrijf echter extra kostenposten, waardoor de kosten van een klassiek kraagstuk uiteindelijk goedkoper kunnen uitvallen [8].

4.2.4 TOPLAAG

De toplaag van taludverdedigingen bij golfbelasting moet stabiel zijn uitgevoerd. Er is sprake van twee soorten stabiliteit, namelijk statische en dynamische stabiliteit. Onder maatgevende belastingen zullen bij statisch stabiele toplagen de individuele stenen mogelijk een beetje bewegen, maar het dwarsprofiel verandert niet. Een statisch stabiele toplaag bestaat uit een dunne laag zware stenen op een relatief steile (1:2–1:4) helling. We spreken hier over de relatieve dikte van de breuksteenlaag omdat die dikte meestal wordt uitgedrukt in de diameter van de toegepaste stenen. De minimale laagdikte van een toplaag bij een statisch stabiele constructie moet $1,5 D_{n50}$ zijn. Bij de sorteringen 5–40 kg en 10–60 kg komt dat neer op respectievelijk 0,29 m en 0,36 m indien een dichtheid van de steen van $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$ wordt toegepast, zie Bijlage I.

Bij dynamisch stabiele verdedigingen verplaatst het materiaal zich wel, er blijft echter in het dwarsprofiel wel evenveel materiaal aanwezig. Het evenwichtsprofiel krijgt een S-vorm. Voorbeelden van dynamisch stabiele oevers zijn zand- en grindstranden.

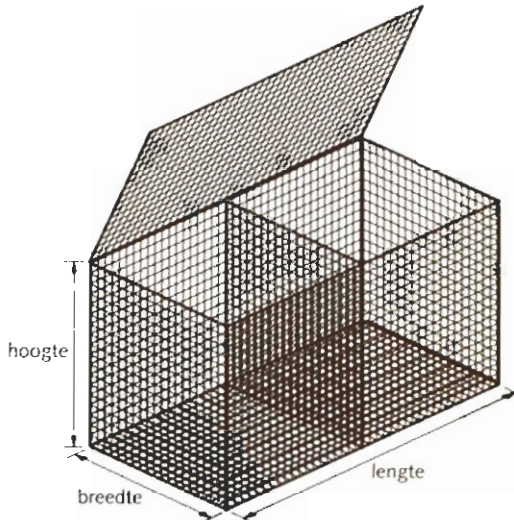


Abbeelding 4.5 Evenwichtsprofiel bij taludhelling 1:5.

Een dynamisch stabiele oever heeft een betrekkelijk flauwe (1:5–1:15) helling met daarop een relatief dikke laag kleine stenen of grind. Deze laag is dik om de grootst verwachte vormverandering op te kunnen vangen. Bij dynamisch stabiele constructies is de laagdikte afhankelijk van de grootte van de verwachte vervorming om de evenwichtssituatie te bereiken. Hoe dichter het aangelegde profiel die van de evenwichtssituatie benadert, hoe kleiner de benodigde laagdikte bij aanleg kan zijn.

4.2.5 SCHANSKORVEN

In de paragrafen 4.2.1 ... 4.2.4 is steeds sprake geweest van toepassingen van los gestorte breuksteen. Een bijzondere toepassing is die waarbij een fijne sortering breuksteen is opgesloten in een omhulsel van gaas. We spreken dan van schanskorven of van schanskorfmattressen. Als de breedte in dezelfde orde van grootte is als de hoogte dan wordt dit een schanskorf genoemd. Bij schanskorfmattressen is de dikte klein ten opzichte van de horizontale afmetingen. Een andere in de literatuur veel gebruikte naam voor een schanskorf is "gabion".



Abbeelding 4.6 Schanskorf (leeg).

De korf bestaat uit thermisch verzinkt, geplastificeerd of kunststof gaas. Schanskorven zijn leverbaar in de volgende standaard maten:

- lengte 2, 3 of 4 m met om de meter een tussenschot;
- breedte 1 of 2 m;
- hoogte 0,5 of 1 m.

De meest gangbare afmetingen voor schanskorfmatrassen zijn:

- lengte 3 tot 6 m;
- breedte 2 of 3 m;
- hoogte 0,15 tot 0,30 m, maar minimaal $1,8 D_{r50}$.

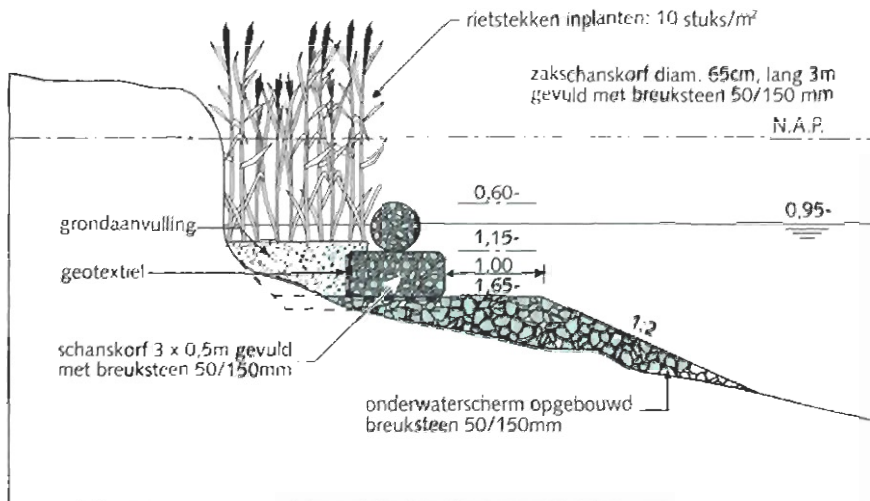
Schanskorven kunnen ook als worst ("tube") worden geleverd met een ronde doorsnede.

De korf wordt in gevouwen toestand aangevoerd en op het werk in elkaar gezet met behulp van bijgeleverd binddraad. Vervolgens wordt de korf in het werk geplaatst, gevuld met breuksteen en afgesloten. Plaatsing van gevulde korven is ook mogelijk. Daardoor zijn schanskorven ook voor onderwater doeleinden inzetbaar.

Schanskorven vinden toepassing in o.a.:

- oeververdediging;
- dijkbekleding;
- bodemverdediging.

In binnenwateren is toepassing van schanskorven alleen als oeververdediging aan de orde.



Abbeiding 4.7 Toepassing schanskorven als oeeververdediging.

De duurzaamheid van een schanskorf wordt met name bepaald door het gebruikte gaasmateriaal voor de korven in relatie tot het milieu waarin de korf wordt toegepast. In zure watersystemen ($\text{pH} < 6$) kan de zinklaag van de korf worden aangetast; daarom is in afgesloten watertjes met een venige dan wel een zandige bodem de toepassing van verzinkte korven niet aan te bevelen. Ook bij toepassing van schanskorven in een zout milieu moet er op worden gelet dat een juiste keuze wordt gemaakt met betrekking tot het toegepaste materiaal voor de korf. Op vrij toegankelijke plaatsen moet rekening worden gehouden met vernieling van de korven. Afhankelijk van het milieu en van de kans op schade kunnen schanskorven tot enkele tientallen jaren meegaan.

Een groot voordeel van schanskorven is het feit dat er met het gebruik van lichte steensorteringen toch een hoge stabiliteit te bereiken is. De steengrootte van de breuksteen in de korf is meestal in de orde van de helft van de steengrootte die zou zijn gebruikt als de breuksteen losgeplaatst zou zijn. Schanskorven zijn goed waterdoorlatend en veelal is een filter of geotextiel nodig om erosie van de ondergrond te voorkomen. Schanskorven nemen weinig ruimte in beslag. Schanskorfmatrassen als onderdeel van een taludverdediging kunnen doorgroeid raken waardoor zij op den duur niet meer opvallen.

In Bijlage III wordt de stabiliteitsformule voor het dimensioneren van de toe te passen stenen in de schanskorven gegeven.

4.3 OVERGANGSCONSTRUCTIES

Overgangsconstructies zijn al die delen van een constructie waar een discontinuïteit aanwezig is. Deze overgangen vormen een belangrijk punt van aandacht, zowel in de ontwerp- en uitvoeringsfase, als in de gebruiksfase, omdat het begin van schade aan breuksteen constructies veelal daar begint. Overgangsconstructies zijn in de volgende twee categorieën in te delen:

- beëindigingen van constructies, en
- onderlinge aansluitingen.

Bij taludverdedigingen vormen het begin en het eind van de verdediging overgangsconstructies en zijn de onderbegrenzing, de zogenaamde teen, en de bovenbegrenzing van de verdediging belangrijke aandachtspunten. Het begin en eind van de verdediging wordt bepaald door de noodzaak van de verdediging. In zijn algemeenheid kan er weinig over gezegd worden waar de verdediging moet beginnen en eindigen. Dat hangt te veel van de lokale omstandigheden af. Richtlijnen voor de boven en onder begrenzing komen in de hoofdstukken "Taludbeschermingen" en "Dammen en drempels", resp. hoofdstuk 7 en 9 aan de orde.

Bij bodemverdedigingen wordt de plaats van aansluitingen met de onverdedigde bodem bepaald door de benodigde breedte en lengte van de verdediging. Meer hierover in hoofdstuk 8, "Bodemverdediging".

Aan een overgangsconstructie zijn de volgende eisen te stellen:

1. De overgangsconstructie moet minstens even sterk zijn als de aansluitende bekledingen.
2. De waterdoorlatendheid moet minstens even groot zijn als die van de meest waterdoorlatende van de aansluitende constructies
3. De overgangsconstructie moet flexibel zijn, zodat ongelijke lokale zettingen van de ondergrond eenvoudig kunnen worden gevolgd
4. De overgangsconstructie moet duurzaam zijn.

In de ontwerpfase is het van belang deze overgangsconstructies goed te ontwerpen zowel wat betreft de zwaarte en afmetingen als de praktische uitvoerbaarheid. In de uitvoeringsfase is het zaak deze constructies nauwkeurig te realiseren, terwijl in de gebruiksfase deze delen goed geïnspecteerd moeten worden om het begin van schade in een vroegtijdig stadium te ontdekken en om tijdig onderhoudsmaatregelen te kunnen uitvoeren.

In zijn algemeenheid kan worden aanbevolen om:

- het aantal overgangsconstructies tot een minimum te beperken, en
- een overgangsconstructie niet toe te passen op de plaats waar de zwaarste belasting wordt verwacht.

4.4 SCHADEMECHANISMEN

Bij het ontwerp van een breuksteenconstructie gaat het niet alleen om de zwaarte van de stenen en de dikte van de toplaag. Er zijn meer oorzaken dan een te lichte toplaag waardoor een breuksteenconstructie kan falen. Zo kan een onvoldoende hoog opgetrokken oeververdediging door golfaanval (op- en terugloop) van bovenaf, of door een onvoldoende teenconstructie van onderaf worden ondermijnd. Door een onvoldoende filterwerking kan grondverlies aanleiding geven tot versteiling van de constructie met uiteindelijk als gevolg een afname van de stabiliteit van de toplaag, een afschuiving van de verdediging of een grondmechanische instabiliteit. Te korte stortebedden leiden

tot niet-acceptabele ontgrondingskuilen, waardoor ondermijning van de constructie kan optreden. Kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering moet er voor zorgen dat door uitvoeringsfouten geen schademechanismen worden geïnitieerd.

Vooraf aan opsluit- en overgangsconstructies moet zowel bij het ontwerp als de uitvoering de nodige aandacht worden besteed om onacceptabele schade te voorkomen.

Breksteenconstructies of onderdelen daarvan kennen een aantal kenmerkende manieren waarop schade kan ontstaan. Deze kenmerkende manieren worden schademechanismen genoemd. Onder schade aan een constructie wordt in het algemeen verstaan elke, meestal destructieve, wijziging waarbij de kwaliteit van de constructie vermindert. In het geval van bijvoorbeeld een oeververdediging betekent dit dat de kans op oeverafslag toeneemt.

Het ontstaan van schade kan leiden tot het falen van de constructie. Bij falen treedt zoveel schade op dat de desbetreffende constructie zijn taak niet meer kan uitoefenen en één of meer (gebruiks)functies geheel of gedeeltelijk komen te vervallen. Bij falen is vaak sprake van een kettingreactie.

Als voorbeeld de volgende situatie: Als gevolg van een slordige uitvoering of slecht ontwerp (= oorzaak) is een oeververdediging niet grond dicht. Een gevolg daarvan is het uitspoelen van gronddeeltjes uit de ondergrond (= schademechanisme). Als gevolg daarvan treedt, al of niet plaatselijk, verzakking of versteiling van het talud op. Hierdoor neemt de stabiliteit van de toplaag af. Als dit proces zich doorzet zal het initiële schademechanisme leiden tot het bezwijken van de toplaag van de verdediging. Het onderliggende filter is niet in staat de rol van de toplaag over te nemen. Dit leidt op zijn beurt tot een grotere lokale erosie van het talud. Uiteindelijk heeft dit oeverafslag tot gevolg, en het voorkomen van die oeverafslag was nu juist één van de functies van de verdediging.

Oorzaken in dit verband kunnen zijn: ontwerp- en uitvoeringsfouten, veroudering en slijtage van de constructie, toegenomen belastingen of lokale schade door een incident zoals bijvoorbeeld een aanvaring.

Na aanleg van een constructie moet deze gedurende de vastgestelde periode in stand worden gehouden. Het is daarbij van belang de oorzaken van optredende schades zo snel mogelijk op te sporen en door onderhoudsmaatregelen een halt toe te roepen. Hierbij is het uitvoeren van regelmatige inspecties essentieel, zie paragraaf 5.4.

Hoofdstuk 5: Ontwerp- en onderhoudsfilosofie

5.1 ALGEMEEN

Bij het ontwerp en het onderhoud dient een benadering gehanteerd te worden die uitgaat van de vastgestelde functies van het betreffende watersysteem. Voorbeelden van deze functies zijn afvoer van water, ijs en sediment, scheepvaart, regionale watervoorziening, waterberging, natuur, land- schap en recreatie. Door deze functionele benadering staan vaak niet de constructies centraal, maar de eisen die vanuit die gebruiksfuncties worden gesteld. Deze functie-eisen of gebruikerseisen moeten per definitie concreet en haalbaar zijn. De constructieve vormgeving is daarbij een gevolg van de vastgestelde functie-eisen en niet een doel op zich.

Omdat vrijwel altijd sprake is van meer toegekende functies, en als gevolg daarvan ook vaak meer beheerders, is er sprake van multifunctioneel ontwerpen en beheer. Door de functionele benade- ring zijn de kosten van noodzakelijke beheersmaatregelen (aanleg, instandhouding) breed te onder- bouwen en maatschappelijk te verantwoorden.

In het handboek "Natuurvriendelijke oevers" [2] is deze ontwerp- en beheersfilosofie verder uit- gewerkt. Dit handboek beperkt zich tot het dimensioneren van zowel de benodigde afmetingen (lengte/breedte/hogte) van de breuksteentoepassing als de zwaarte en laagdikte van de toplaag en filterlaag/lagen. De multifunctioneel ontworpen vorm van de constructie (bijvoorbeeld wel of geen vooroeververdediging) is daarbij bepalend hoe de belastingen moeten worden opgevangen.

Voor verreweg de meeste toepassingen in de binnenwateren zal de keuze voor de (standaard)sortering beperkt blijven tot maximaal de sortering 10–60 kg. De mogelijke winst bij het optimaliseren van de in dit handboek bedoelde breuksteenconstructies ligt dan ook vooral bij het minimaliseren van de horizontale en verticale afmetingen van de constructie in plaats van bij de zwaarte van de sortering, ook al omdat toepassing van een lichtere sortering bij dezelfde toepas- sing veelal een betrekkelijk geringe invloed heeft op de kosten en het functionele rendement. Bovendien is voor een specifieke toepassing als een doorgroeibare oeververdediging een "open" en dus relatief dunne laag zware stenen benodigd.

Bij de uitvoering kan om allerlei redenen veel misgaan waardoor het onderhoud van de constructie sterk kan toenemen. Een goede kwaliteitszorg is dus op zijn plaats. Het risico van uitvoeringsfouten wordt echter ook beïnvloed door het ontwerp. In de ontwerpfase zal dan ook gelet moeten worden op de uitvoerbaarheid en moeilijkheidsgraad van de plannen.

Aan het einde van de levensduur van de constructie of een onderdeel daarvan, komt er een moment waarop de kosten van het onderhoud niet meer opwegen tegen de baten van de levens- duurverlenging. Vast onderhoud is dan niet meer rendabel en kan worden gestopt. Vervolgens komt na verloop van enige tijd het moment waarop het risico van functieverlies te groot dreigt te worden, en dient er gehele of gedeeltelijke vernieuwing plaats te vinden.

5.2 DUURZAAM BOUWEN

Duurzaam bouwen staat voor:

- het zuinig omgaan met primaire bouwstoffen, energie en ruimte;
- het beperken van afval en negatieve effecten op de omgeving;
- het maximaliseren van de mogelijkheden van hergebruik van materialen na de sloop;
- een integrale aanpak bij ontwerp en uitvoering.

In deze integrale aanpak past onder andere de inpassing van ecologische belangen. Bij breuksteen slaat dit zowel op de gevolgen van de winning en het transport van deze primaire bouwstof als op de toepassing ervan bij de aanleg van natuurvriendelijke constructies. Het dienen van verschillende functies en een landschappelijk verantwoorde inpassing is een voorbeeld van duurzaam bouwen.

Inlichtingen over duurzaam bouwen zijn verkrijgbaar bij het Nationaal Dubo Centrum in Rotterdam (010-4122120)

5.3 SCHADE

Schade aan breuksteentoepassingen is nooit geheel uit te sluiten. Uitsluiten van schade moet ook geen doel zijn omdat dit zou leiden tot onnodig zware, omvangrijke en dus meestal te dure constructies. Acceptatie van een bepaalde mate van schade is vanuit het oogpunt van kosten, milieu en landschap dus gerechtvaardigd.

Voor het bepalen van een acceptabel schade niveau is kennis nodig van:

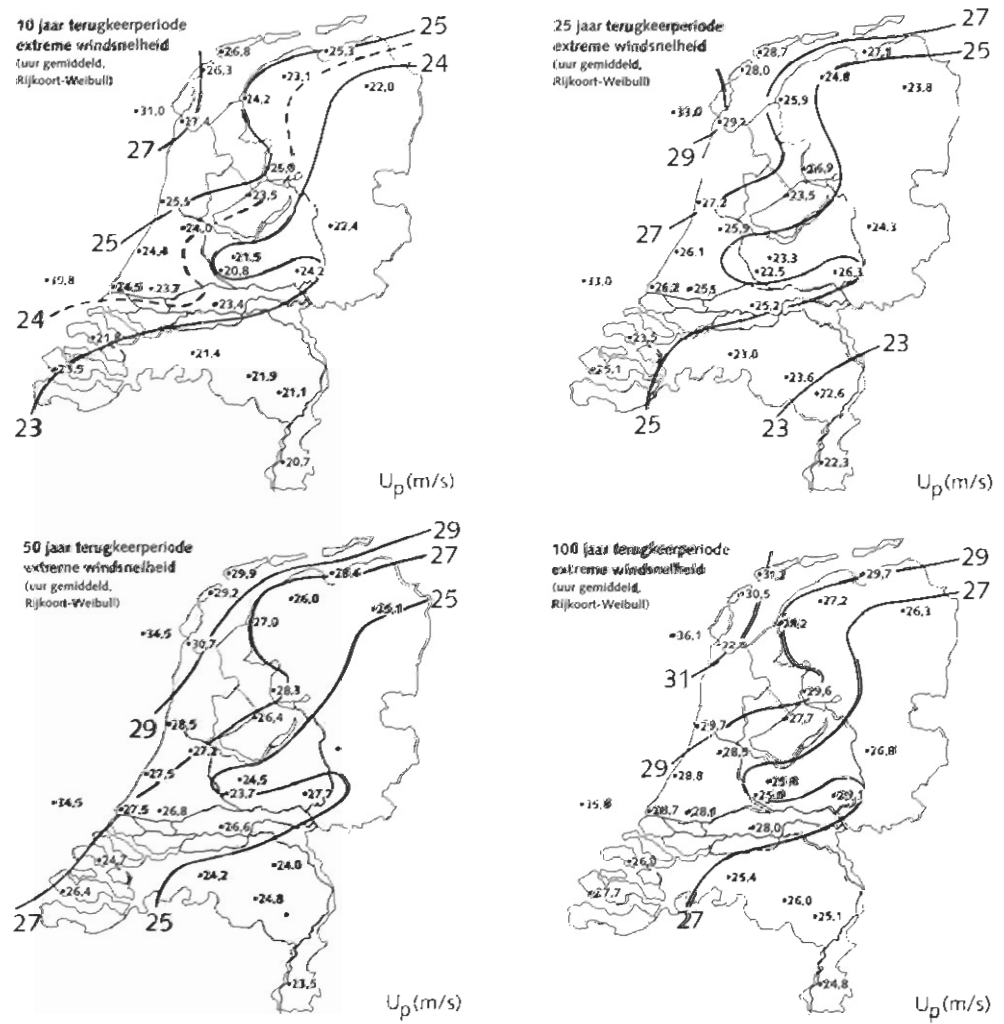
- de te verwachten schade als functie van de belasting;
- de herstelkosten;
- de meerkosten van de aanleg van een zwaardere constructie;
- de eventuele maatschappelijke gevolgkosten na het optreden van de schade; en
- het rendement van de lichtere en kleinere constructies voor het milieu (natuur en landschap).

Voor de toepassingen die in dit boek behandeld worden, kan in een aantal situaties een bewuste keuze voor lagere ontwerpbelastingen als maatgevend beschouwd worden. Lager in die zin, dat de kans op optreden van die belasting en daarbij het ontstaan van schade aanzienlijk hoger wordt. Deze schade treedt op in de vorm van het verdwijnen van een aantal stenen uit de breuksteenconstructie, het vervormen van de constructie en mogelijk enige erosie of afslag van het beschermde profiel. Deze vormen van schade kunnen snel worden hersteld, zonder dat daarvoor hoge kosten moeten worden gemaakt. Hierna wordt aangegeven wanneer schade wel en wanneer schade niet kan worden geaccepteerd bij het bewust hanteren van een te lage maatgevende belasting.

Bij constructies, die worden belast door windgolven, moet voor de bepaling van de maatgevende golfhoogte een windsnelheid worden gekozen. In gevallen waarbij schade aan de breuksteentoepassing een beperkt gevolg heeft voor het er achter gelegen land, kan die windsnelheid worden gekozen, die een frequentie van voorkomen van eens in de tien jaar heeft. Dit is vaak heel goed mogelijk bij bijvoorbeeld (voor)oeververdedigingen. Een vooroeververdediging is een verdediging die voor de werkelijke oever is geplaatst. Schade aan zo'n verdediging heeft gevolgen voor de

begroeiing daarachter en eventueel voor het achtergelegen talud. De begroeiing kan zich herstellen, het achtergelegen talud zal alleen vervormd zijn in de beperkte zone rond het waterniveau bij de betreffende storm. Omdat er bij de toepassing van een vooroeververdediging meestal sprake is van voldoende beschikbare ruimte, hoeft deze beperkte erosie geen bedreiging te zijn voor het achterland. De vooroeververdediging kan na het constateren van opgetreden schade in veel gevallen eenvoudig worden hersteld door het bijstorten van breuksteen.

Wanneer de mogelijke schade aan de breuksteenconstructie grotere gevolgen kan hebben, bijvoorbeeld wanneer afslag van het talud kan leiden tot doorbraak van een kade of tot schade aan een aangrenzende weg, is het verstandig een hogere maatgevende belasting toe te passen. Bijvoorbeeld een belasting die hoort bij een windsnelheid die eens in de vijftig of eens in de vijftig jaar voorkomt. In afbeelding 5.1 wordt een overzicht gegeven van de in ons land te verwachten windsnelheden met respectievelijk een frequentie van voorkomen van 1/10, 1/25, 1/50 en 1/100 jaar [18]. Voor constructies, die belast worden door uit oostelijke richting komende golven, mag de in afbeelding 5.1 weergegeven windsnelheid met 5 m/s worden verminderd.



Afbeelding 5.1 Terugkeerperiode van extreme windsnelheden.

Welke frequentie van voorkomen wordt gekozen, hangt naast de grootte van eventuele schade af van de verwachte levensduur van de constructie. Bij een langere geplande levensduur past een hogere maatgevende windsnelheid. Ook wanneer schadeherstel minder eenvoudig is te realiseren is het verstandig te kiezen voor een minder frequent voorkomende en hogere maatgevende windsnelheid.

Dezelfde redenering als hierboven, met dezelfde terugkeerperioden van de belasting, kan worden gehanteerd bij constructies die worden belast door stroming. Ook hiervoor gelden frequenties van voorkomen, waaruit een keuze gemaakt kan worden voor de maatgevende stroomsnelheid. Deze kan lager zijn wanneer mogelijke schade door hogere snelheden is te constateren, snel is te herstellen en weinig gevolgen heeft voor het te beschermen profiel. Dit is bijvoorbeeld het geval bij regelmatig droogvallende boeklopen, waarin breuksteen is toegepast om al te grote uitschuring van bochten te verhinderen. Bij bodembeschermingen, die permanent onder water zijn gelegen, moeilijk zijn te inspecteren en/of te herstellen, is een hogere maatgevende snelheid met een langere terugkeerperiode verkiesbaar.

Wanneer waterbewegingen door scheepvaart de voornaamste belastingen vormen, hoeft er geen keuze gemaakt te worden in de frequentie van voorkomen van maatgevende golfhoogte en retourstroming. Hier dienen de maatgevende belastingen te worden afgeleid van het scheepsaanbod, vaargedrag en vaarwegreglementering, die in zeer beperkte mate uitschieters zullen hebben. In uitzonderlijke situaties kunnen hogere scheepsgeïnduceerde belastingen optreden. Deze zijn echter incidenteel en zeer beperkt van tijdsduur (hooguit een of twee scheepspassages), en dus kan er geen sprake zijn van doorgaande schade.

5.4 INSPECTIES EN ONDERHOUD

In zijn algemeenheid worden onderhoudsmaatregelen geïnitieerd op basis van leeftijd of toestand van de constructie. In die gevallen waarin geen vaste relatie bestaat tussen het functioneren van de constructie en de leeftijd, of wanneer die relatie (nog) niet bekend is, moet op basis van de werkelijke toestand het noodzakelijk onderhoud worden gepland. Dit laatste is vrijwel altijd van toepassing voor breuksteenconstructies. De meeste van de in dit handboek bedoelde breuksteen-toepassingen bevinden zich onder water en zijn daarom aan het directe zicht onttrokken. Daarom valt het begin van schade niet direct op. In dat geval zullen inspecties nodig zijn om die werkelijke toestand te bepalen.

Inspecties worden uitgevoerd om de toestand van een constructie vast te stellen. Die inspecties zijn gericht op die aspecten die bepalend zijn voor de functievervulling van de gehele constructie. Vervolgens wordt op basis van de inspectieresultaten een inschatting gemaakt van het moment waarop de risico's van functieverlies te groot worden, en daarmee van het moment waarop naar alle waarschijnlijkheid onderhoud moet worden uitgevoerd. In een inspectieplan kunnen van tevoren de frequenties van de inspecties zijn vastgelegd, waarbij de frequentie toeneemt naarmate de toestand van de constructie meer kritiek wordt. Hoe eenduidiger de inspecties worden uitgevoerd hoe meer waarde deze krijgen om de conditieverandering van de constructie, en daarmee van de benodigde onderhoudsbudgetten, te voorspellen.

Breksteen constructies zullen met een zekere regelmaat moeten worden geïnspecteerd op mogelijke schade. Met name inspectie op de volgende aspecten is van belang:

- verandering van de steilheid van het talud, mogelijk als gevolg van lokaal afschuiven van het talud of door erosie van de ondergrond;
- verandering in de dikte van de topklaag en/of het ontstaan van gaten in de topklaag;
- teenerosie;
- ongelijke zakking (zetting).

Het is belangrijk om de toestand van de constructie zoals deze net na aanleg aanwezig was, bijvoorbeeld in een legger, vast te leggen. Inspecties van breksteenconstructies worden meestal uitgevoerd naar aanleiding van gebeurtenissen, zoals het optreden van zware belastingen (hoge golven als gevolg van extreme stormomstandigheden, hoge stroomsnelheden als gevolg van extreem hoge afvoeren e.d.) of andere indicaties van mogelijke schade aan de constructie. Toch is het aan te bevelen om ook zonder dat daar aanleiding toe is een inspectie uit te voeren. Hiermee kunnen mogelijke niet-verwachte schademechanismen tijdig worden onderkend. Een geplande inspectie van de constructie één à twee jaar na de bouw is aan te bevelen.

Visuele inspecties gebeuren vrij frequent door het met het dagelijks onderhoud belaste personeel. Visuele inspectie blijft voor breksteenconstructies de belangrijkste methode van inspectie. Met name voor het gedeelte van de constructie dat onder water aanwezig is en dus niet in het zicht bevindt, moet gebruik worden gemaakt van andere inspectiemiddelen, zoals de peilstok en het echolood.

De grote variabele onderhoudsmaatregelen worden uitgevoerd als het risico van functieverlies onacceptabel groot dreigt te worden. Dat tijdstip wordt meestal aan de hand van inspecties bepaald en is in plannings op te nemen. Om dat tijdstip zo lang mogelijk uit te stellen wordt tussentijds vast (of klein) onderhoud uitgevoerd. Tegenover de kosten van vast onderhoud staan de baten in de vorm van het uitstel van de uitgaven voor het grote variabele onderhoud. Hierbij dient een economische afweging gemaakt te worden tussen de kosten en de baten.

Hoofdstuk 6: Uitvoeringsaspecten

6.1 ALGEMEEN

De uitvoering bepaalt in belangrijke mate de kwaliteit van de breuksteenconstructie. Zorgvuldig ontworpen constructies zullen bij slordige uitvoering niet de verwachte kwaliteit bieden, zodat de onderhoudskosten hoger en de levensduur korter zullen uitvallen.

De uitvoering omvat globaal de volgende stadia:

1. Bepaling van de vereiste maatvoering en nauwkeurigheidstoleranties en de daaruit voortvloeiende te verwerken hoeveelheden.
2. De aanvoer van de breuksteen en de keuring hiervan.
3. Het aanbrengen (storten) van de breuksteen en de daarbij behorende procesbeheersing.
4. Controle van het eindresultaat.

In dit hoofdstuk zal nader op deze vier stadia van een project worden ingegaan.

6.2 NAUWKEURIGHEDEN EN HOEVEELHEDEN

Na aanleg zal de bestorting moeten voldoen aan de volgende eisen:

- De breuksteen zal moeten voldoen aan de eigenschappen die bij de overeengekomen sortering horen. Dit betreft met name zaken als gewicht, grootte, gradering en duurzaamheid van de breuksteen.
- De breuksteen zal voldoende gelijkmatig en in voldoende mate (laagdikte [m] en massa [kg/m^2]) moeten zijn aangebracht,
- De verschillende stortvakken moeten goed op elkaar aansluiten.

Het ontwerp van de constructie geeft aan welke sorteringen in de verschillende lagen van de breuksteenconstructie moeten worden toegepast. Ook wordt hierbij aangegeven wat de minimale, gerealiseerde laagdikte moet zijn. Vanaf de sortering 5–40 kg wordt deze laagdikte aangegeven als 1,0 à 2,0 $D_{n,0}$, voor lichtere sorteringen wordt meestal een meer praktische maat van 0,20 à 0,30 m gehanteerd [10].

Om er zeker van te zijn dat in het uiteindelijke werk de theoretisch benodigde laagdikten nergens wordt onderschreden moet hieraan een zekere marge worden toegevoegd. Deze marge omvat de onzekerheden verbonden aan het aanbrengproces.

Om aan de aldus bepaalde ontwerpeis van de laagdikte te kunnen voldoen moet een percentage steen extra worden gebruikt vergeleken met de theoretisch noodzakelijke hoeveelheid.

De mate waarin de uitvoeringsonnauwkeurigheid moet worden meegenomen in de uiteindelijke ontwerpeis is te beïnvloeden en wel door:

- de keuze van de uitvoeringsmethode;
- de mate waarin de uitvoering kan worden beheerst;
- de mate waarin het gemaakte werk kan worden gecontroleerd.

De marge die voor onnauwkeurigheid van het gemaakte werk dient te worden gehanteerd is afhankelijk van de verwachte standaardafwijking van het gemaakte werk. Voor bestortingen onder water worden voor de standaardafwijkingen in de laagdikte de volgende waarden aangenomen [7]:

- $0,5 D_{n50}$ voor sorteringen vanaf 5–40 kg,
- 0,10 m voor lichtere sorteringen.

Bij de voorbereiding moet rekening worden gehouden met een extra hoeveelheid te storten materiaal die afgestemd is op 1 à 2 keer deze standaardafwijkingen. Door het minimaliseren van de uitvoeringsonnauwkeurigheid kan de ontwerpeis voor de laagdikte worden verlaagd

Voorbeeld:

- breuksteen 5–40 kg ($\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$): $D_{n50} = 0,19 \text{ m}$,
- theoretisch benodigde laagdikte $1,5 D_{n50} = 0,29 \text{ m}$ (te storten 435 kg/m^2 , indien het holle ruimte percentage 40% is),
- praktisch aan te brengen hoeveelheid $0,29 + 1,0 \times \text{standaardafwijking} = 0,29 + 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,19 = 0,39 \text{ m}$ (te storten 585 kg/m^2).

In de voorbereidingsfase is het van belang dat wordt vastgelegd hoe het werk wordt uitgevoerd en hoe en met welke nauwkeurigheid de controle zal plaatsvinden. Op basis van deze gegevens kunnen dan vervolgens de ontwerpeisen worden vastgesteld.

6.3 CONTROLE VAN DE AANGEVOERDE BREUKSTEEN

De materialen voor toplagen en filters die geleverd worden moeten vóór gebruik gecontroleerd worden of ze wel of niet voldoen aan de overeengekomen specificaties. Belangrijke gegevens in dit verband zijn:

- de dichtheid van de geleverde breuksteen;
- de massa- en korrelverdeling;
- de weerstand tegen vorst- en dooiwisselingen.

In Deel 1 [1] van dit handboek wordt uitgebreid ingegaan op de eigenschappen waaraan een partij breuksteen moet voldoen en hoe de kenmerkende grootheden zijn te meten. In Bijlage I staan de marges waarbinnen de kenmerkende grootheden van een standaardsortering mogen variëren.

6.4 AANLEG VAN DE CONSTRUCTIE

Bij de uiteindelijke aanleg wordt in hoge mate de kwaliteit van de constructie bepaald. De aanleg van relatief eenvoudige breuksteenconstructies kan in vier fasen worden onderverdeeld, namelijk:

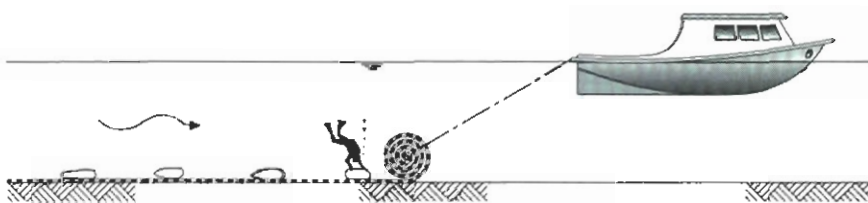
1. Het gereedmaken van de ondergrond.
2. Plaatsen van de filterconstructie (granulaire filterlaag, geotextiel of zink- dan wel kraagstuk).
3. Aanbrengen toplaag.
4. Aanbrengen van de beplanting, met name bij natuurvriendelijke oevers is dit een belangrijke fase.

Het gereedmaken van de ondergrond is met name bij taludbekledingen een belangrijke fase in de uitvoering. Tijdens het gereedmaken van de ondergrond wordt de aanwezige bovenlaag verwijderd, het gewenste profiel (taludhelling) wordt in de ondergrond aangebracht en de ondergrond vlak afgewerkt. In de meeste gevallen wordt een hydraulische kraan al dan niet in combinatie met een grondwerker voor dit werk ingezet. Het vlak afwerken van de ondergrond is belangrijk voor met name de kwaliteit van de filterlaag, die hier direct op wordt geplaatst, zie ook paragraaf 4.2.2. Bij een bodembescherming bestaat het gereedmaken van de ondergrond uit het op de juiste diepte brengen van de ondergrond en het vlakken van de ondergrond.

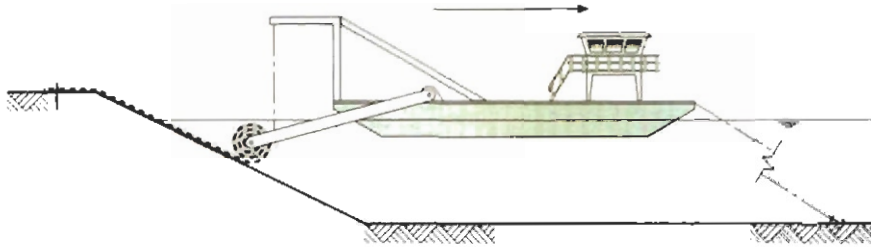
Geotextielen worden gewoonlijk in rollen geleverd. De breedte van zo'n rol kan variëren van 2 tot 5 m. Voor het optillen en verplaatsen van een rol wordt veelal gebruik gemaakt van een stalen balk of pijp die door de rol heen kan worden geschoven. Bij verwerking van geotextielen boven water worden de stroken met een overlap van 0,3 tot 0,5 m in het werk aangebracht. De rol met het geotextiel wordt voor de verwerking op het talud geplaatst en vervolgens of mechanisch of handmatig van de rol gewikkeld, beginnend vanaf de bovenzijde van het talud. Als de taludverdediging zich onder de waterlijn doorzet, wordt het geotextiel al dan niet met behulp van een duiker vastgelegd met stenen, zandzakken of pennen. Hierna kan het talud worden afgestort. Bij toepassing onder water (bij een bodemverdediging bijvoorbeeld) wordt het geotextiel op de onderwaterbodem uitgerold en met bijvoorbeeld door duikers aangebrachte stenen of zandzakken op zijn plaats gehouden. Bij verwerking onder water wordt een overlap van 1 m aangehouden. Er wordt tegen de stroomrichting in gewerkt om zodoende de overlap goed te krijgen.

Belangrijke kwaliteitsaspecten bij het aanbrengen van een geotextiel zijn:

- de vlakheid van de ondergrond, en
- de volledige aansluiting van de verschillende banen.

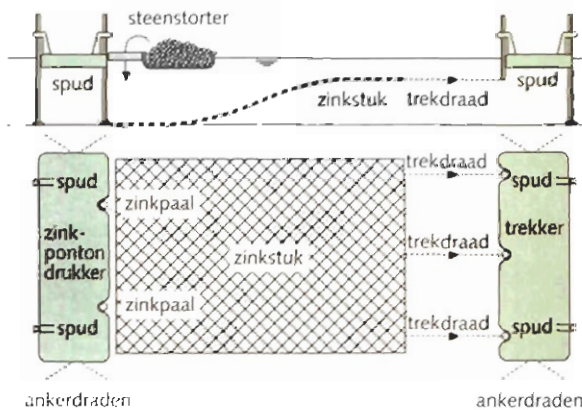


Abbeelding 6.1 Uitrollen van een geotextiel op de bodem met duikers.

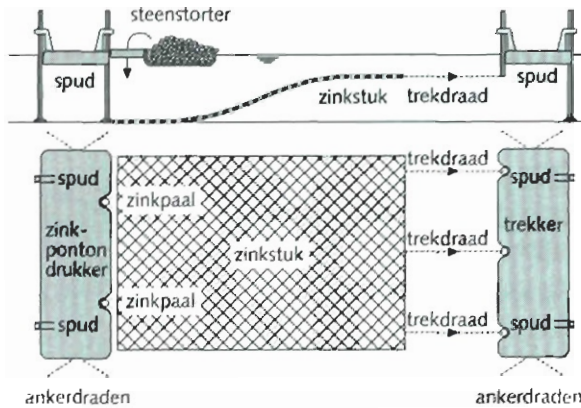


Afbeelding 6.2 Uitrollen van geotextiel op een talud.

Een zinkstuk wordt op een geschikte locatie in de buurt samengesteld en vervolgens drijvend naar de plaats van verwerking gesleept. Hier wordt door het aanbrengen van ballast het zinkstuk afgezonden. Voor het vervoer en afzinken wordt een zink- en/of staartbaik aangebracht die het zinkstuk tijdens het vervoer en het afzinken gestrekt houdt. Het aanbrengen van de ballast gebeurt met een kraan die volgens een vooraf gekozen patroon het materiaal aanbrengt. Voor grote werken en aan dieper water wordt veelal gebruik gemaakt van een afvierponton. Om een goede aansluiting tussen de verschillende zinkstukken te bewerkstelligen steekt het geotextiel, dat als zool van het zinkstuk wordt gebruikt, 0,5 tot 1,0 m uit. Het rijshouten gedeelte van de aanliggende zinkstukken wordt zo goed mogelijk aansluitend tegen elkaar aangelegd.



Afbeelding 6.3 Aanbrengen zinkstuk met behulp van pontons.



Afbeelding 6.4 Plaatsing van een kraagstuk.

Breuksteenconstructies kunnen zowel onder als boven water worden aangelegd. De in dit handboek bedoelde typen constructies worden grotendeels onder water aangelegd. De aanvoer van breuksteen naar het werk gebeurt meestal per schip en soms per vrachtauto. Bij toepassingen onder water moet, vanwege het ontbreken van zicht op het gemaakte werk, de nodige aandacht aan de procesbeheersing worden besteed. Onder procesbeheersing wordt verstaan, dat gedefinieerde hoeveelheden materiaal op gedefinieerde plotpunten worden geplaatst (gestort). Indien dit op een zorgvuldige manier gebeurt hoeft er achteraf geen extra controle te worden uitgevoerd. Dit geldt zowel voor het aanbrengen van breuksteen als voor filterconstructies. Veel aandacht moet worden besteed aan de overgangs- en opsluitconstructies, omdat bij slechte uitvoering daarvan de grondichtheid of de stabiliteit in gevaar kan komen.

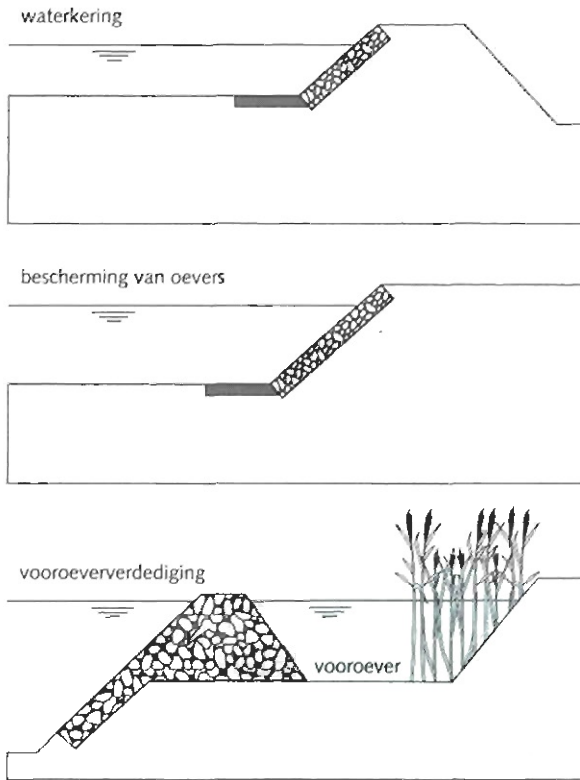
6.5 CONTROLE VAN HET GEMAAKTE WERK

Het controleren van het gemaakte werk is, voorzover dit werk zich boven water bevindt, redelijk goed te doen. Breuksteenconstructies die zich onder water bevinden zijn minder eenvoudig en vooral ook minder nauwkeurig te controleren, zonder dat hiervoor dure meetapparaten worden gebruikt. De fouten en onnauwkeurigheden die zich bij het peilen onder water kunnen voordoen maken dat hierbij de uitdrukking "meten is weten" niet altijd op hoeft te gaan. In deze omstandigheid is controle vooraf van de toe te passen breuksteen en een goede procesbeheersing en -controle meer maatgevend voor de uiteindelijke kwaliteit van het gemaakte werk dan controle achteraf.

Hoofdstuk 7: Taludverdediging

7.1 ALGEMEEN

Een taludverdediging is een uit breuksteen bestaande, grondbedekkende constructie op een talud, met als doel om erosie van de onder- en achterliggende grond als gevolg van golf- en stroomaanval te voorkomen.



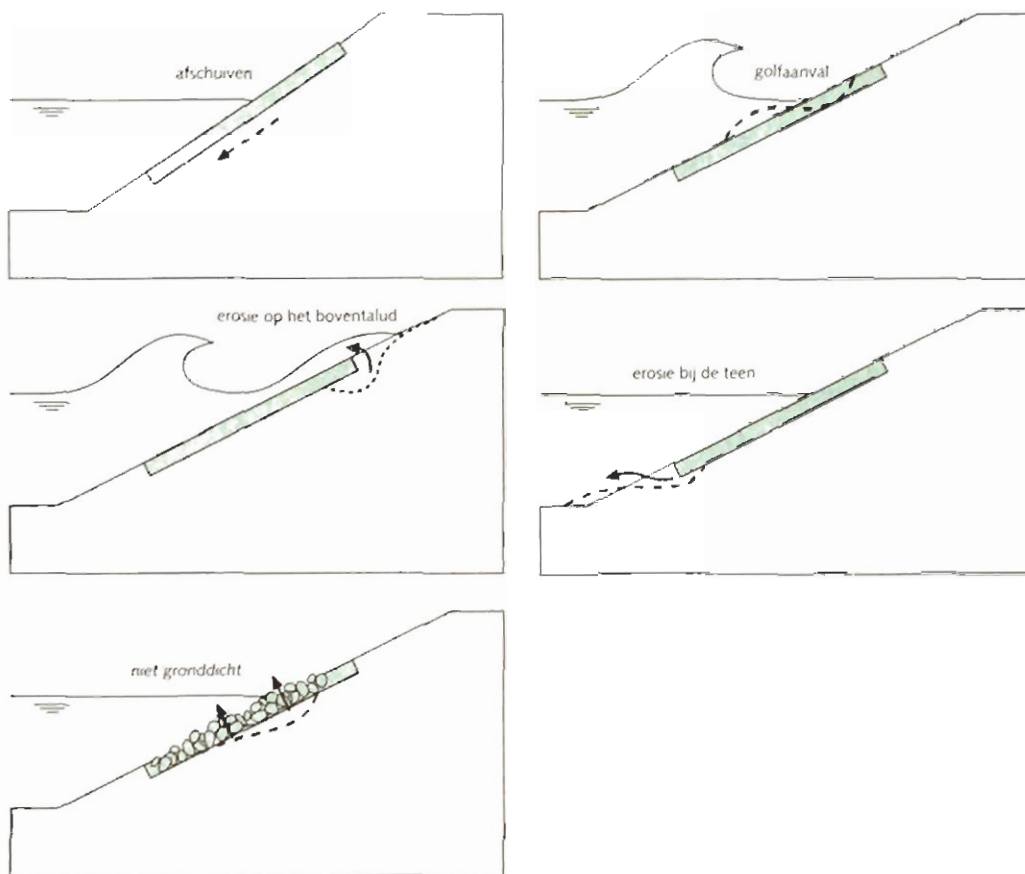
Abbeelding 7.1 Schematische voorstelling van taludverdedigingen.

7.2 SCHADE- EN FAALMECHANISMEN

Een constructie faalt als deze zijn functie niet meer kan vervullen. De hoofdfunctie van een breukstenen taludverdediging is zoals gezegd het voorkomen van erosie van de onderliggende grond.

Enkele bekende faalmechanismen zijn:

- afschuiven van de taludverdediging;
- aantasting van de toplaag bijvoorbeeld door golf- en stroombelasting;
- erosie van de grond boven de taludverdediging door golfploep;
- erosie van de grond onder de verdediging vanwege een gebrekkige teenconstructie;
- erosie doordat de taludverdediging niet grond dicht is.



Afbeelding 7.2 Faalmechanismen.

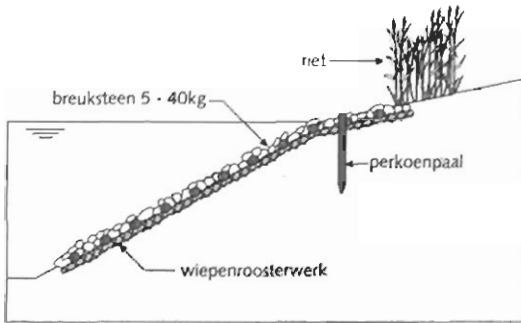
Vandalisme, recreatie en aanvaring zijn andere bronnen voor schade aan een taludbekleding. Deze bronnen voor schade zullen in dit hoofdstuk niet verder worden behandeld.

Het gevolg van eventueel falen van de taludverdediging verschilt per toepassing:

- bij een oeververdediging zal het gevolg zijn dat de oever afkalft en er landverlies optreedt en dat de waterloop lokaal ondieper wordt;
- bij een waterkering kan het gevolg groot zijn. Doordat het dijklichaam niet meer beschermd wordt kan de functie van de gehele kering in gevaar komen met alle gevolgen van dien.

7.2.1 AFSCHUIVING

Afschuiving van de taludverdediging treedt op als de wrijvingsweerstand tussen de verdediging en het te verdedigen talud te klein is. Dit fenomeen treedt op bij steile taluds of wanneer de waterdruk onder de verdediging als gevolg van een slechte doorlatendheid toeneemt. Door het afschuiven van de taludverdediging komt de onderliggende grond onbeschermd te liggen. Voor taluds flauwer dan 1:2,5 vormt afschuiving geen gevaar. Als desondanks toch een steilere taludverdediging nodig is, kan afschuiving op de volgende manieren worden voorkomen.



Afbeelding 7.3 Kraagstuk vastgezet aan perkoenpalen.

Bij toepassing van een kraagstuk op een steil talud kan afschuiving worden voorkomen door de bovenkant van het kraagstuk te fixeren met perkoenpalen. Omdat de verdediging dan als het ware is opgehangen zal de verdediging zelf op trek worden belast. Zo'n ophangconstructie is een kritiek onderdeel van de verdediging omdat bij falen van dat onderdeel de verdediging afschuift.

Afschuiving kan ook worden voorkomen door een opsluitconstructie in de vorm van een perkoenpalenrij of extra breuksteen aan de onderkant van de taludverdediging toe te passen. De bovenliggende verdediging wordt in dit geval op druk belast. Deze oplossing is alleen mogelijk als die constructie stijf genoeg is om die druk zonder vervorming op te nemen. Deze oplossing wordt vooral toegepast bij zetsteenconstructies. Voor gestorte breuksteenbekledingen onder water is een oplossing met perkoenpalen minder geschikt.

7.2.2 AANTASTING TOPLAAG

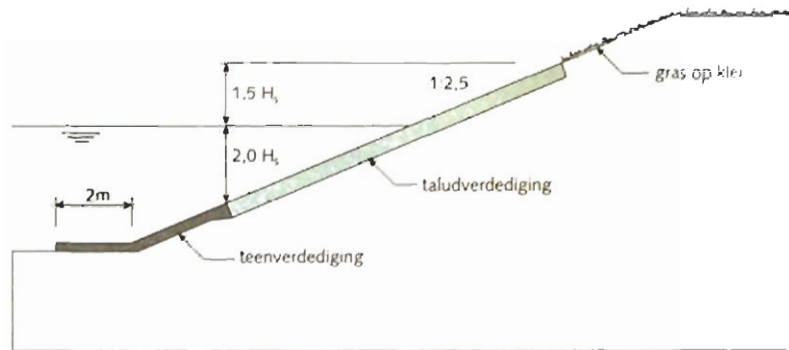
Schade aan de toplaag ontstaat door te zware golf- en stroomaanval (of te lichte steen). Door die aanval kunnen afzonderlijke stenen gaan rollen waardoor de overblijvende laag stenen plaatselijk dunner wordt. Indien er veel stenen op dezelfde plaats verdwijnen ontstaat er een gat in de toplaag. In een aldus ontstaan gat is de filterlaag en/of de ondergrond veelal niet meer voldoende beschermd en kan er in een hoog tempo een ontgrondingsgat in het talud ontstaan. Op zich is het niet erg dat er wel eens een steen van zijn plaats verdwijnt zolang dit maar niet tot gevolg heeft dat er een gat in de toplaag ontstaat. Verderop in dit hoofdstuk (paragraaf 7.3.1 en 7.3.2) zal nader op de golf- en stroombestendigheid van een breukstenen taludverdediging worden ingegaan.

7.2.3 GOLFOPLOOP

Indien er door golfoploop een te grote belasting op het niet-bestorte gedeelte van het talud komt kan daar erosie optreden. Deze erosie kan de stabiliteit van de taludverdediging van bovenaf aantasten. Vandaar dat de taludverdediging hoog genoeg moet zijn om golfoploop op te vangen. Omdat een goed ontwikkelde gras- of rietvegetatie boven de verdediging voldoende weerstand kan bieden tegen erosie als gevolg van incidentele golfoploop hoeft de hoogte van de verdediging niet per se op de hoogste mogelijke golf te worden gedimensioneerd.

De hoogte van de taludverdediging boven het stilwaterniveau moet zo groot zijn dat er geen erosie boven aan het talud op kan treden door golfoploop. Een vuistregel voor de benodigde hoogte van de taludverdediging is bij windgolven 1 à 1,5 H, boven het stilwaterniveau. Bij een taludhelling

1:2,5 is een hoogte van circa $1,5 H$, aan te bevelen, bij een taludhelling 1:3,5 is $1 H$, voldoende. Bij scheepsgolven is een hoogte van H , voldoende.



Abbeelding 7.4 Afmetingen taludverdediging

7.2.4 AANTASTING TEEN VAN DE CONSTRUCTIE

Indien een verdediging niet diep genoeg is doorgezet kan door erosie aan de teen van de constructie een ontgrondingsleuf ontstaan waardoor de verdediging van onderaf aangetast kan worden. Verderop in dit hoofdstuk (in paragraaf 7.3.5) wordt hierop ingegaan.

7.2.5 AANTASTING ONDERGROND

Indien als gevolg van een niet goed functionerend filter onder de toplaag de ondergrond erodeert kan er verzakking van de constructie optreden. Hierdoor kunnen er plaatselijk zakkingen of gaten in de taludbekledingen ontstaan. Voor het dimensioneren van een goed functionerend filter zie paragraaf 4.2.3.

7.3 EISEN

Teneinde falen van de taludverdediging te voorkomen worden de volgende algemene eisen aan uit breuksteen opgebouwde taludverdediging van oevers en waterkeringen gesteld:

- de toegepaste breuksteen van de toplaag moet bestand zijn tegen golf- en stroomaanval;
- de verdediging moet waterdoorlatend zijn (en blijven) om overdrukken onder de verdediging te vermijden;
- de opbouw van de taludverdediging moet zodanig zijn dat grondkorrels niet door de verdediging heen kunnen uitspoelen (grondichtheid);
- de taludverdediging moet hoog genoeg zijn om erosie boven de taludverdediging als gevolg van golfoploop te voorkomen;
- de taludverdediging moet diep genoeg worden doorgezet om aantasting aan de teen te voorkomen.

In de nu volgende paragrafen zal afzonderlijk op deze algemene eisen worden ingegaan voor statisch stabiele en dynamisch stabiele taludverdedigingen.

7.3.1 GOLFBESTENDIGHEID

Langs de beschouwde wateren worden twee typen golven onderscheiden, namelijk:

- windgolven.
- scheepsgolven.

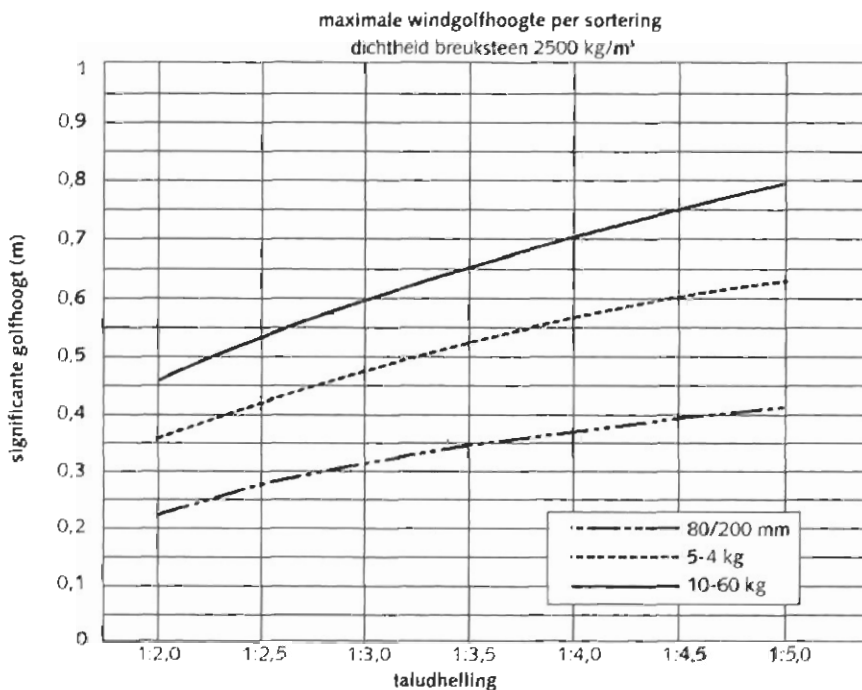
Om de maatgevende golfhoogte voor de taludbekleding te bepalen moet de strijklengte en de maatgevende windsnelheid worden bepaald. In afbeelding 5.1 worden de te verwachten windsnelheden in Nederland gegeven. In afbeelding 3.3 wordt de golfhoogte als functie van de strijklengte, de waterdiepte en de windsnelheid gegeven.

De kenmerkende hoogten voor wind- en scheepsgolven worden in tabel 3.1 voor de vier onderscheiden typen wateren (meren, kanalen, rivieren en kleine wateren) gegeven, zie paragraaf 3.1.1.

De benodigde zwaarte van een bestorting op een talud wordt in geval van golfbelasting voornamelijk bepaald door de taludhelling, het constructietype, de golfhoogte, -periode en -richting en de dichtheden (soortelijke massa) van breuksteen en water. Hoe flauwer de taludhelling, hoe lichter de bestorting kan worden bij gelijkblijvende belasting.

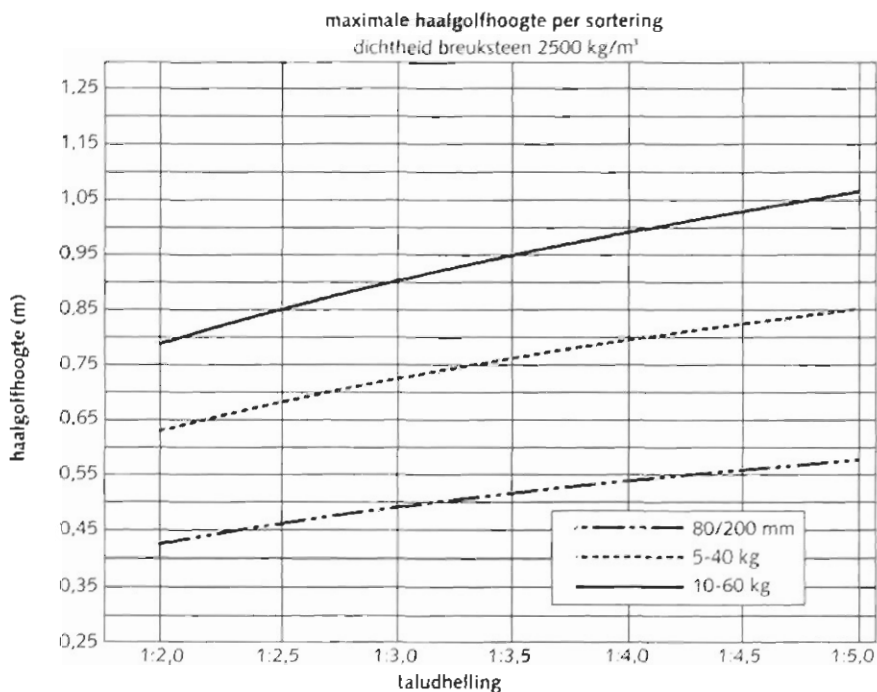
Er zijn verschillende formules waarmee de bestendigheid van de breuksteen in een taludbekleding tegen windgolven kan worden berekend. In Bijlage III wordt één van deze formules nader uitgewerkt.

In afbeelding 7.5 staan de te gebruiken standaardsorteringen uitgezet als functie van de maximaal toelaatbare golfhoogte (H_s) en de taludhelling.



Afbeelding 7.5 Maximale windgolfhoogte per sortering.

Bij scheepsgolven wordt de taludbekleding met name belast door de haalgolf (H). In Bijlage III wordt de stabiliteitsformule voor scheepsgolven gegeven en in afbeelding 7.6 worden de te gebruiken standaardsoorteringen uitgezet als functie van de maximaal toelaatbare golfhoogte (H) en de taludhelling.



Afbeelding 7.6 Maximale haalgolfhoogte per sortering.

Een aparte plaats wordt ingenomen door de bestorting van een zogenaamde doorgroeiconstructie. De bestorting van een doorgroeiconstructie moet dun en open zijn. Vandaar dat hiervoor een enkelsteens laag wordt gebruikt. In Bijlage III wordt een formule gepresenteerd (Formule III.1a) waarmee de benodigde steendiameter bij toepassing van een enkelsteens laagdikte kan worden berekend. Een andere vaak toegepaste wijze om de benodigde steendiameter bij dit type constructies te bepalen is de volgende:

1. Bepaal de sortering die nodig zou zijn als een dubbelsteens laagdikte zou zijn toegepast (dit is een dikte van $1,5 D_{n50}$).
2. Kies de eerst opvolgende sortering voor de enkelsteens laag.

7.3.2 STROOMBESTENDIGHEID

Afvoer van water uit bovenstrooms gelegen gebieden veroorzaakt stroming in een waterloop. Deze natuurlijke stroming kan maatgevend zijn voor de taludverdediging in bepaalde waterlopen. De te verwachten stroomsnelheid bij natuurlijke afvoer laat zich redelijk eenvoudig afschatten. Van de meeste waterlopen is de maatgevende afvoer bekend; door deze te delen door het oppervlak van de watervoerende doorsnede van de waterloop is de maatgevende stroomsnelheid bekend. Stroming in kanalen wordt meestal opgewekt door spuien of door schepen. De door een varend schip opgewekte retourstroom kan voor de dimensionering van een taludverdediging van belang

zijn. In tabel 3.2, zie paragraaf 3.1.2, worden de kenmerkende stroomsnelheden voor de vier onderscheiden typen wateren (meren, kanalen, rivieren en kleine wateren) gegeven.

In tabel 7.1 worden de toelaatbare stroomsnelheden gegeven voor de breuksteensorteringen 50/150 mm, 80/200 mm, 5–40 kg en 10–60 kg ($\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$) bij vier verschillende taludhellingen.

Tabel 7.1 Toelaatbare stroomsnelheid.

| taludhelling | 50/150 mm | 80/200 mm | 5–40 kg | 10–60 kg |
|--------------|-----------|-----------|---------|----------|
| 1 : 2 | 1,8 m/s | 2,1 m/s | 2,3 m/s | 2,4 m/s |
| 1 : 3,5 | 2,0 m/s | 2,3 m/s | 2,6 m/s | 2,7 m/s |
| 1 : 5 | 2,1 m/s | 2,4 m/s | 2,7 m/s | 2,8 m/s |
| horizontaal | 2,2 m/s | 2,5 m/s | 2,8 m/s | 2,9 m/s |

De in bovenstaande tabel gegeven toelaatbare stroomsnelheden zijn als volgt bepaald:

1. Aan de hand van het diagram van Hjulström (afbeelding 8.2) is de toelaatbare stroomsnelheid (u_c) voor een horizontale constructie bepaald. In paragraaf 8.2.1 wordt op het diagram van Hjulström ingegaan.
2. Vervolgens is de aldus vastgestelde toelaatbare stroomsnelheid bij een horizontale situatie gecorrigeerd voor de invloed van de taludhelling.

$$u_{\text{toelaatbaar}} (\text{op talud}) = u_{\text{toelaatbaar}} (\text{horizontaal}) \cdot (k)^{1/2}$$

Hierin is:

$$k = \text{taludfactor} = \cos \alpha (1 - \tan^2 \alpha / \tan^2 \theta)^{1/2} \quad [-]$$

$$\alpha = \text{taludhoek} \quad [^\circ]$$

$$\theta = \text{hoek van inwendige wrijving is ongeveer } 40^\circ \text{ voor breuksteen} \quad [^\circ]$$

Voor de volgende taluds wordt onder de aanname dat $\theta = 40^\circ$ de volgende waarden voor k berekend.

Tabel 7.2 Taludfactor.

| taludhelling | k | (k) ^{1/2} |
|--------------|------|--------------------|
| 1 : 2 | 0,72 | 0,85 |
| 1 : 3,5 | 0,90 | 0,95 |
| 1 : 5 | 0,95 | 0,97 |
| horizontaal | 1,0 | 1 |

In vrijwel alle omstandigheden zal de golfbelasting maatgevend zijn voor de dimensionering van een taludverdediging. Hierbij past echter een waarschuwing. De golfbelasting concentreert zich rond de waterlijn. Dit houdt in dat de diepte waarover de verdediging nodig is beperkt is. De stroombelasting treedt op over het gehele natte profiel dus ook bij de teen van de taludverdediging. Vandaar dat er ook bij de teen en net voor de teen van de constructie een verdediging nodig is om ondermijning van de constructie te voorkomen. Met name in de buitenbocht van rivieren kan erosie aan de teen een probleem vormen.

7.3.3 INVLOED VAN DE DICHTHEID EN DE TALUDHELLING OP DE STABILITEIT

Bij de berekening van de stabiliteit van de breuksteen tegen zowel golf- als stroomaanval is ervan uitgegaan dat de dichtheid van de breuksteen 2500 kg/m^3 is. De dichtheid van breuksteen zoals dat veel in Nederland wordt toegepast varieert tussen de 2500 en de 3000 kg/m^3 . Uitgaande van een gelijk gewicht van de steensortering (M_{50} is constant) zal de diameter van de steen kleiner worden als de dichtheid toeneemt. Bij gelijkblijvend gewicht en toenemende dichtheid neemt de toelaatbare belasting toe. Zo wordt de toelaatbare golfhoogte bij gebruik van steen met een dichtheid van 2700 kg/m^3 ca. 10% hoger dan bij gebruik van steen met een dichtheid van 2500 kg/m^3 uitgaande van de zelfde M_{50} -waarde van de sortering. De toelaatbare stroomsnelheid is in dat geval ca. 5% hoger.

Bij toepassing van steen met een hogere dichtheid zal tevens de benodigde laagdikte afnemen.

In afbeelding 7.5 staan de te gebruiken standaardsorteringen uitgezet als functie van de maximaal toelaatbare golfhoogte (H_c) en de taludhelling. Zo is de toelaatbare golfhoogte bij toepassing van een taludhelling $\tau : 3,5$ ca. 10% hoger dan bij toepassing van een taludhelling $1 : 2,5$.

7.3.4 GRONDDICHTHEID

Een taludverdediging moet een open, waterdoorlatende constructie zijn. Dit om te voorkomen dat er overdrukken onder de taludverdediging ontstaan. Die overdrukken kunnen ontstaan door uit-tredend grondwater en bij (tijdelijke) waterspiegeldalingen. Echter om te voorkomen dat niet alleen het water maar ook de grond (zand e.d.) uit de ondergrond zich door de verdediging heen kan verplaatsen moeten de open ruimtes in de afdeklaag klein zijn. De open ruimtes zijn klein genoeg als de stenen zelf klein zijn maar kleine stenen zijn weer niet of nauwelijks bestand tegen stroom en golfaanval. Dus moeten deze kleine stenen weer worden afgedekt met iets grotere stenen die wel de golf- en stroomaanval kunnen trotseren. In dit geval spreken we van een granulaire filter.

Een granulaire filter is een uit meerdere lagen bestaande taludverdediging. De opeenvolgende lagen moeten zo worden gekozen dat de korrels van de onderliggende laag niet door de open ruimtes van de boven liggende laag heen kunnen. In paragraaf 4.2.3 worden praktische vuistregels voor het ontwerp van een filter gegeven.

Een granulaire filter is over het algemeen bewerkelijk en daarom duur om aan te leggen. Vandaar dat er vaak een andere oplossing wordt toegepast namelijk een combinatie van breuksteen met:

- een klassiek kraagstuk, of
- een geotextiel met wiepenrooster.

Zink- en kraagstukken worden al eeuwen lang in de waterbouw gebruikt. Een klassiek zinkstuk is een van rijshout (wilgentenen) gevlochten mat. Als een zinkstuk op een talud wordt gebruikt en aansluit op de verdediging boven (laag)water spreken we van een kraagstuk. Het vlechtwerk is dusdanig fijnmazig en de combinatie steen en zinkstuk is zo dik dat uitspoeling van het onderliggende zand wordt voorkomen. Een eventuele vlijlaag van riet kan dit effect nog vergroten. De breuksteen dient ervoor om de mat te verzwaren zodat deze op zijn plaats blijft en om de mat tegen de golf- en stroomaanval te beschermen.

Een geotextiel is een weefsel of een vlies dat dusdanig fijn moet worden gekozen dat de zandkorrels of de kleideeltjes van de ondergrond er niet doorheen kunnen. De breuksteenbestorting houdt het geotextiel op zijn plaats en beschermt het tegen de golf- en stroomaanval. Een geotextiel moet zo worden gekozen dat deze:

- waterdoorlatend genoeg, en
- zanddicht is.

Om er zeker van te zijn dat het geotextiel zanddicht is moet gelden dat de openingen in het geotextiel (O_{90}) kleiner zijn dan de D_{90} van de ondergrond:

O_{90} = een maat voor de afmeting van de openingen in het geotextiel; [m]

D_{90} = de zeefmaat waar 90% van de ondergrond doorheen gaat. [m]

Bij een ondergrond bestaande uit klei moet een vlies of m.a.w. een "non-woven" doek worden toegepast met een $O_{90} < 100$ mm.

Een dergelijk filter wordt meestal uitgevoerd als een kraagstuk waarbij het geotextiel als zool onder een wiepenrooster is bevestigd.

De afgelopen decennia is het gebruik van klassieke kraagstukken afgenomen ten gunste van geotextielen. Het tij begint echter weer te keren ten gunste van het klassiek kraagstuk en wel in het kader van duurzaam bouwen.

Samenvattend kan worden gesteld dat de grond- of zanddichtheid van een taludbescherming bestaande uit breuksteen wordt gerealiseerd met een kraagstuk, een geotextiel of een granulair filter. De functie van de breuksteen is het op zijn plaats houden van het geotextiel of kraagstuk en het te beschermen tegen allerlei belastingen. Als dikte voor de toplaag kan hiervoor 1 à 2 D_{n50} worden aangehouden.

7.3.5 AFMETINGEN VAN DE TALUDVERDEDIGING

De hoogte van de taludverdediging boven de hoogste waterstand moet zo groot zijn dat er geen erosie boven aan het talud op kan treden door overslaand water. Bij windgolven zal de hoeveelheid overslaand water acceptabel klein zijn indien de hoogte van de taludverdediging ten opzichte van de waterlijn 1 à 1,5 H_s is. Bij een taludhelling 1:2,5 is een hoogte van circa 1,5 H_s aan te bevelen, bij een taludhelling 1: 3,5 is 1 H_s al voldoende. Bij scheepsgolven is een hoogte van H_s reeds voldoende.

De diepte tot waar de taludverdediging moet worden doorgezet om de golfbelasting te weerstaan is gelijk aan $2 H$, onder de laagste waterstand, zie afbeelding 7.4. Onder dit niveau hebben de golven nauwelijks invloed meer op de stenen en volstaat het natuurlijke evenwichtsprofiel van de oever.

Als er sprake is van voldoende sterke stroming (groter dan ca. 0.3 m/s) is het mogelijk dat het gedeelte van het talud onder de verdediging tegen golfbelasting toch wordt aangetast. Vandaar dat op het onderste deel van het talud en op de bodem aan de teen van het talud over een lengte van bijvoorbeeld 2 m een bestorting van lichter materiaal moet worden aangebracht om erosie aan het onderwatertalud te voorkomen. De te gebruiken sortering voor deze bestorting is afhankelijk van de optredende stroomsnelheden, zie tabel 8.1.

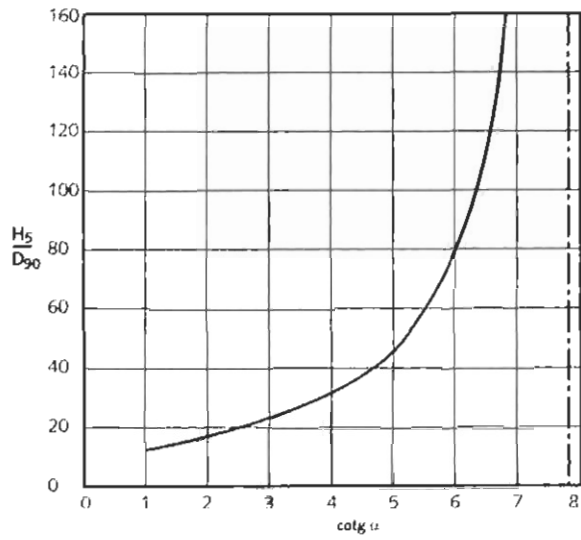
7.4 DYNAMISCH STABIELE OEVERS

Kenmerkend voor een dynamisch stabiele oever is dat deze onder invloed van hydraulische belastingen vervormt. Het talud bereikt na een tijdje zijn evenwichtsvorm. Mits de oriëntatie ten opzichte van de golfrichting zodanig is dat er geen langtransport optreedt gaat er geen breuksteen verloren. Zoals al in de inleiding gezegd is een strand een voorbeeld van een natuurlijke, dynamisch stabiele oever.

Voor dit boek zijn met name de grindstrandjes van belang, die bij meren en plassen aangelegd zijn om plankzeilers gemakkelijk in en uit het water te kunnen laten gaan. In gebieden waar hoge stroomsnelheden optreden is het toepassen van een grindstrand minder geschikt. In het geval dat er resulterend langtransport van het grind op kan treden zal met name op de einden erosie ontstaan.

De benodigde laagdikte hangt af van het evenwichtsprofiel, dat zich gaat ontwikkelen. Door bij de aanleg al zoveel mogelijk het te verwachten evenwichtsprofiel te volgen kan op de aanlegdikte van de taludbescherming worden bespaard.

De evenwichtshelling van een dynamisch stabiele oever is afhankelijk van de optredende golfhoogte en van de steendiameter. In de onderstaande afbeelding (afbeelding 7.7) staat deze evenwichtshelling uitgezet als functie van de golfhoogte gedeeld door de D_{90} . De D_{90} is een zodanige maat voor de korrel- of steendiameter dat 90% van de korrels of stenen kleiner is dan die maat.

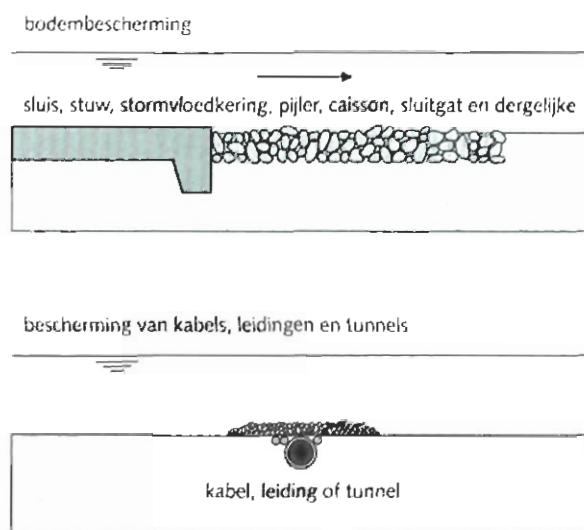


Abbeelding 7.7 Optimaal uitgangstalud bij grindstranden [17].

Hoofdstuk 8: Bodemverdediging

8.1 DEFINITIE VAN EEN BODEMVERDEDIGING

Een bodemverdediging beschermt de bodem tegen ongewenste erosie door stroming. Met name op locaties waar de stroomsnelheid verandert kan een toename van de erosie worden verwacht. Voorbeelden van dit soort locaties zijn, de bodem rond pijlers van bruggen e.d., bij vernauwingen in de waterloop zoals bij kribben, achter sluizen, duikers en stuwen en in de buitenbocht van rivieren. Op plaatsen waar schepen aanleggen kan de bodem zwaar belast worden door de schroefstraal van de schepen. Ook in aan- en afvoerkanalen waar hoge stroomsnelheden optreden kan een bodemverdediging nodig zijn. Bodemerosie kan leiden tot ondermijning van aanliggende constructies of oevers.



Afbeelding 8.1 Schematische voorstelling van bodemverdedigingen.

8.2 EISEN

Om zijn functie van het voorkomen van ongewenste erosie te kunnen vervullen moet de bodemverdediging aan algemene eisen voldoen, die betrekking hebben op:

- de stroombestendigheid (stabiliteit);
- de horizontale afmetingen;
- de verticale opbouw (filter); en
- de flexibiliteit.

In de volgende paragrafen wordt op deze eisen ingegaan.

Bij de aanleg van een bodemverdediging moet er voor worden gewaakt dat de bodembescherming niet in het vrije profiel voor de scheepvaart komt te liggen, zie [14].

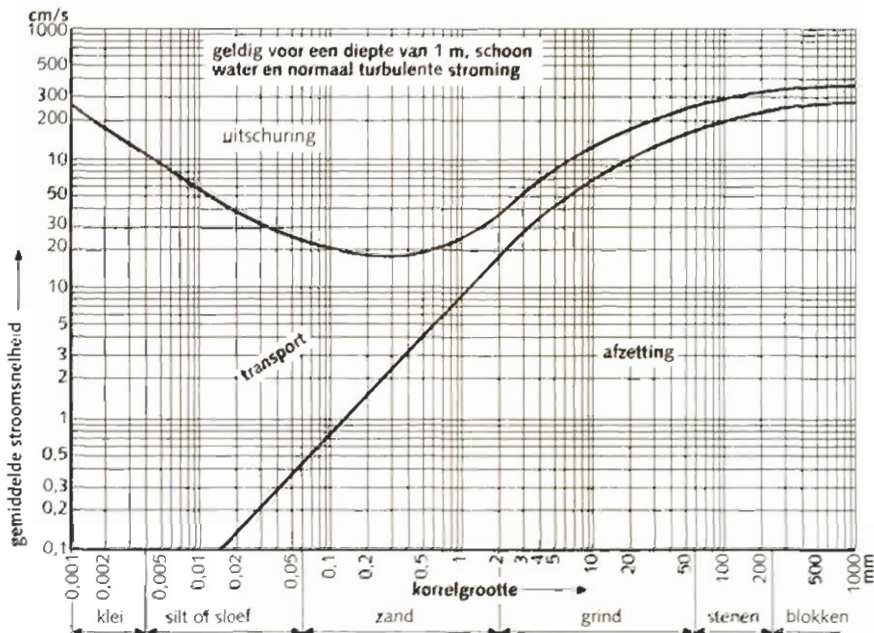
8.2.1 STROOMBESTENDIGHEID VAN BREUKSTEEN

De bodemverdediging dient bestand te zijn tegen de optredende hydraulische belastingen. Voor de hier beschouwde toepassingen van breuksteen geldt dat de optredende belastingen kunnen bestaan uit het stromende water en uit stroming veroorzaakt door de schroefstraal van schepen.

Het optreden van uitschuring van de bodem van een waterloop bij stromend water is afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals:

- de korrelgrootte van het bodemmateriaal;
- de dichtheid van het materiaal;
- de waterdiepte;
- de samenhang tussen de grondkorrels onderling (cohesie);
- de stroomsnelheid;
- de turbulentie in de stroom.

Een eerste globale indicatie voor het al dan niet stabiel zijn van korrelig bodemmateriaal wordt gegeven door het diagram van Hjulström [3,16], zie afbeelding 8.2.

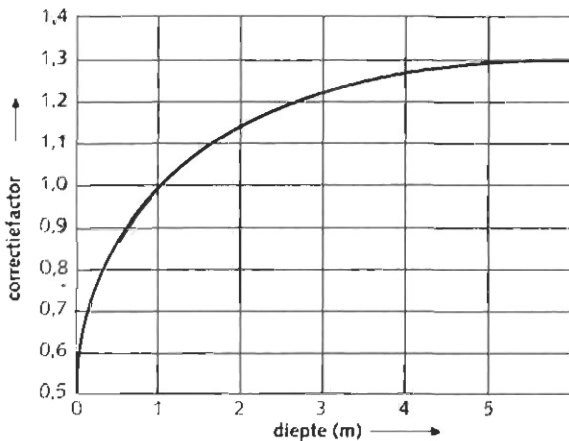


Afbeelding 8.2 Diagram van Hjulström

Aan de linkerkant van het diagram staan de cohesieve bodemmateriaal, zoals klei en silt, aangegeven. Voor deze grondsoorten geldt dat de korrels min of meer de neiging hebben om aan elkaar te plakken en daardoor extra weerstand tegen het stromende water weten te mobiliseren. Het is dan ook een bekend feit dat een kleibodem moeilijker uitschuurt dan een zand- of grindbodem. Voor de breuksteensorteringen 50/150 mm tot en met 10–60 kg lezen we in de grafiek van Hjulström de volgende waarden voor de toelaatbare stroomsnelheid (begin van transport) af. (zie de derde kolom van tabel 8.1)

Het diagram van Hjulström geeft slechts een indicatie van de stroomsnelheid waarbij een bepaald materiaal begint uit te schuren. De invloed van de waterdiepte en turbulentie is in deze grafiek (afbeelding 8.2) niet verwerkt.

Bij een zelfde gemiddelde stroomsnelheid schuurt een ondiepe waterloop eerder uit dan een diepe waterloop met een gelijke bodemsamenstelling. Voor waterlopen die breed en ondiep zijn wordt in de onderstaande afbeelding een correctiefactor voor de invloed van diepte (h) op de evenwichtsnelheid uit het diagram van Hjulström gegeven. De correctiefactor op de toelaatbare snelheid als functie van de waterdiepte is in afbeelding 8.3 weergegeven.



Afbeelding 8.3 Correctiefactor op de toelaatbare snelheid als functie van de waterdiepte.

Indien een waterloop een diepte heeft van 0,5 m in plaats van 1,0 m dan verandert de toelaatbare stroomsnelheid u_c voor de sortering 10–60 kg van 2,9 m/s (zie tabel 8.1) naar $0,85 \cdot 2,9 = 2,5$ m/s. Heeft een waterloop echter een diepte van 2,0 m in plaats van 1,0 m dan wordt de toelaatbare stroomsnelheid $u_c = 1,15 \cdot 2,9 = 3,3$ m/s.

Als er over de stroomsnelheid wordt gesproken dan wordt daarmee meestal de gemiddelde stroomsnelheid bedoeld. De stroomsnelheid die in een bepaald punt wordt gemeten is echter niet constant maar zal rond deze gemiddelde waarde in de tijd variëren. Een maat om deze variatie in de stroomsnelheid te karakteriseren is de turbulentie. Met name de uitschieters in de stroomsnelheid kunnen er de oorzaak van zijn dat stenen aan de haal gaan. Dus hoe hoger de turbulentie des te lager is de weerstand van de bodembekleding tegen de stroom. Voor het diagram van Hjulström is uitgegaan van een minimale mate van turbulentie.

Hoge turbulentie wordt voornamelijk gevonden in situaties waarbij obstakels de ongestoorde stroming belemmeren. Benedenstrooms van het obstakel ontstaan wervelstraten. Voorbeelden van situaties waarbij een hoge turbulentie is te verwachten zijn:

- benedenstrooms van dammen die in de stroom steken, kribben;
- benedenstrooms van pijlers, palen die in een waterloop staan;
- bij plotselinge verbreding van de waterloop;
- achter duikers of op locatie waar een afvoerpip in een waterloop eindigt.

In situaties waarbij wervelstraten ontstaan kan als regel worden gesteld dat de toelaatbare snelheid voor een bepaalde sortering breuksteen de helft is van die zoals berekend voor een normale turbulentiegraad.

In deze situaties geldt dus:

$$u_{c,t} = 0,5 u_c$$

Hierin is:

$u_{c,t}$ = toelaatbare stroomsnelheid bij turbulente stroming

u_c = toelaatbare stroomsnelheid bij weinig turbulentie, zie diagram van Hjulström.

In de vierde kolom van tabel 8.1 staan de toelaatbare stroomsnelheden van de vier beschouwde breuksteensorteringen gegeven in situaties waar een hoge turbulentie is te verwachten.

Tabel 8.1 Toelaatbare stroomsnelheden bij een lage turbulentie en bij een hoge turbulentie.

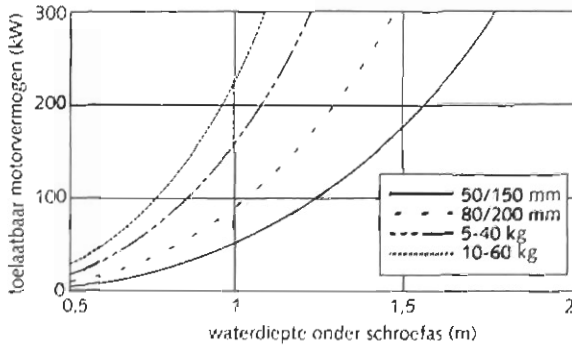
| Sortering | D_{n50} (m) | u_c (lage turbulentie) (m/s) | $u_{c,t}$ (hoge turbulentie) (m/s) |
|-----------|------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| 50/150 mm | 0,09 | 2,2 | 1,1 |
| 80/200 mm | 0,13 | 2,5 | 1,3 |
| 5-40 kg | 0,19 | 2,8 | 1,4 |
| 10-60 kg | 0,24 | 2,9 | 1,5 |

De schroef van een varend schip veroorzaakt lokaal hoge snelheden in het water. De door de schroef veroorzaakte snelheid is van de volgende factoren afhankelijk:

1. Het geïnstalleerde vermogen.
2. De diameter van de schroef en het type schroef, en
3. De afstand van het beschouwde punt (de bodem) tot de schroef.

Een kenmerk van stroming die door een schroef wordt opgewekt is dat deze zeer turbulent is.

In afbeelding 8.4 staat het toelaatbare motorvermogen uitgezet als functie van de waterdiepte onder de schroefas voor een bodemverdediging met een toplaag 50/150 mm, 80/200 mm, 5-40 kg en 10-60 kg.



Afbeelding 8.4 Toelaatbaar motorvermogen als functie van steensoort en waterdiepte.

Voor een Spits gelden bijvoorbeeld de volgende kenmerken:

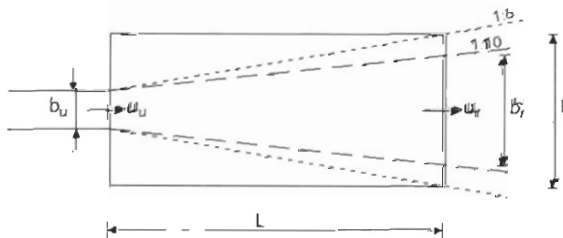
- lengte 39 m,
- geïnstalleerd motorvermogen 191 kW (260 pk).

8.2.2 DE HORIZONTALE AFMETINGEN VAN DE BODEMVERDEDIGING

Een bodemverdediging moet aanwezig zijn op plaatsen waar de stroomsnelheid (inclusief de invloed van turbulentie) hoger is dan de toelaatbare snelheid bij het gegeven bodemmateriaal en waar verdieping van de waterloop niet toelaatbaar is. Voor de meeste waterlopen geldt dat er een evenwicht bestaat tussen het doorstroomprofiel, de optredende stroomsnelheden en de erosiebestendigheid van het bodemmateriaal. Echter nabij obstakels wordt dit evenwicht verstoord doordat in de directe omgeving de stroom versnelt (het doorstroomprofiel vernauwt zich) daarna komt een gebied waar de stroom vertraagt en waar een hoge turbulentie aanwezig is.

Het bepalen van de benodigde afmetingen van de bodemverdediging kan van geval tot geval verschillen. Bij een plotselinge verbreding van de waterloop kan de volgende benadering worden gevolgd om de afmetingen van het stortebed te berekenen. Stel dat aan de rand van het stortebed de snelheid moet zijn afgenomen tot de toelaatbare snelheid van het bodemmateriaal ($u_r = u_c$).

Voor de bepaling van de benodigde lengte van de bodemverdediging wordt een veilige aanname gedaan over de spreidingshoek, bijv. 1:10. Voor de breedte is bijv. 1:6 een veilige aanname.



Uit: $u_r = u_c$ en de continuïteitsvergelijking ($u_u b_u = u_r b_r$; u_u = de uitstroomsnelheid achter de duiker) volgt dan voor de lengte met $b_r = L/5 + b_u$:

$$L = 5b_u(u_u - u_c)/u_c$$

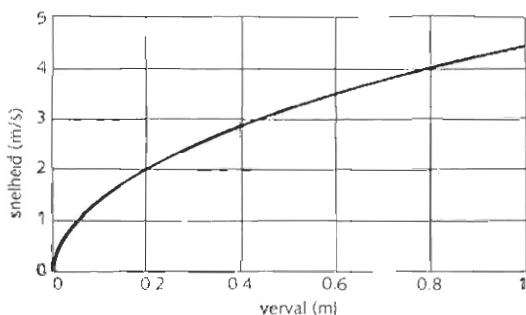
en voor de breedte:

$$B = 1/3 L + b_u$$

Voor bijvoorbeeld een uitstroomsnelheid van 2 m/s en $b_u = 1$ m volgt voor grof zand ($u_v = 0,4$ m/s): $L = 20$ m en $B = 8$ m.

Samenvattend is de volgorde van werken bij het ontwerpen van een bodemverdediging:

1. Bepaal uitstroomsnelheid (u_v) bijvoorbeeld met behulp van onderstaande grafiek.
2. Bepaal steensoort voor de bodemverdediging met tabel 8.1.
3. Bepaal aan de hand van het diagram van Hjulström, afbeelding 8.2, de toelaatbare stroomsnelheid (u_c) van het (onbeschermd) bodemmateriaal.
4. Bepaal afmetingen bodemverdediging met bovenstaande formules.



Afbeelding 8.5 Stroomsnelheid als functie van het verval.

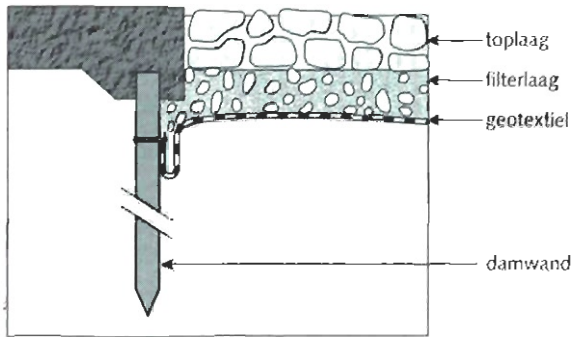
De aanname dat de snelheid aan de rand van de bodemverdediging (u_v) moet zijn afgenomen tot de toelaatbare snelheid van het bodemmateriaal (u_c) houdt niet in dat er geen ontgrondingskuil achter de bodemverdediging zal ontstaan. Er is nog steeds sprake van verhoogde mate van turbulentie, de wervels zijn nog niet uitgedempt. Indien een starre constructie als bodemverdediging wordt gebruikt bestaat de kans dat de erosiekuil zich onder deze constructie zal voortzetten met als gevolg dat deze op een bepaald moment breekt. Door een flexibele constructie toe te passen wordt dit voorkomen. De flexibele constructie zal mee vervormen met als gevolg dat de aanzethelling van de ontgrondingskuil beschermd blijft en de erosiekuil de constructie zelf niet zal naderen, vandaar de eis dat de bodemverdediging flexibel moet zijn.

Om er zeker van te zijn dat de lengte van de bodemverdediging genoeg is om de eventueel optredende ontgrondingskuil goed te kunnen volgen en af te dekken wordt wel de vuistregel gehanteerd dat de lengte 10 keer de waterdiepte moet zijn.

8.2.3 DE VERTICALE OPBOUW

De verticale opbouw van de bodemverdediging heeft tot doel de erosie van basismateriaal te voorkomen. Verder moet drukopbouw onder de bodemverdediging voorkomen worden. De hieruit voortvloeiende functionele eisen kunnen door zowel een granulaire filter en een geotextiel worden vervuld. Voor meer informatie hieromtrent wordt verwezen naar paragraaf 4.2.3.

De aansluiting van de bodemverdediging op een starre constructie, bijvoorbeeld de bodem van een betonnen duiker vraagt bijzondere aandacht. Met name de aansluiting van de filterconstructie (geotextiel al dan niet in combinatie met een wiepenmat) is gecompliceerd. De kans van een zandlek langs de verticale rand van de constructie is niet ondenkbaar. Vandaar dat het is aan te bevelen in de directe omgeving van de aansluiting altijd gebruik te maken van een granulair filter. Eventueel kan dit granulaire filter worden aangebracht in een verdieping, die nabij de aansluiting wordt

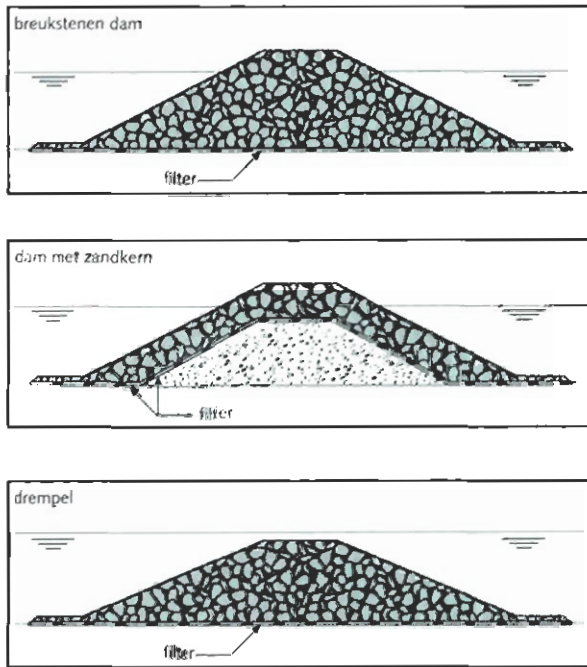


Afbeelding 8.6 Aansluiting bodembescherming aan een verticale constructie.

Hoofdstuk 9: Dammen en drempels

9.1 DEFINITIE VAN DAMMEN EN DREMPELS

Een dam is een in een waterloop opgeworpen constructie, die tot doel heeft om het water te keren of om een verbinding te leggen tussen de beide oevers van de waterloop.



Abbeelding 9.1 Schematische voorstelling van dammen en drempels.

Ook vooroeverdammen en strekdammen behoren tot deze groep. Dit zijn dammen die min of meer evenwijdig aan de oever worden aangelegd en tot doel hebben om de oever tegen te hoge golf- of stroombelastingen te beschermen of om de stroom te geleiden.

Een breukstenen dam kan geheel zijn opgebouwd uit één en dezelfde sortering breuksteen. In dit geval zal de dam zeer waterdoorlatend zijn en heeft hij dus geen waterkerende capaciteit. Als de dam echter wel een waterkerende functie heeft zal deze zijn opgebouwd uit een grondkern al dan niet bedekt door een laag klei die met breuksteen is afgedekt om erosie te voorkomen.

Een drempel is een soort dam, echter met dit verschil dat dammen onder normale omstandigheden hun kruin boven water hebben, en drempels onder water.

Voorbeelden van veel voorkomende dammen en drempels zijn vooroeverdammen, kribben, strek- en geleidedammen, golfbrekers.

9.2 DIMENSIONERING VAN DAMMEN EN DREPELS

9.2.1 GOLFBELASTING

Hoogte van de dam

Een van de functies van een dam kan zijn het beschermen van het achter de dam gelegen gebied tegen (te hoge) golfaanval. Indien er slechts weinig golfoverslag mag plaats vinden dan gelden dezelfde vuistregels voor de kruinhoogte als voor de hoogte van een taludverdediging. Om geen golfoverslag op en over de dam te krijgen moet de hoogte van de dam boven de waterlijn gelijk of hoger zijn dan 1,7 à 2,5 H_s .

- Bij een taludhelling 1:2,5 is een hoogte van circa 2,5 H_s nodig om geen overslag te krijgen.
- Bij een taludhelling 1:3,5 is een hoogte van 1,7 H_s al voldoende.

N.B. Bij deze vuistregels geldt als uitgangspunt dat er geen overslag is. Bij de formuleringen zoals deze in paragraaf 7.2 worden gegeven voor de benodigde hoogte van een taludverdediging is het uitgangspunt, dat wel enig water tot boven de taludverdediging mag oplopen, omdat de bovenliggende verdediging wel enige erosiebestendigheid heeft.

Indien het niet erg is dat er golfoverslag optreedt dan kan de kruinhoogte lager worden gekozen. Vooroeverdammen bijvoorbeeld hebben als functie om de golfhoogte te reduceren. De mate waarin de golfhoogte wordt gereduceerd is afhankelijk van de hoogte van de dam boven de waterspiegel. De mate waarin de golfhoogte wordt gereduceerd wordt meestal uitgedrukt in de zogenaamde transmissiecoëfficiënt K_1 .

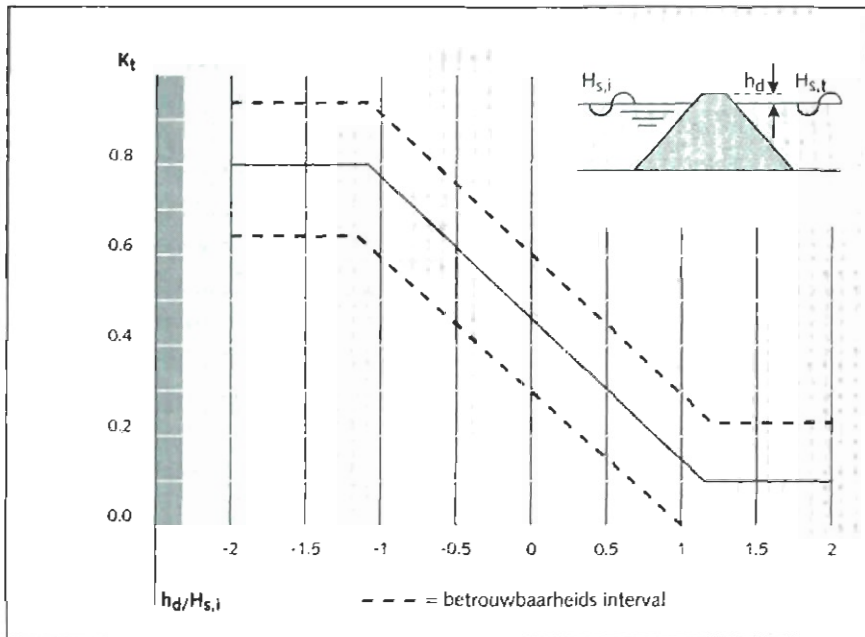
$$K_1 = H_{s,r}/H_{s,i}$$

Hierin is:

$H_{s,r}$ = de resterende golfhoogte aan de achterzijde van de dam

$H_{s,i}$ = de golfhoogte aan de aangegolfde zijde van de dam (inkomende golfhoogte)

In afbeelding 9.2 wordt de transmissiecoëfficiënt K_1 gegeven als een functie van kruinhoogte ten opzichte van de stilwaterlijn (h_d) gedeeld door de inkomende golfhoogte ($H_{s,i}$). Een negatieve waarde voor $h_d/H_{s,i}$ wordt verkregen indien de kruin onder water ligt, een positieve waarde als de kruin boven water ligt.



Abbeelding 9.2 Golftransmissie bij een doorlatende breukstenen dam.

Bij de hierboven vermelde benadering voor het bepalen van de transmissiecoëfficiënt wordt geen rekening gehouden met de breedte van de kruin. Bij een relatief brede kruin moet rekening worden gehouden met een grotere reductie van de golfhoogte.

Toe te passen steengewicht

Een breukstenen dam met zijn kruin ruim boven de waterspiegel lijkt erg veel op een breukstenen taludverdediging. Zeker als het gaat over een waterkerende dam met een grondkern is de opbouw van de dam hetzelfde als bij een taludverdediging. Het verschil zit hem er in dat nu aan beide zijden van de constructie water staat. De dimensionering van de toe te passen breuksteen is eender aan de wijze van dimensioneren van een breukstenen taludverdediging en als zodanig zijn de in hoofdstuk 7 beschreven ontwerpregels ook voor dammen bruikbaar. Ook bij dammen gelden de filtereisen tussen afdeklaag, onderlaag en kern. Een dam die helemaal uit breuksteen bestaat, dus zonder grondkern, is waterdoorlatend. Voor waterdoorlatende constructies geldt dat de breuksteen beter bestand is tegen golfaanval dan in een situatie van een weinig waterdoorlatende constructie. Hieruit mag worden geconcludeerd dat indien de in hoofdstuk 7 gegeven ontwerpregels voor een waterdoorlatende dam worden gebruikt dit een veilige benadering is.

Voor dammen met een lage kruin geldt dat de golfaanval op het talud lager wordt naarmate er meer golfenergie in de vorm van golfoverslag over de dam heen verdwijnt. In zo'n situatie mag er een reductie worden toegepast op het gewicht van de te gebruiken breuksteen. Voor een dam met zijn kruin op de waterspiegel ($h_d/H_{s,i} = 0$) geldt dat de benodigde steendiameter met een factor 0,8 (dit betekent een halvering van het steengewicht) mag worden gereduceerd ten opzicht van die voor een hoge dam. Bij een waarde van $h_d/H_{s,i} = 0,7$ mag geen reductie meer worden toegepast. Voor waarden tussen $h_d/H_{s,i} = 0$ en 0,7 kan lineair worden geïnterpoleerd tussen de beide reductiefactoren.

De plaats waar eventuele schade het eerst zal optreden wordt bepaald door de relatieve hoogte van de dam.

- Bij een relatieve hoogte van de dam $h_d/H_s > 0,5$ wordt de voorkant van de dam het zwaarst aangevallen.
- Indien geldt dat $h_d/H_s < 0,5$ dan zijn de kruin en het binnentalud van de dam de meest kwetsbare locaties.

De kop van een dam is een kwetsbaar deel van de constructie en vereist daarom extra aandacht. De kop is een kwetsbaar onderdeel van de dam omdat:

- zowel de golf- als stroomaanval op dit deel van de constructie groter is dan op het rechte deel van de dam.
- de stabiliteit van de breuksteen op de ronde kop lager is dan op een rechte constructie, met name de zogenaamde haakweerstand tussen de stenen onderling neemt af.

Er zijn twee manieren waarop dit verschil in stabiliteit tussen de kop en het rechte deel van de constructie kan worden opgevangen:

1. Door het gebruik van een 1,3 keer zwaardere steen op de kop dan op het rechte deel van de dam of,
2. Door de taludhelling op de kop een factor 1,3 flauwer te nemen dan op het rechte deel van de dam, een talud 1: 3 wordt dan bijvoorbeeld 1:4.

9.2.2 STROOMBELASTING

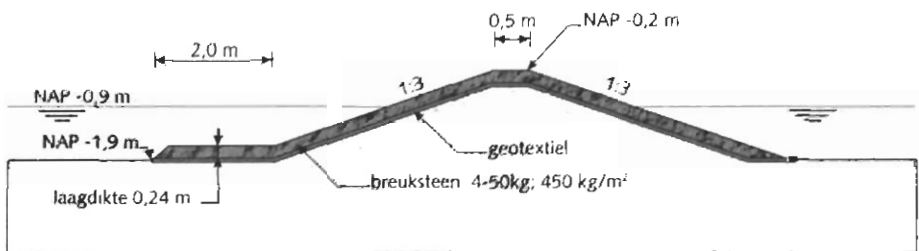
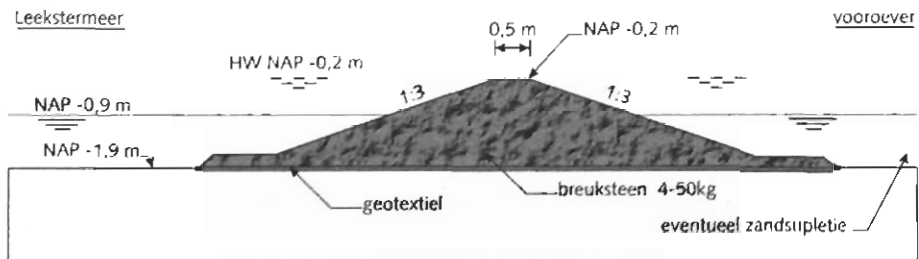
Een uit breuksteen opgebouwde strekdam of een vooroeverdam lijkt erg veel op een taludverdediging. Zeker waar het gaat over de bestendigheid van de constructie om stroombelasting te weerstaan zijn beide constructies gelijk en kan voor de dimensionering van de steen verwezen worden naar paragraaf 7.3.2.

De in paragraaf 7.3.2 gebruikte relatie voor de stabiliteit van breuksteen tegen stromend water mag als een veilige benadering worden gezien omdat deze is gebaseerd op het meest kritieke punt van een breuksteenconstructie, namelijk het einde van de breuksteenconstructie.

Met name met het oog op de beëindiging van de constructie is de krib een type dam dat hier extra aandacht verdient. Kribben zijn dammen die loodrecht op de stroomrichting van de rivier zijn aangelegd. Kribben kunnen diverse functies hebben zoals stroomgeleiding, oeverbescherming en het op diepte houden van de vaargeul. Direct benedenstrooms van de kribkop veroorzaakt de wervelstraat aanzienlijke ontgrondingen. Deze ontgrondingen zijn ongewenst omdat zij de stabiliteit van de krib kunnen ondermijnen en omdat het sediment uit de ontgrondingskuil in de vaargeul wordt gedeponerd en daar ter plaatse een ondiepte kan veroorzaken wat voor de schepen problemen kan geven. Vandaar dat er bij een kribkop in het algemeen een bodembescherming moet worden toegepast.

Voorbeelden

Voorbeeld 1: Vooroever in een meer in Drenthe



Gegevens:

- Het ontwerp is gemaakt voor de zuidelijke oever van het meer.
- De maximale strijklengte bij een storm uit het noordwesten bedraagt 1 km.
- Het bodempeil ligt op NAP – 1,90 m.
- Het normale waterpeil ligt op NAP – 0,90 m.
- Het maximale waterpeil (inclusief stormopzet) ligt op NAP – 0,20 m.
- Als maatgevende windsnelheid wordt 20 m/s aangehouden. (Deze windsnelheid is meerdere malen in een periode van 10 jaar te verwachten, zie afbeelding 5.1).

Gevraagd:

1. Controleer of de breuksteen dam met stortsteen 5–40 kg ($\Delta_s = 2500 \text{ kg/m}^3$) onder een taludhelling van 1:3 voldoet.
2. Bepaal de kruinhoogte van de dam als de golfhoogte achter de dam niet hoger mag worden dan de helft van de maatgevende golfhoogte aan de meerzijde:

$$\text{dus } H_{s, \text{achter}} = 0,5 \times H_{s, \text{inkomend}}$$

Indien de dam **uitgevoerd** wordt met een zandkern wat zijn dan de gevolgen voor de dam?

Uitwerking:

1. Controle of de breuksteen dam met stortsteen 5–40 kg onder een taludhelling van 1:3 voldoet.

a. Vaststellen van de maatgevende golfhoogte:

Voor het vaststellen van de golfhoogte wordt gebruik gemaakt van de afbeeldingen 3.3a t/m 3.3d. De waterdiepte bepaalt welke afbeelding gebruikt moet worden. De waterdiepte tijdens de maatgevende storm is $(\text{NAP} - 0,20 \text{ m}) - (\text{NAP} - 1,90 \text{ m}) = 1,7 \text{ m}$. Afbeelding 3.3a geldt voor 1 m en 3.3b voor 2 m.

• H_1 uit 3.3a is 0,33 m.

• H_1 uit 3.3b is 0,45 m.

Door middel van lineaire interpolatie wordt de maatgevende golfhoogte vervolgens berekend. Afgerond is $H_1 = 0,4 \text{ m}$.

b. Keuze van de stortsteen:

De taludhelling is 1:3. Uit afbeelding 7.5 blijkt dat stortsteen 5–40 kg zwaarder is dan nodig, dus voldoet stortsteen 5–40 kg.

2. Bepaal de kruinhoogte van de dam als de golfhoogte achter de dam niet hoger wordt dan de helft van de maatgevende golfhoogte aan de meerzijde:

$$\text{dus } H_{s, \text{achter}} = 0,5 \times H_{s, \text{inkomend}}$$

Als eis is gesteld dat de golfhoogte aan de achterzijde van de dam niet hoger mag worden dan de helft van de maatgevende golfhoogte aan de meerzijde:

$$H_{s, \text{achter}} = 0,5 \times H_{s, \text{inkomend}} = 0,5 \times 0,4 = 0,2 \text{ m.}$$

Voor het oplossen van deze vraag wordt afbeelding 9.2 gebruikt. Als parameters worden gebruikt $H_{s,1}$ (dit is de golfhoogte op het meer dus $H_{s,1} = 0,4 \text{ m}$) en h_d is de afstand van de kruin tot het gemiddelde waterniveau.

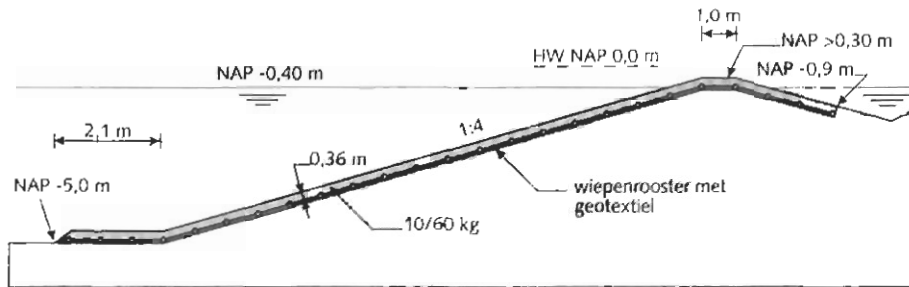
Op de verticale as van afbeelding 9.2 staat de transmissiecoëfficiënt K_t . In deze situatie moet $K_t = 0,5$ bedragen; dit volgt uit de eis. Uit de afbeelding valt af te lezen dat $h_d/H_{s,1} = 0$ moet zijn dus moet $h_d = 0,0 \text{ m}$ zijn. De kruin moet dus worden aangelegd op $\text{NAP} - 0,20 \text{ m}$.

3. Indien de dam **uitgevoerd** wordt met een zandkern wat zijn dan de gevolgen voor de dam?

Uit de kostenvergelijking tussen beide alternatieven bleek dat de kosten voor het alternatief met de zandkern ongeveer 60% bedroegen van het geheel uit breuksteen bestaande alternatief.

Bij het alternatief met de zandkern is het noodzakelijk dat tussen het zand en de toplaag 5–40 kg een filter wordt aangebracht, in dit geval is gekozen voor een geotextiel. Bij dit alternatief moet aan de meerzijde een teenconstructie worden toegepast. Bij een dunne toplaag kan teenerosie de constructie ondermijnen. Ook bij het alternatief dat geheel uit breuksteen bestaat is het aan te bevelen om de breuksteen niet direct op de ondergrond te plaatsen. Het toepassen van een filterconstructie (geotextiel) tussen de ondergrond en de breuksteen is daarom nodig.

Voorbeeld 2: Natuurvriendelijke oever achter de aanlegsteigers van een sluizencomplex



Gegevens:

Achter een aanlegsteiger wordt een natuurvriendelijke oever aangelegd bestaande uit een vooroeververdediging met daarachter een plasberm en daarop volgend een taludverdediging.

- De maximale strijklengte bij een storm uit het westen bedraagt 2 km.
- Het normale waterpeil ligt op NAP – 0,40 m.
- Het maximale waterpeil (inclusief stormopzet) ligt op NAP 0,0 m.
- Als maatgevende windsnelheid wordt 22 m/s aangehouden. Deze windsnelheid komt ongeveer eens per jaar voor.
- De gemiddelde waterdiepte ver van de oever 7,5 m.
- Het bodempeil bij de teen van de taludverdediging is NAP – 5,0 m.
- Als maatgevende golfhoogte op de oeververdediging wordt $H_s = 0,70$ m aangehouden. Hierbij is rekening gehouden met de golfdempende werking van de afmeerconstructie voor de oeververdediging.
- De toelaatbare golfhoogte op de vooroever (dus achter de oeververdediging) is $H_s = 0,25$ m onder vaak voorkomende omstandigheden en $H_s = 0,40$ m onder extreme omstandigheden. Bij deze golfomstandigheden kunnen planten nog goed gedijen op de vooroever.

Gevraagd:

1. Bepaal de kruinhoogte van de oeververdediging.
2. Controleer of deze kruinhoogte ook voldoet onder normale omstandigheden.
3. Voldoet breuksteen 10–60 kg als bekleding?

Uitwerking:

Bepaal de kruinhoogte van de oeververdediging.

Voor het vaststellen van de kruinhoogte wordt gebruik gemaakt van afbeelding 9.2. De transmissiecoëfficiënt $K_t = H_{s,t}/H_{s,i} \cdot H_{s,t} = 0,4$ m en $H_{s,i} = 0,7$ m zodat $K_t = 0,4/0,7 = 0,57$ afgerond 0,6. Uit afbeelding 9.2 kan afgelezen worden dat $h_d/H_{s,i} = -0,4$ (geschat). Met $H_{s,i} = 0,70$ m wordt $h_d = -0,28$ m; vandaar dat de kruin op NAP – 0,30 m wordt aangebracht.

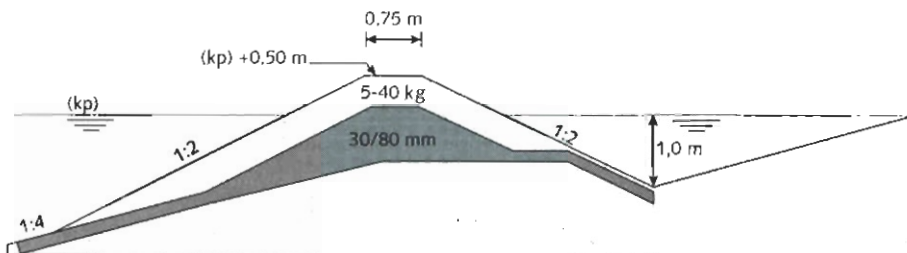
2. Controleer of deze kruinhoogte op NAP - 0,30 m ook voldoet onder normale omstandigheden; Het normale waterpeil ligt op NAP - 0,40 m terwijl de kruin van de dam ligt op NAP - 0,30 m. Hieruit volgt dat $h_d = 0,10$ m. $h_d/H_{s,1} = 0,1/0,7 = 0,14$. Hieruit volgt $K_1 = 0,43$ en uit $K_1 = H_{s,1}/H_{s,2}$ met $H_{s,2} = 0,70$ m volgt dat $H_{s,1} = 0,3$ m. Dit is minder dan 0,4 m, dus akkoord.

3. Voldoet breuksteen 10–60 kg als bekleding?

Bij het beantwoorden van deze vraag wordt gebruik gemaakt van afbeelding 7.5. De taludhelling is 1:4 en de significante golfhoogte bedraagt 0,7 m. Uit afbeelding 7.5 valt op te maken dat breuksteen 10–60 kg precies voldoet.

Om alleen de golfbelasting te kunnen weerstaan zou de toplaag tot het niveau NAP - 1,80 m moeten worden doorgezet, dit is het normale peil NAP - 0,40 m - $2 \times H_s$. Echter in de directe omgeving van de oeververdediging manoeuvreren grote schepen, zodat rekening moet worden gehouden met de stroming door de schroefstraal. Vandaar dat de taludverdediging tot de bodem doorloopt en er zelfs nog een teenconstructie wordt aangebracht. Als filter wordt een wiepenrooster met geotextiel als zoolstuk gebruikt.

Voorbeeld 3: Vooroeverdam bij een scheepvaartkanaal



Gegevens:

De hydraulische belastingen worden bepaald door passerende schepen van klasse IV (bijvoorbeeld een Rijn-Herne kanaalschip 85 m lang, 9,5 m breed en 2,5 m diep).

| Hydraulische belasting | Grootte | Eenheid | Opmerking |
|------------------------|---------|---------|-----------|
| Retourstroom | 1,19 | m/s | |
| Haalgolf | 0,50 | m | |

Gevraagd:

1. Controleer of de taludbestorting met breuksteen 5–40 kg voldoende stabiliteit bezit.
2. Controleer of de retourstroom de bodem met stortsteen 30/80 mm niet erodeert.
3. Wat is de minimale kruinhoogte van de oeververdediging?
4. Controleer of materiaal door de poriën kan wegspoelen.

Uitwerking:

Controleer of de taludbestorting met breuksteen 5–40 kg voldoende stabiliteit bezit. De taludhelling bedraagt 1:2. De haalgolf is 0,50 m. Uit afbeelding 7.6 is op te maken dat stortsteen 5–40 kg te zwaar is en dus voldoet.

Controleer of de retourstroom de bodem met stortsteen 30/80 mm niet erodeert. Bij het beantwoorden van deze vraag wordt gebruik gemaakt van afbeelding 8.2. In afbeelding 8.2. zijn drie gebieden te zien: uitschuring, transport en afzetting. Transport moet voorkomen worden dus moet voldaan worden aan het gebied afzetting. De snelheid van de retourstroom bedraagt 1,19 m/s dit komt overeen met 119 cm/s. Vanwege de logaritmische schaal is de snelheid van 119 cm/s niet duidelijk te zien. Kies een horizontale lijn iets boven de 100 cm/s. Deze lijn snijdt de afscheidingslijn tussen 'transport' en 'afzetting' bij ongeveer de korrelgroottelijn van 30 mm. Breuksteen 30/80 mm voldoet dus.

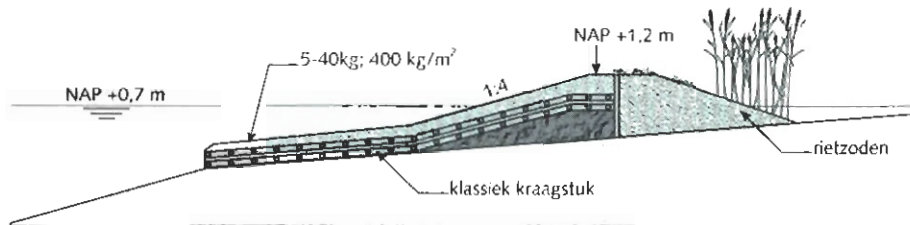
3. Wat is de minimale kruinhoogte van de oeververdediging?

In paragraaf 7.3.5. staat de aanbeveling dat als de kruin een afstand ter grootte van de haalgolffhoogte H , hoger is dan het normale waterpeil er nauwelijks sprake is van wateroverslag. Dus moet de kruin 0,50 m boven het normale waterpeil liggen.

4. Controleer of materiaal door de poriën kan wegspoelen.

Als bodembekleding is stortsteen 30/80 mm voldoende en voor de taludbekleding is stortsteen 5–40 kg toereikend. Om de doorlatendheid van de dam te verkleinen wordt de kern toegepast van breuksteen 30/80 mm. Bij de combinatie van 30/80 mm met daar bovenop 5–40 kg bestaat geen gevaar voor uitspoelen van de fijnere fractie daar $D_{50 \text{ filter}} / D_{50 \text{ basis}} < 5$. Tussen het zandlichaam en de breuksteen moet wel een geotextiel worden toegepast want zonder geotextiel wordt niet voldaan wordt aan de ongelijkheid $D_{50 \text{ filter}} / D_{50 \text{ basis}} < 5$.

Voorbeeld 4: Natuurvriendelijke oever aan het Spui bij de Zuid-Hollandse eilanden



Gegevens:

- De maatgevende strijklengte bedraagt 250 m. Omdat de strijklengte gering is zal ook de hoogte van de windgolven gering zijn.
- De gemiddelde waterstand ligt op NAP + 0,48 m.
- Gemiddeld laagwater ligt op NAP + 0,29 m.
- Gemiddeld hoogwater ligt op NAP + 0,71 m.
- Extreem hoogwater ligt op NAP + 1,20 m.
- Het bodempeil bij de teen van de taludverdediging is NAP – 1,0 m.
- Het Spui is een doorvaartroute voor redelijk grote schepen zoals het "Grote Rijnschip", enkel- en dubbelbaks duwstellen en coasters.
- Scheepsgolven tot 0,50 m zijn bij de oevers te verwachten. De invloed van de retourstroom is naar verwachting gering daar de diepte van het Spui in de vaargeul groot is.
- De waterstanden fluctueren als gevolg van het getij gemiddeld tussen NAP + 0,29 m en NAP + 0,71 m hierdoor kunnen stroomsnelheden tussen de 1 en 1,5 m/s voorkomen. Vlak aan de oever zal deze snelheid echter laag zijn en is daarom niet meegenomen in het ontwerp.

Gevraagd:

1. Controleer of de kruinhoogte van NAP + 1,20 m voldoende is.
2. Voldoet breuksteen 80/200 mm aan de te stellen stabiliteitscriteria?

Uitwerking:

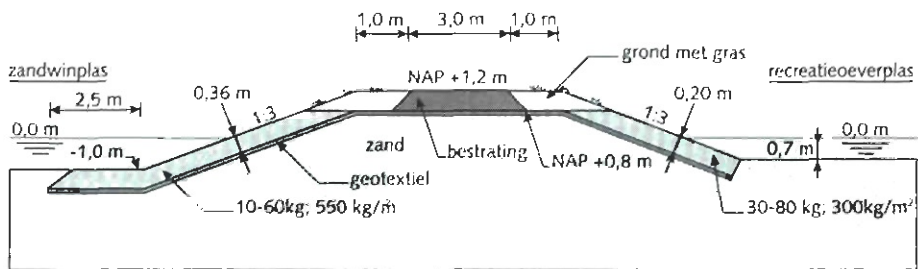
1. Controleer of de kruinhoogte van NAP + 1,20 m voldoende is.
 Voor het vaststellen van de kruinhoogte wordt gebruik gemaakt van afbeelding 9.2. Uit de gegevens volgt dat $h_d = 0,0$ m; dus is ook $h_d/H_{s,t} = 0,0$ waaruit de transmissiecoëfficiënt $K_t = 0,45$ volgt. De haalgolffhoogte $H_{s,t} = 0,5$ m. Uit de formule $K_t = H_{s,t}/H_{s,t}$ volgt de golffhoogte $H_{s,t} = 0,45 \times 0,5 = 0,23$ m. In voorbeeld 1 was een $H_{s,t} = 0,25$ m aanvaardbaar in verband met plantengroei. Hieruit volgt dat een kruinhoogte van NAP + 1,20 m voldoende is om de golven tot een aanvaardbaar niveau te reduceren.

2. Voldoet breuksteen 80/200 mm aan de te stellen stabiliteitscriteria?

Gebruik wordt gemaakt van afbeelding 7.6. De taludhelling is 1:4. Uit de afbeelding 7.6 is af te lezen dat de haalgolfhoogte maximaal 0,53 m mag zijn, dit is meer dan 0,50 m en dus voldoet de steenbestorting 80/200 mm.

Het is hier echter de bedoeling dat er een doorgroeiconstructie ontstaat, dit betekent dat er slechts een dunne, open laag steen wordt aangebracht. Conform de aanbeveling van paragraaf 7.3.1. wordt er een zwaardere sortering gekozen dan de berekende sortering, dus breuksteen 5–40 kg met een te storten hoeveelheid van niet meer dan 400 kg/m^2 .

Voorbeeld 5: Vooroeververdediging bij een recreatiestrand



Gegevens:

- De maatgevende strijklengte bedraagt 2 km.
- De diepte van de zandwinplas bedraagt 30–40 m.
- De waterdiepte bij de teen van de vooroever is 1 m.
- De waterdiepte achter de dam in de recreatieplas is 0,70 m.
- Als maatgevende windsnelheid wordt 20 m/s aangehouden. Deze windsnelheid komt zeker eens per jaar voor.
- Het bodempeil bij de teen van de taludverdediging is NAP – 1,0 m.
- Als maatgevende golfhoogte wordt $H_s = 0,60$ m aangehouden. Door het breken van de golven op de ondiepe vooroever is de golfhoogte nabij de vooroeververdediging beperkt.

Gevraagd:

1. Controleer de stabiliteit van de taludbestorting 10-60 kg, 450 kg/m³.
2. Bepaal de afmetingen van de taludverdediging.

Uitwerking:

1. Controleer de stabiliteit van de taludbestorting 10–60 kg, 450 kg/m³.
Gebruik wordt gemaakt van afbeelding 7.5. De taludhelling is 1:3. De maatgevende golfhoogte $H_s = 0,60$ m, dus stortsteen 10–60 kg voldoet.

2. Bepaal de afmetingen van de taludverdediging.

Uit paragraaf 7.2.3 volgt dat voor windgolven het talud 1:3 tot 1 à 1,5 maal H_s wordt doorgezet boven de stilwaterlijn. Dit betekent dat de kruinhoogte van 1,2 m boven de stilwaterlijn ruim voldoende is want $1,5 \times 0,6 = 0,9$ m < 1,2 m.

De laagdikte wordt bepaald met $1,5 D_{n50}$ zie bijlage I. Voor stortsteen 10–60 kg wordt de laagdikte 0,36 m.

Boven dit niveau is nog wel golfploop te verwachten maar een goede grasmat is sterk genoeg om erosie op dit niveau tegen te gaan. Tussen de breuksteen en de kern wordt voorgesteld om een geotextiel toe te passen. Verder moet er een teenconstructie worden toegepast. Er is gekozen voor een verzonken teenconstructie. De bovenste laag op de bodem bestaat namelijk uit bagger en het verdient aanbeveling om deze te verwijderen.

Bijlage I

| Sortering | $D_{5,0}$ (cm) | $M_{5,0}$ (kg) | $D_{95,0}$ gemiddeld (cm) | Laagdikte $1,5 D_{5,0}$ (cm) | Minimale stort hoeveelheid bij $1,5 D_{95,0}$ laagdikte (kg/m ²) |
|---------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 30/60 mm | 3,9-4,9 | 0,09-0,18 | 3,7 | 20 * | 300 |
| 40/100 mm | 6,2-8,8 | 0,35-1,04 | 6,3 | 20 * | 300 |
| 50/150 mm | 8,8-12,3 | 1,04-2,79 | 8,9 | 20 * | 300 |
| 80/200 mm | 12,3-17,7 | 2,79-8,31 | 12,6 | 20 * | 300 |
| 5-40 kg | 21-26 | 12-25 | 19 | 29 | 450 |
| 10-60 kg | 26-31 | 24-43 | 24 | 36 | 550 |
| 40-200 kg | 38-44 | 84-131 | 35 | 53 | 800 |
| 60-300 kg | 45-51 | 139-204 | 41 | 62 | 950 |
| 300-1000 kg | 71-77 | 541-692 | 63 | 95 | 1450 |
| 1000-3000 kg | 103-110 | 1620-1980 | 90 | 135 | 2050 |
| 3000-6000 kg | 136-143 | 3843-4392 | 118 | 177 | 2700 |
| 6000-10000 kg | 167-174 | 7050-7990 | 144 | 216 | 3250 |

Voor afwijkende dichtheden geldt het volgende:

- de in de tabel gegeven $M_{5,0}$ waarden voor de fijnere sorteringen (mm-maten) dienen met $\rho_s/2500$ te worden vermenigvuldigd,
- de in de tabel gegeven $D_{5,0}$ en $D_{95,0}$ waarden dienen bij de zwaardere sorteringen (kg-maten) met $13,57 (1/\rho_s)^{1/3}$ te worden vermenigvuldigd.

Bijlage II

CUWVO indeling Nederlandse oppervlaktewateren

Tussen haakjes is de in dit handboek gehanteerde indeling weergegeven

Wateren van het rivierenstelsel:

- bronnen; (kleine wateren)
- beken; (kleine wateren)
- kleine rivieren; (geen scheepvaart: kl. wateren)
- rivieren. (met scheepvaart: rivieren)

Functionele wateren, gegraven:

- drinkpoelen; (kleine wateren)
- stadswateren; (kleine wateren)
- sloten; (kleine wateren)
- weteringen en vaarten; (kleine wateren)
- kanalen; (kanalen)
- havens. (kanalen)

Stagnante wateren, al dan niet gegraven:

- vennen en pingo ruïnes; (kleine wateren)
- duinmeren; (kleine wateren)
- wielen; (kleine wateren)
- oude rivierarmen; (kleine wateren)
- zand-, grind- en kleigaten; (meren)
- petgaten; (meren)
- meren en plassen. (meren)

Brakke en zoute wateren:

- dobben; (kleine wateren)
- inlagen; (kleine wateren)
- zoute meren; (meren)
- kreken; (kleine wateren)
- getijdewateren; (n.v.t)
- de zee. (n.v.t)

Bijlage III: Stabiliteitsformuleringen

Golfbelasting

windgolven

Bij golfaanval kan de dimensionering van breuksteenconstructies plaatsvinden met de volgende formule:

$$H_s/\Delta D_{n50} = 2,25 \cos \alpha / \xi^{0,5} \quad (\text{III.1})$$

Bij een enkelsteens laagdikte:

$$H_s/\Delta D_{n50} = 1,5 \cos \alpha / \xi^{0,5} \quad (\text{III.1a})$$

Voor breuksteen, die wordt toegepast in schanskorven dan wel schanskorfmatrassen kan gebruik worden gemaakt van de volgende formule:

$$H_s/\Delta D_{n50} = (2 \text{ à } 2,5) \cdot 2,25 \cos \alpha / \xi^{0,5} \quad (\text{III.2})$$

waarin:

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| H_s | = significante golfhoogte | [m] |
| Δ | = relatieve dichtheid = $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$ | [-] |
| ρ_s | = dichtheid van steen | [kg/m ³] |
| ρ_w | = dichtheid van water | [kg/m ³] |
| D_{n50} | = nominale diameter = $(M_{50}/\rho_s)^{1/3}$ | [m] |
| M_{50} | = massa van een steenstuk dat door 50% van de stenen op basis van gewicht wordt onderschreden | [kg] |
| α | = taludhoek | [°] |
| ξ | = brekerparameter = $\tan \alpha / (H_s/L_o)^{1/2}$ | [-] |
| L_o | = golflengte op diep water = $1,56 T_p^2$ | [m] |
| T_p | = golfperiode (piekperiode = maatgevende periode) | [s] |

Voor meer achtergronden van deze formules (III.1 en III.2) wordt verwezen naar (Pilarczyk, K.W., 1998 [3]). In afbeelding 7.5 staan de te gebruiken standaardsorteringen van de breuksteen uitgezet als functie van de golfhoogte en de taludhelling. Bij het opstellen van deze figuur zijn de volgende aannamen gedaan:

- het schadecriterium is: geen schade (bij een 1,33 keer hogere golfhoogte wordt een nog acceptabele schade verwacht)
- $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$,
- $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$,
- $T_p = 4,0 (H_s)^{1/2} \text{ s}$ dit geldt bij een golfsteilheid (H_s/L_o) van $s_{0p} = 0,04$

Bij schuin inkomende golfaanval mag voor de dimensionering van breuksteen de maatgevende golfhoogte worden gereduceerd.

$$H_i = H_{i,1} (\cos \beta)^{1/2}$$

hierin is β de hoek ten opzichte van de normaal waaronder de golven invallen.

scheepsgolven

De vereiste steendiameter in het geval van belasting door haalgolven kan worden berekend met de volgende formule.

$$D_{n50} = 0,84H_i / (1,5 (\cotg \alpha)^{1/3} \cdot \Lambda) \quad \text{III.3}$$

waarin:

D_{n50} = karakteristieke steendiameter [m]

H_i = haalgolfhoogte [m]

In de literatuur wordt bij deze formule meestal de D_{50} gebruikt

D_{50} = diameter van een steenstuk dat door 50% van de stenen op basis van gewicht wordt onderschreden. [m]

Als gemiddelde relatie tussen D_{50} en D_{n50} kan worden aangehouden $D_{n50} = 0,84 D_{50}$

In afbeelding 7.6 staan de te gebruiken standaardsorteringen van de breuksteen uitgezet als functie van de golfhoogte en de taludhelling. Bij het opstellen van deze afbeelding zijn de volgende aannamen gedaan:

- $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$,
- $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Literatuurlijst

1. CUR-rapport 192, Breuksteen in de praktijk, Deel 1: Productie, verwerking en kwaliteitszorg. CUR, Gouda 1998
2. CUR-rapport 201, Natuurvriendelijke oevers, Belastingen en Sterkte. CUR, Gouda 1999.
3. Pilarczyk, K.W., Dikes and revetments; Design, Maintenance and Safety Assessment. A.A. Balkema, Rotterdam 1998.
4. Rijkswaterstaat Bouwdienst, Handleiding voor het ontwerpen van granulaire bodemverdedigingen achter tweedimensionale uitstromingsconstructies. Utrecht 1995. Document nummer BOD-R-95002.
5. Laan, G.J., Het optimaal benutten van de dichtheid en de wateropneming van loskorrelige steenmaterialen in waterbouwkundige constructies. Rijkswaterstaat DWW, Delft 1998. Rapportnummer P-DWW-98-073.
6. CUR-rapport 169, Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering. CUR, Gouda 1995.
7. CUR-rapport 161, Filters in de waterbouw. CUR, Gouda, 1993.
8. Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, Aanleg van Milieuvriendelijke Oevers en Natuurprojecten in de Dienstkring Merwede, Gorinchem 1996.
9. Duurzaam bouwen in de grond-, weg- en waterbouw, CUR / CROW; VNG uitgeverij, Den Haag 1998. ISBN 90 322 7735 9.
10. PAO cursus "Oever- en dijkbekleding" Uitvoering inclusief kwaliteitsborging bekledingen onder water. Stichting Postacademisch onderwijs Civiele techniek en Bouwtechniek, 1989.
11. Rijnshoutconstructies in de waterbouw. Stichting Productiviteit Rijswerkers- en Steenzetterbedrijf, Leidschendam, juni 1995.
12. CUR-rapport 187, Biologisch afbreekbare geotextielen. CUR, Gouda, november 1996.
13. CUR-rapport 194, Vernieuwbare materialen in en rondom oevers. CUR, Gouda, januari 1998.
14. Commissie Vaarweg Beheerders, Richtlijnen Vaarwegen. Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, juni 1996.
15. Nortier, I.W. en Velde, H. van der, Hydraulica voor waterbouwkundigen. Technische uitgeverij H.Stam N.V., 1968.
16. Onderwijs Innovatiecentrum Bouwnijverheid HBO, Oevers. Dienst Weg- en Waterbouwkunde 1993.
17. Hijum, E van, en Pilarczyk, K.W., Gravel beaches. Waterloopkundig Laboratorium, publicatie 274, Delft 1982.
18. Wieringa, J. en Rijkoort, P.J., Windklimaat in Nederland, K.N.M.I. 1983.

Verklarende woordenlijst

Breksteen

Gebroken natuursteen grover dan 32 mm

Bestek

Een nauwkeurige beschrijving van een uit te voeren werk met de daarbij behorende tekeningen

Beheer

Het handhaven (dan wel bereiken) van een vooraf vastgesteld kwaliteitsniveau van het betreffende object

Dichtheid

Massa van het betreffende materiaal per volume-eenheid (kg/m^3), heel vaak soortelijke massa of soortelijk gewicht genoemd

Duurzame ontwikkeling

Alles zo doen, dat de volgende generatie niet wordt opgezadeld met ongewenste gevolgen van huidige acties

Dynamische stabiele breuksteenconstructie

Constructie waarbij aanzienlijke vervormingen (verplaatsing van breuksteen) ten gevolge van golfbelasting geaccepteerd kan worden (het tegenovergestelde is statisch stabiel)

Ecologie

Wetenschap die de betrekkingen tussen organismen en hun omgeving bestudeert

Erosie

Afslippen van grond door de werking van stromend water, ijs en golven

Evenwichtsprofiel

Profiel waarbij de vorm is afgestemd op/wordt gemaakt door de belastingen

Filter(laag)

Een waterdoorlatende laag met als functie voorkomen van transport van het onderliggende materiaal

Golfhoogte

Verschil tussen het hoogste (top) en het laagste (dal) niveau van het wateroppervlak van een golf

Golfoploopzone

De hoogte boven de stilwaterlijn tot waar het water het talud oploopt

Golfoverslagpercentage

Het percentage golven of het debiet dat over de kruin van de constructie heen slaat

Golfperiode

Tijdsduur tussen het passeren van twee elkaar opvolgende golftoppen

Griend

In of aan het water gelegen stuk grond waar rijshout geteeld wordt

Kraagstuk

Zinkstuk dat men met de lange zijde langs de oevers legt

Legger

Documentatie, waarin is omschreven waaraan een waterkering moet voldoen met betrekking tot de toegekende functies en waarin de juridische begrenzingsen worden aangegeven

Maatgevende belasting

De belasting waarop een constructie moet worden gedimensioneerd

Meanderen

Het kronkelen van een rivier

Oevervegetatie

Planten, die op een oever groeien

Onderhoud

Het uitvoeren van werkzaamheden in het kader van het beheer van de constructie.

Grootonderhoud is niet-jaarlijks terugkerend onderhoud, maar onderhoud dat per activiteit gepland en begroot wordt

Overgangsconstructie

Constructie die tot doel heeft twee verschillende typen constructie op elkaar aan te sluiten

Overschrijdingsfrequentie

Het gemiddeld aantal keren per jaar dat een zeker verschijnsel een zekere waarde overschrijdt

pH

Zuurgraad (KCL in mol/l)

Rijshout

Wilgentenen

Sedimentatie

Het bezinken of neerslaan van materiaal in het water

Schanskorf (Engels: Gabion)

Omhuysel van gaas waarin breuksteen kan worden verpakt

Schroefstraal

Waterstraal, opgewekt door de voortstuwingsinstallatie van het schip

Sifon

Verbinding tussen twee wateren door een dieper gelegen buis

Significante golfhoogte

Gemiddelde van het hoogste éénderde deel van de golfhoogten over een bepaalde periode

Sortering

Breuksteen die gesorteerd is op zeefmaat of op massa van de steenstukken

Spudpaal

Verticale poot aan een vaartuig waarmee het zich kan vastzetten

Strijklengte

De afstand waarover de wind over het water waait (strijkt) en golven kan opwekken

Standaardafwijking

Maat voor de spreiding of onzekerheid (ongeveer een kwart van het verschil tussen de bovengrens en de ondergrens)

Teenconstructie

Constructie aan de onderzijde van een taludverdediging

Toplaag

Buitenste verdedigingslaag van een breuksteenconstructie

Turbulentie

Afwijkingen rond de gemiddelde stroomsnelheid

Vooroever

Onder water gelegen relatief flauwhellend en ondiep gedeelte van de oeverzone waar planten kunnen voorkomen

Zinkstuk

Vlechtwerk van rijshout dat geballast met breuksteen als bodemverdediging dienst doet.

Symbolenlijst

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| b | = breedte van het wateroppervlak | [m] |
| B | = benodigde breedte van de bodembescherming | [m] |
| D_{50} | = diameter van een steenstuk dat door 50% van de stenen op basis van gewicht wordt onderschreden | [m] |
| D_{n50} | = nominale diameter = $(M_{50}/\rho_s)^{1/3}$ | [m] |
| D_{90} | = de zeefmaat waar 90% van het materiaal doorheen gaat | [m] |
| D_b | = de index b staat voor basis (= onderliggende laag) | [m] |
| D_f | = de index f staat voor filter (= bovenliggende laag) | [m] |
| F | = strijklengte (Engels: Fetch) | [m] |
| F_{eff} | = effectieve strijklengte | [m] |
| g | = versnelling als gevolg van de zwaartekracht | [m/s ²] |
| H_t | = haalgolfhoogte | [m] |
| H_s | = significante golfhoogte | [m] |
| $H_{s,1}$ | = de golfhoogte aan de aangegolfde zijde van de dam (inkomende golfhoogte) | [m] |
| $H_{s,1}$ | = de resterende golfhoogte aan de achterzijde van de dam (transmissie) | [m] |
| h | = waterdiepte | [m] |
| h_d | = waterhoogte gemeten vanaf de kruin van de dijk | [m] |
| h_1 | = diepte van een oneffenheid in de ondergrond | [m] |
| k | = taludfactor = $\cos\alpha (1 - \tan^2\alpha/\tan^2\theta)^{1/2}$ | [-] |
| K_t | = transmissiecoëfficiënt = $H_{s,1}/H_{s,1}$ | [-] |
| L | = benodigde lengte van de bodembescherming | [m] |
| L_o | = golflengte op diep water = $1,56 T^2$ | [m] |
| L_1 | = lengte van een oneffenheid in de ondergrond | [m] |
| M_{50} | = massa van een steenstuk dat door 50% van de stenen op basis van gewicht wordt onderschreden | [kg] |
| O_{90} | = is een maat voor de afmeting van de openingen in het geotextiel | [m] |
| T_p | = golfperiode | [s] |
| u | = de stroomsnelheid | [m/s] |
| u_c | = toelaatbare stroomsnelheid | [m/s] |
| $u_{c,t}$ | = toelaatbare stroomsnelheid bij een bepaalde mate van turbulentie | [m/s] |
| u_r | = stroomsnelheid aan de rand van de bodembescherming | [m/s] |
| u_w | = uitstroomsnelheid | [m/s] |
| α | = taludhoek | [°] |
| β | = hoek van inval van de golven, gemeten t.o.v. de normaal | [°] |
| Δ | = relatieve dichtheid = $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$ | [-] |
| θ | = hoek van inwendige wrijving is ongeveer 40° voor breuksteen | [°] |
| μ | = 10^{-6} (100 μm = 0,1 mm) | [-] |
| χ | = brekerparameter = $\tan\alpha/(H_s/L_o)^{1/2}$ | [-] |
| ρ_s | = dichtheid van steen | [kg/m ³] |
| ρ_w | = dichtheid van water | [kg/m ³] |

CUR-publicaties op gebied van gebruik van breuksteen:

- 192 Breuksteen in de praktijk
Deel 1: productie, verwerking en kwaliteitszorg
ISBN 90 376 0049 2
- 197 Breuksteen in de praktijk
Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwateren
ISBN 90 376 0132 4
- 154 Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering
ISBN 0 86017 326 7
- 169 Manual on the use of rock in hydraulic engineering
ISBN 90 376 0060 3

Te bestellen bij: CUR, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Telefoon 0182-540600 of E-mail cur@cur.nl

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.

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.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)

De STOWA is een samenwerkingsverband van de waterbeheerders in Nederland voor het (laten) uitvoeren van gezamenlijk onderzoek op de beleidsterreinen van het integraal waterbeheer (oppervlaktewater, afvalwaterbehandeling, grondwater en waterkeringen).

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

