



RWS INFORMATIE

Richtlijn Ontwerp Waterbouw

Datum	23-06-2020
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat GPO
Informatie	Wilbur van Beijnen
Telefoon	06-11526137
E-mail	wilbur.van.beijnen@rws.nl
Uitgevoerd door	Afdeling Waterbouw, Ecotechniek en Duurzaamheid
Datum	23-06-2020
Status	Definitief
Versienummer	2.0

Inhoud

Colofon—3

Richtlijn Ontwerp Waterbouw—6

1 Dijk—11

- 1.1 Dijk Algemeen—11
- 1.2 Dijk Onderdelen—11
- 1.3 Dijk Ontwerprandvoorwaarden—11
- 1.4 Dijkbekleding Algemeen—12
- 1.5 Dijkbekleding Ontwerprandvoorwaarden—12

2 Bodem- en Oeverbescherming—19

- 2.1 Bodem- en Oeverbescherming Algemeen—19
- 2.2 Bodem- en Oeverbescherming Onderdelen—19
- 2.3 Bodem- en Oeverbescherming Ontwerprandvoorwaarden—19

3 Innovaties en onderzoek—41

Richtlijn Ontwerp Waterbouw

Inleiding

De ROW (Richtlijn Ontwerp Waterbouw) beschrijft een verzameling generieke eisen die voor Rijkswaterstaat van belang zijn bij het ontwerp en de uitvoering van waterbouwkundige constructies. Ook worden in de ROW normen en richtlijnen genoemd die gebruikt moeten worden bij het ontwerp en de realisatie van waterbouwkundige constructies.

De ROW is daarmee een aanvulling op de reeds bestaande normen, richtlijnen en kaders. Daarnaast zijn een set aan bepalingen opgenomen waarin aanvullingen, aanpassingen, wijzigingen en nadere uitwerkingen worden gegeven van die set normen, richtlijnen & kaders en dienen verplicht te worden toegepast voor zover deze van toepassing zijn op het project. Deze bepalingen gaan dus boven de normen, richtlijnen en kaders zelf. In overleg met de opdrachtgever kan worden afgeweken van de ROW-eisen mits onderbouwd door middel van een risicoanalyse, faalkansanalyse en aanvullend onderzoek.

De ROW is opgesteld omdat Rijkswaterstaat ervaringen met ontwerp en uitvoering wil borgen. Met de ROW wil Rijkswaterstaat, als deskundig opdrachtgever, eenduidige richtlijnen geven voor het ontwerpen en realiseren van waterbouwkundige constructies binnen haar areaal.

De ROW is tot stand gekomen via samenwerking tussen Rijkswaterstaat en Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam. De ROW is een zogenaamd 'levend document' dat periodiek wordt bijgewerkt. Het is daarom van belang om altijd de vigerende versie hiervan te gebruiken. Deze vigerende versie is te vinden in de RWS Werkwijzer.

Verder geldt dat de ROW:

- niet alleen geldt voor nieuw te bouwen objecten maar ook voor nieuwe onderdelen van bestaande waterbouwkundige constructies, wanneer deze onderdelen worden vervangen of aangepast;
- alleen geldig is voor objecten in beheer van Rijkswaterstaat;
- als 'te refereren document' kan worden voorgeschreven in Rijkswaterstaat contracten;
- geen basisspecificatie is, met het voorschrijven van de ROW is nog geen complete specificatie verkregen; project specifieke eisen aan de functies, aspecten en raakvlakken moeten ook gewoon nog worden opgenomen in het contract. Dus ook het scheepvaartaanbod moet door het project zelf worden gedefinieerd.
- een levend document is; binnen Rijkswaterstaat wordt de ROW actueel gehouden waarbij het de bedoeling is dat er minimaal 1 maal per jaar een nieuwe versie verschijnt.

Contactpersoon: Wilbur van Beijnen (wilbur.van.beijnen@rws.nl).

De gebruikers van de ROW kunnen vragen over de ROW of wijzigingsvoorstellen over de ROW insturen naar de contactpersoon.

Wijzigingen van de ROW worden uitgebracht in de vorm van een nieuwe versie.

Definitie Waterbouw Categorieën

In de ROW zijn de volgende categorieën benoemd¹:

1. Dijk
2. Bodem- en Oeverbescherming
3. Innovaties en onderzoek

De objecten worden toebedeeld aan primaire en regionale waterkeringen.

Tabel: Definities van ROW-categorieën (Bron: documenten WBI2017)

ROW Categorie	Algemene definitie
Dijk	Waterkerend grondlichaam.
Dijkbekleding	De afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen, langsstromend water, golfoverslag en overloop. Afhankelijk van het type kan de bekleding bestaan uit een toplaag, verschillende soorten tussenlagen (bijvoorbeeld van granulair materiaal of geokunststof) en een onderlaag. In Nederland is de onderlaag meestal van klei.
Bodem- en Oeverbescherming	De afdekking van een bodem en/of oever om deze te beschermen tegen golven en langsstromend water. Afhankelijk van het type kan de bekleding bestaan uit een toplaag, tussenlagen en een onderlaag.
Innovaties en onderzoek	-

Waterbouwkundige constructies en benamingen

Waterbouwkundige constructies van Rijkswaterstaat hebben diverse benamingen. Soms zijn er verschillende benamingen voor hetzelfde type constructie. In onderstaande tabel is aangegeven in welke categorie de verschillende constructies moeten worden ingedeeld.

Tabel: Indeling van Constructies in ROW categorieën

Categorie	Mogelijke vormen	Uitgewerkt in
Dijk	zeedijk, rivierdijk, slaperdijk, compartimenteringsdijk, winterkade, zomerkade, boezemkade, polderkade	Hoofdstuk 1
Dijkbekleding	Granulair, zetsteen, asfalt, klei, gras ²	Hoofdstuk 1
Bodem- en Oeverbescherming	Granulair ³	Hoofdstuk 2
Innovaties en onderzoek	Praktijkproeven, Niet bewezen werktechnieken/dijkversterkingstechnieken/ontwerprichtlijnen, Aanvullend schaalmodelonderzoek, Aanvullend numeriek modelonderzoek	Hoofdstuk 3

¹ Binnen de Eurocodes vallen de in de ROW benoemde waterbouwkundige constructies onder 'Overige constructies'.

² Er zijn meer mogelijke vormen, maar deze worden in deze ROW niet behandeld.

³ Er zijn meer mogelijke vormen zoals bijvoorbeeld asfalt, maar deze worden in deze ROW niet behandeld.

Normen, Richtlijnen en Kaders

Bij het ontwerpen van de objecten zoals vermeld in de voorliggende ROW zijn de volgende normen, richtlijnen en kaders verplicht van toepassing waarbij geldt dat bij tegenstrijdigheid het meest recente document van toepassing is.

Normen
NEN-5180, aanvulling op NEN-EN 13383-1
NEN 7024-1 Zetsteen - Deel 1: Algemene eisen; 2015
NEN 7024-2 Zetsteen - Deel 2: Zetsteen van cementbeton, zonder interlocking en zonder wapening; 2015
NEN 7024-3 Zetsteen - Deel 3: Zetsteen van cementbeton, met interlocking en zonder wapening; 2015
NEN 9997-1 Geotechnisch ontwerp van constructies; 2016
NEN-EN 13383-1 Waterbouwsteen – Deel 1: Specificatie; 2015
NEN-EN 13383-2 Waterbouwsteen – Deel 2: Beproevingmethoden; 2017
Correctieblad NEN-EN 13383-1

TAW / ENW
Handreiking constructief ontwerpen incl. bijlagen; 1994
Leidraad Kunstwerken; 2003
Leidraad Rivieren; 2008
Leidraad rivieren t.b.v. het ontwerpen van rivierdijken; Addendum I; 2008
Leidraad Zee- en Meerdijken en basisrapport; 1999
Leidraad Zee- en Meerdijken; Addendum I; 2009
Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen; 2012
Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken; 2009
Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren; 2002
Technisch Rapport Duinafslag; 2007
Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij dijken; 2012
Technisch Rapport Kistdammen en Diepwanden in Waterkeringen; 2004
Technisch Rapport Klei voor Dijken; 1996
Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het riviereengebied; 2007
Technisch Rapport Steenzettingen; 2003
Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies; 2001
Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies; Addendum; 2007
Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken; 2004

STOWA
Bouwen in en op waterkeringen; 2011

RWS
Handreiking Innovaties Waterkeringen; 2016
Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen; 2017
Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren; Addendum; 2010
Ontwerp van Schutsluizen; 2000

Deltares
Analyse Macrostabieliteit Dijken met de Eindige Elementen Methode; 2011
Handreiking dijkbekledingen, deel 1 tot en met 5; 2015
Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating – <u>Groene versie</u> : Macrostabieliteit Binnenwaarts; 2016

Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities t.b.v. het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken; 2015
Scour Manual incl. Update; 2016
Vergelijkend onderzoek zetstenen voor dijken; Samenvattend rapport; 2016
Vergelijkend onderzoek zetstenen voor dijken, Ruwheid ten aanzien van golfoverslag van steenzetting met dambordpatroon en ribbenpatroon; 2016

Die Kuste

Eurotop, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures; 2016

CUR-documenten

CUR 18 Colloidaal beton; 2011
CUR 115, Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw; 2011
CUR 161 Filters in de waterbouw; 1993
CUR174 Geokunststoffen in de waterbouw; 2009
CUR192 Breuksteen in de praktijk. Deel 1; 1998
CUR197 Breuksteen in de praktijk. Deel 2; 2000
CUR 206 Geokunststoffen op de bouwplaats; 2001
CUR 217 Ontwerpen met geotextiele zandelementen; 2006
CUR 233 Interface stability of granular filter structures; 2010
CUR 243 Durability of geosynthetics; 2015
CUR683 The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering 2nd Edition, CIRIA, CUR, CETMEF, London; 2007 inclusief errata.
CUR 233, Design formula for stable open granular filters loaded by currents, 2015
CUR 5180 Nederlandse aanvulling op NEN-EN 13383-1; 2004
Construction and survey accuracies for the execution of rock works, SBRCURnet-rapport; 2014
Ontwerprichtlijn Geotextielen onder steenbekleding, SBRCURnet-rapport; 2017
CUR, Design guideline for underlayers beneath rock armoured slopes under wave loading, 2018

PIANC rapporten

PIANC. Guidelines for the design of armoured slopes under open piles quay walls. Working group 22; 1997
PIANC Report N°180 – Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships; 2015
PIANC WG 113 FINAL VERSION The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas.

KIWA

BRL 9080 Zetsteen van ongewapend beton voor de natte waterbouw; 2016
BRL 9312 Waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken; 2007
BRL 9312 Wijzigingsblad.
BRL 9324 Groevesteent

BAW

BAW. Principles for the design of bank and bottom protection for inland waterways (GBB); 2010

Overig
Leidraad voor kwaliteitszorg bij het aanleggen van bekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen; KOAC.NPC; 2015
Raes. (1996). The effects of ship propellers on bottom velocities and on scour bear berth and protection methods using thin flexible revetments
Van der Meer. (1988). Rock slopes and gravel beaches under wave attack
Handboek Dijkenbouw, Uitvoering versterking en nieuwbouw, Hoogwaterbeschermingsprogramma, september 2018

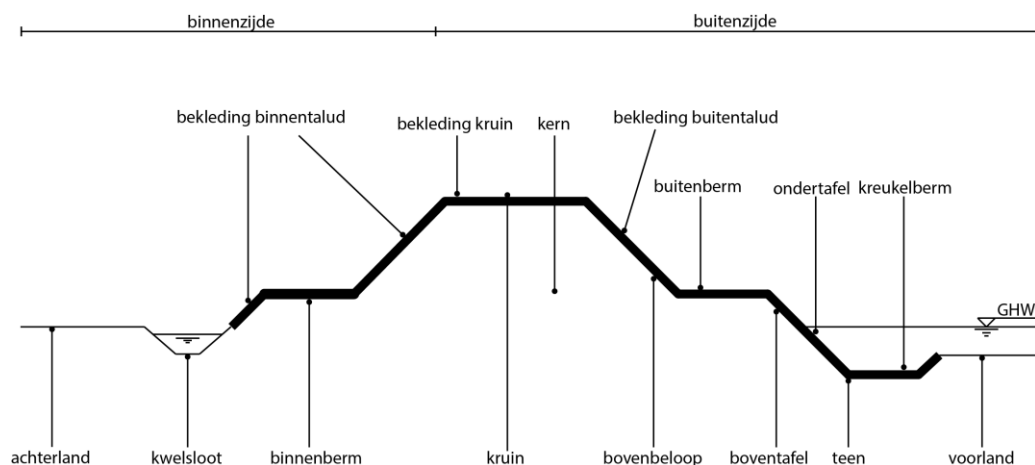
1 Dijk

1.1 Dijk Algemeen

De Dijk is een kunstmatig aangelegd waterkerend grondlichaam dat hoofdzakelijk bestaat uit zand en klei. Als bescherming van de constructie wordt de bekleding vaak gevormd door een erosiebestendige kleilaag waarop een grasmat ontwikkeld is, harde losse elementen zijn geplaatst of asfalt is aangebracht.

1.2 Dijk Onderdelen

De Dijk bestaat uit verschillende onderdelen die worden aangeduid als aangegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 - Dwarsprofiel Dijk

1.3 Dijk Ontwerprandvoorwaarden

DK1: Dijk – Uitgesloten materialen

De dijk dient, in aanvulling op bestaande regelgeving, vrij te zijn van materialen:

- die gaan verkitten of,
- die bestaan uit thermisch gereinigde grond (TGG) of andere thermisch gereinigde bouwstoffen of,
- die bestaan uit IBC-bouwstoffen (niet vormgegeven bouwstoffen die isolatie-, beheers- en controle- maatregelen nodig hebben) of,
- waarbij immobilisaten en vormgegeven bouwstoffen zijn toegepast.

1.4 Dijkbekleding Algemeen

Een dijkbekleding kan uit diverse materialen bestaan afhankelijk van de belasting die optreedt. Bij kleinere belasting wordt vaak gebruik gemaakt van een kleilaag waarop een grasmat is ontwikkeld, gezette bekleding of asfaltconstructie. Bij grotere belastingen wordt vaak een bekleding toegepast die bestaat uit granulair materiaal (waterbouwsteen) of betonnen elementen al dan niet als overlaging van oudere bekledingen. In alle gevallen vaak in combinatie met een filterconstructie. In specifieke gevallen worden combinaties van oplossingen of alternatieve oplossingen toegepast. Overgangsconstructies vormen altijd een belangrijk aandachtspunt omdat dit zonder aanvullende maatregelen het zwakste punt van de constructie is.

1.5 Dijkbekleding Ontwerprandvoorwaarden

DB1: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag⁴ op het buitentalud ($H_s < 0,75\text{m}$)

De Dijkbekleding op het buitentalud van de Dijk bestaande uit een kleilaag dient, bij een belasting door golven met een significante golfhoogte kleiner dan 0,75 m, een dikte te hebben van minimaal 1,00 m en een erosiebestendigheid van categorie 1 of van categorie 2 conform [Handboek dijkenbouw; 2018]. Hierbij geldt dat een laag van teelaarde ten behoeve van de ontwikkeling van de grasmat niet als laagdikte meegeteld mag worden.

DB2: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag⁴ op het buitentalud ($H_s \geq 0,75\text{m}$)

De Dijkbekleding op het buitentalud van de Dijk bestaande uit een kleilaag dient, bij een belasting door golven met een significante golfhoogte gelijk aan of groter dan 0,75 m, een dikte te hebben van minimaal 1,50 m en een erosiebestendigheid van categorie 1 of van categorie 2 conform [Handboek dijkenbouw; 2018]. Hierbij geldt dat een laag van teelaarde ten behoeve van de ontwikkeling van de grasmat niet als laagdikte meegeteld mag worden.

DB3: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag⁴ op kruin en/of binnentalud

De Dijkbekleding op de kruin en/of op het binnentalud van de Dijk bestaande uit een kleilaag dient een dikte te hebben van minimaal 1,00 m en een erosiebestendigheid van categorie 1 of van categorie 2 conform [Handboek dijkenbouw; 2018]. Hierbij geldt dat de aangegeven laagdikte van 1,00 m voor maximaal 0,30 m mag bestaan uit een laag teelaarde ten behoeve van ontwikkeling grasmat.

DB4: Dijkbekleding – Realiseren grasmat

Indien de Dijk wordt voorzien van een grasmat als onderdeel van de dijkbekleding dan geldt voor de grasmat dat deze dusdanig gerealiseerd dient te worden dat zich een gesloten zode ontwikkeld conform de definitie in het WBI2017.

DB5: Dijkbekleding – Toepassen ge(pre)fabriceerde zetsteen

Ge(pre)fabriceerde zetsteen, zoals betonzuilen en betonblokken, als onderdeel van de Dijkbekleding, dient te voldoen aan [NEN7024] en bijbehorende [BRL9080].

⁴ In afwijking op onder andere diktes genoemd in het OI2017, Leidraad Rivieren, Leidraad Zee- en Meerdijken en Technisch Rapport Klei voor dijken zijn in de eisen DB1, DB2 en DB3 minimale diktes voor de kleilaag in de dijkbekleding geëist. Hierbij geldt dat de waardes een minimum zijn en dat uit een analyse zal moeten blijken of voor bijvoorbeeld een hoger overslagdebiet, zwaardere golfaanval, doorlatendheid of stabiliteit een dikkere laag nodig is.

DB6: Dijkbekleding – Zuilen zetten

Zuilen in de vorm van beton, natuursteen en/of ander materiaal, welke worden toegepast als onderdeel van de Dijkbekleding, dienen te zijn gezet en mogen niet zijn gevlijd.

DB7: Dijkbekleding – Uithardingstijd zetsteen

Zetsteen, als onderdeel van de Dijkbekleding, mag niet eerder zijn gezet dan na een uithardingstijd van 14 dagen vanaf het produceren van de zetsteen.

DB8: Dijkbekleding – Ontwerp en uitvoering zetsteen met filterlaag/uitvullaag

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan geldt dat in de ontwerpberekeningen uitgegaan moet worden van een laagdikte van de filterlaag/uitvullaag van 10cm of dikker.

Na realisatie dient de laagdikte van deze filterlaag/uitvullaag nergens dikker te zijn dan de ontwerpwaarde en nergens dunner te zijn dan $2 \cdot D_{n50}$ van de betreffende sortering. De laagdikte dient via een geschikte keuringsmethode te worden aangetoond, rekening houdend met de van toepassing zijnde maak- en meetnauwkeurigheden conform [SBRCURnet, 2014].

DB9: Dijkbekleding – Vlakheid zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding met zetsteen, dan geldt per vlak waarbij de zetsteen op gelijk niveau is aangebracht, en gemeten langs het vlak:

- Toegestane positieve afwijking: 0,01 m
- Toegestane negatieve afwijking: 0,01 m

DB10: Dijkbekleding – Openingen tussen zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan geldt, in aanvulling op [NEN7024], dat het open oppervlak dient te zijn afgestemd op de korreldiameter van de filterlaag onder de zetsteen zodanig dat uitspoeling van het filtermateriaal door de openingen wordt voorkomen. Hierbij geldt dat de Dijkbekleding niet meer open oppervlakte mag hebben dan uit het ontwerp volgt met daarbij een tolerantie=0). Een kleiner oppervlakte mag tot maximaal 5%-punt.

DB11: Dijkbekleding – Afstemmen lagen en materialen bij zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan dienen filter-/uitvullaag, filter-/uitvulmateriaal, inwasmateriaal en vorm van de zetsteen conform [NEN7024] op elkaar te zijn afgestemd.

DB12: Dijkbekleding – Inwas-, filter-, en uitvulmateriaal bij zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan dient het inwasmateriaal, het filtermateriaal en het uitvulmateriaal:

- te bestaan uit steenslag dat voldoet aan 'natural aggregate' conform [NEN-EN 12424+A1];
- te zijn voorzien van met een NL BSB-productiecertificaat op basis van [BRL 9324];
- een soortelijk gewicht te hebben van minimaal 2650 kg/m³;
- afgestemd te zijn op de open ruimte tussen de zetstenen;
- Te voldoen aan de in [NEN7024] genoemde proeven.

DB13: Dijkbekleding – Schoon voor inwassen bij zetsteen

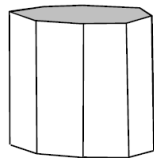
Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan dienen de openingen tussen de zetstenen, voor het inwassen, schoon te zijn.

DB14: Dijkbekleding – Schoonmaken na inwassen bij zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan dient steenslag die overtollig was na het inwassen te zijn verwijderd.

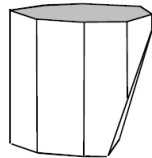
DB15: Dijkbekleding – Vorm van de zuilen

Indien de Dijk wordt voorzien van een taludbekleding van zetsteen, dan geldt, in aanvulling op [NEN7024], dat de zuil een natuurlijke zuilvorm moet hebben als aangegeven in onderstaande figuur.

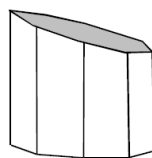


Natuurlijke zuilvorm

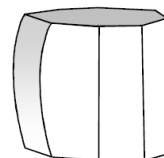
Afwijkende zuilvormen, vooral voorkomend bij basalt en hergebruikt zetsteen, zoals hieronder aangegeven, worden in het ontwerp/uitvoering niet toegestaan.



Scherf van zijkant



Scherf van kop



Bolle zijkant

DB16: Dijkbekleding – Inklemming bovenkant zetsteentalud

Indien in de Dijk wordt voorzien van een taludbekleding van zetsteen, dan dient de bovenkant van het zetsteentalud te worden ingeklemd door een betonband.

DB17: Dijkbekleding – Levensduur teenconstructie

Indien de Dijk wordt voorzien van een taludbekleding van zetsteen, dan dient de teenconstructie, inclusief teenschot, een levensduur te hebben van ten minste 50 jaar.

DB18: Dijkbekleding – Ondersteuning teenschot

Indien de Dijk wordt voorzien van een taludbekleding met teenschot in de dijkteen, dan dient het teenschot ten minste ondersteund te worden door een teenbestorting. Het niveau van de bovenzijde van deze teenbestorting, bepaald conform BO4, mag niet onder de bovenzijde van het teenschot (komen te) liggen.

DB19: Dijkbekleding – Ondersteuning teenschot

Indien de dijk wordt voorzien van een taludbekleding met teenschot in de dijkteen, dient de teenbestorting tegen het teenschot aan te liggen zodat per strekking van $3 \cdot D_n 50$, de bovenste helft van de breuksteen laag minimaal twee contactpunten heeft met het teenschot.

DB20: Dijkbekleding – Ontwerp teenbestorting

Indien de Dijk wordt voorzien van een teenbestorting, dan dient deze ontworpen te zijn volgens de [Handreiking Dijkbekleding deel 4: Breuksteenbekledingen – aanvullingen bij de Rock Manual, november 2015].
 In afwijking van de [Handreiking Dijkbekleding deel 4: Breuksteenbekledingen – aanvullingen bij de Rock Manual, november 2015] geldt dat de laagdikte minimaal $2 \cdot D_{n50}$ moet zijn aangetoond conform eis BO4.
 Hierbij geldt dat een teenbestorting bestaande uit breuksteen met een sortering tot 60-300 kg een breedte dient te hebben van minimaal 5,00 m en een teenbestorting bestaande uit breuksteen met sortering van 300-1000 kg of groter een breedte dient te hebben van minimaal 10,00 m.

DB21: Dijkbekleding – Verwijderen begroeiing en voorkomen opgroei

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding, dan dienen bestaande begroeiing en zichtbare wortelstelsels volledig te zijn verwijderd en dient opgroei van niet-zichtbare wortelstelsels te zijn voorkomen.

DB22: Dijkbekleding – Realiseren bitumineus gebonden bekleding

Indien de Dijk wordt voorzien van een bitumineus gebonden bekleding, waaronder waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt, gietasfalt en asfaltmastiek, dan dient de asfalsamenstelling, fabricage, transport, verwerking en controle uitgevoerd te worden conform [Standaard RAW Bepalingen 2015].

DB23: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan dient de laagdikte ontworpen te worden conform het [Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren incl. addendum] en geldt dat de laagdikte minimaal $2,0 \cdot D_{n50}$ moet zijn waarbij uitgegaan wordt van metingen van de toppen van de stenen [SBRCURnet, 2014]. De te gebruiken breuksteensortering is gelijk of groter dan 5-40kg.

DB24: Dijkbekleding – Vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan gelden voor het vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek de volgende aanvullende eisen ten opzichte van de [Standaard RAW Bepalingen 2015]

Proef 57.1 Vooronderzoek

- in de ontwerpsamenstelling van het gietasfalt de korrelverdeling van het gietasfalt en de breuksteen op elkaar afgestemd te worden. Tenminste moet de korrelverdeling D85 (volgend uit proef 11.0 Bepalen van de korrelverdeling) van het gietasfalt kleiner zijn dan de D15 van het breuksteen.

Proef 57.2 Geschiktheidsonderzoek

In aanvulling op proef 57.2 zoals beschreven in de Standaard RAW Bepalingen 2015 dient

- opnieuw een geschiktheidsonderzoek plaats te vinden indien tijdens de uitvoering van het Werk
 - een afwijkende verwerkingsmethode of nieuwe bouwstof wordt gehanteerd dan in het geschiktheidsonderzoek is gebruikt. Onder afwijking in verwerkingsmethode wordt verstaan verandering in het aantal, en de aard van, handelingen dat uitgevoerd moet worden om het asfalt te verwerken of een verandering in het aanbrengen van asfalt met ander materieel.
 - een steilere helling of een meer dan 30% afwijkende tangens van de te penetreren taludhelling wordt gepenetreerd dan waar het geschiktheidsonderzoek op is uitgevoerd.

- breuksteen gebruikt wordt dat afkomstig is uit een andere groeve dan gebruikt tijdens het geschiktheidsonderzoek.
- Wanneer uit het geschiktheidsonderzoek blijkt dat onvoldoende penetratie plaatsvindt, moet het gebruikte asfaltmengsel, danwel de breuksteensamenstelling, aangepast worden. Er moet dan een nieuw vooronderzoek (proef 57.1) en geschiktheidsonderzoek (proef 57.2) uitgevoerd worden.
- De te nemen proefmonsters tijdens het geschiktheidsonderzoek moeten verdeeld over de periode van het geschiktheidsonderzoek worden genomen om inzicht te krijgen in de spreiding van de materiaaleigenschappen. Proefmonsters dienen niet te zijn genomen van een ontmengt asfaltmengsel.
- Met een geschikt aantal kernboringen wordt aangetoond dat het geschiktheidsonderzoek voldoet. Dit zijn tenminste 6 boringen per 16 ton aangebracht gietasfalt, evenredig verdeeld over het talud (als voorbeeld 2 boringen bovenaan, 2 boringen middenin en 2 boringen onderin).

DB25: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan geldt voor Tabel 52.5.8 uit de [Standaard RAW Bepalingen 2015] dat bij grotere werken dan 40.000 m² het aantal vakken per werk wordt vermeerderd zodat de verhouding niet groter wordt dan 40000/64. Dit betekent dat een separaat te bemonsteren vak (voor de monsternamen ten behoeve van de controle in paragraaf 52.54.04 lid 1) van de bekleding maximaal een oppervlakte van 625 m² heeft.

DB26: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan geldt voor Tabel 52.5.9 uit de [Standaard RAW Bepalingen 2015] dat bij grotere werken dan 20.000 ton het aantal te bemonsteren hoeveelheden per werk wordt vermeerderd zodat de verhouding niet groter wordt dan 20000/64. Dit betekent dat een separaat te bemonsteren hoeveelheid verwerkte gietasfalt (voor de monsternamen ten behoeve van de controle in paragraaf 52.54.04 lid 4) maximaal een omvang van 313 ton heeft.

DB27: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan dient in aanvulling op de uit te voeren proeven en onderzoeken uit de [Standaard RAW Bepalingen 2015] aanvullend materiaalonderzoek te worden uitgevoerd om vast te stellen of de verwerkte materialen continu dezelfde eigenschappen hebben tijdens het werk en te kunnen bijsturen. Dit onderzoek heeft tenminste betrekking op breuksteen (a) en gietasfalt (b):

(a) Materiaalonderzoek breuksteen

Het materiaalonderzoek aan het breuksteen dient tenminste de proeven te bevatten uit Tabel U1.

Tabel U1: Materiaalonderzoek voor het breuksteen

Parameter	Methode	Aantal onderzoeken per onderdeel		
		Vooronderzoek proef 57.1	Geschiktheidsonderzoek proef 57.2	Tijdens uitvoering
Steensoort, soortelijk gewicht	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2	-	1	-
Massaverdeling	CE-certificaat	-	1	-

	Norm NEN-EN 13383-2			
Druksterkte	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2	-	1	-
Weerstand tegen afslijting	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2	-	1	-
Holle ruimte in de breuksteen	Proef U1: In bak proefopstelling	-	8	Per 2000 ton

Proef U1: holle ruimten breuksteen

Tijdens de uitvoering wordt per 2000 ton breuksteen en tijdens het geschiktheidsonderzoek wordt 8 maal het percentage holle ruimte bepaald. Het percentage holle ruimte breuksteen wordt bepaald door in een vloeistofdichte bak met een oppervlak van minstens 4 m² op de bodem de breuksteenbekleding aan te brengen zoals in het werk wordt beoogd. Het gewicht van de lege bak en volle bak wordt gemeten. Vervolgens wordt water toegevoegd tot een niveau van vulling (van gietasfalt) zoals op het werk beoogd. Het gewicht wordt opnieuw bepaald inclusief toegevoegd water. Het waterniveau in de (horizontale) bak wordt opgemeten. De holle ruimte in de breuksteen wordt bepaald met de gemeten waarden en dient overeen te komen met de benodigde holle ruimte in het ontwerp.

(b) Materiaalonderzoek gietasfalt

Het materiaalonderzoek aan het gietasfalt dient tenminste de proeven te bevatten uit Tabel U2.

Tabel U2: Materiaalonderzoek voor het gietasfalt

Parameter	Methode	Aantal onderzoeken per onderdeel		
		Vooronderzoek proef 57.1	Geschiktheids-onderzoek proef 57.2	Tijdens uitvoering
Penetratie bitumen	NEN-EN 1426	1	-	-
Verwekingspunt bitumen	NEN-EN 1427	1	-	-
Asfaltmastiek	Proef 58 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	-	-
Hellingproef	proef 59 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	-	1 per dag
Samenstelling gietasfalt	proef 52 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	8	1 per 200 ton
Dichtheid proefstuk	proef 82 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	8	1 per dag
Dichtheid mengsel	proef 83 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	8	1 per 200 ton

Gehalte aan poriën	proef 84 Standaard RAW Bepalingen 2015	1	8	1 per 200 ton
Vastleggen verwerkings-temperatuur	Eigen methode, representatief voor het werk	1	8 verdeeld over de werkdag	8 verdeeld over de werkdag
Temperatuur gietasfalt	Eigen methode, representatief voor het werk	-	Bij elke geleverde vracht	Bij elke geleverde vracht
Weersgesteldheid tijdens uitvoering	Paragraaf 52.52.03 Standaard RAW Bepalingen 2015	-	1 per dag	1 per dag
Luchttemperatuur tijdens uitvoering	Bij elke geleverde vracht	-	1 per dag	1 per dag

DB28: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dient bij de bepaling van de hoeveelheid in te gieten asfalt gebruik te worden gemaakt van de holle ruimte percentage uit proef U1, correcties voor verliezen van asfalmengsel op toppen van stenen en uitloop in teen of ondergrond, soortelijke massa, vulling van 100% van het beoogde niveau in het ontwerp.

DB29: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dienen het vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek conform [Standaard RAW Bepalingen 2015] met positief resultaat te zijn afgerond voordat het verdere aanbrengen van gietasfalt wordt aangevangen.

DB30: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan dient ten minste elke 10m een kernboring uitgevoerd te worden om aan te tonen dat bekleding voldoet aan het ontwerp en geschiktheidsonderzoek. Deze boringen dienen achtereenvolgend boven-, midden en onderin het talud te worden uitgevoerd.

DB31: Dijkbekleding – Realiseren vol en zat gepenetreerde breuksteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een bekleding van met gietasfalt vol en zat gepenetreerde breuksteen, dan dient, op basis van hoeveelhedenregistratie van aangebracht gietasfalt en de bepalingen van de holle ruimte en laagdikte, te worden aangetoond dat per vak (orde 100 m taludlengte) voldoende gietasfalt is aangebracht.

2 Bodem- en Oeverbescherming

2.1 Bodem- en Oeverbescherming Algemeen

De Bodem- en Oeverbescherming is het geheel van maatregelen om de bodem en de oevers van binnenwateren zoals rivieren en kanalen, of in getijdegebieden te beschermen. De Bodem- en Oeverbescherming bestaat hoofdzakelijk uit granulair materiaal, eventueel aangebracht op een zinkstuk (bodem) of op een kraagstuk (oever). In sommige gevallen wordt het granulair materiaal gepenetreerd met colloïdaal beton. Ook zijn andere materialen mogelijk zoals onder andere blokkenmatten, asfaltconstructies of damwandconstructies. In deze ROW⁵ worden slechts de constructies van loskorrelig granulair materiaal beschouwd.

2.2 Bodem- en Oeverbescherming Onderdelen

De Bodem- en Oeverbescherming bestaat uit toplaag van breuksteen op één of meerdere granulaire onderlagen of op een zink- of kraagstuk.

2.3 Bodem- en Oeverbescherming Ontwerprandvoorwaarden

BO1: Bodem- en Oeverbescherming – Maatgevende laagste waterstand in ontwerp

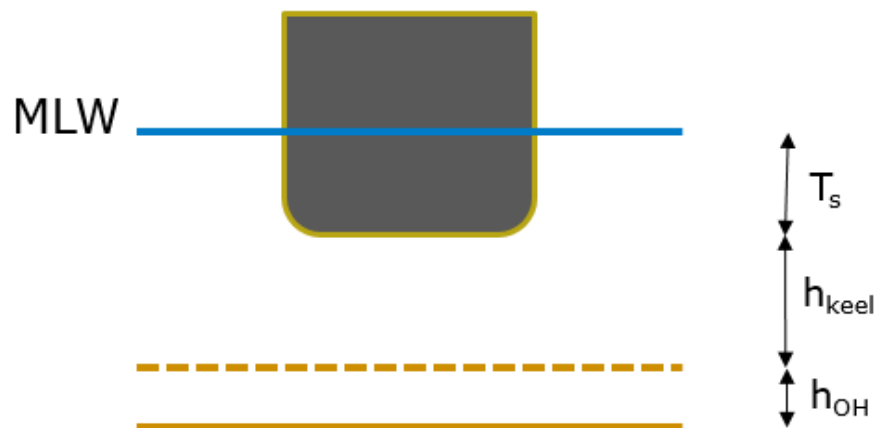
Indien de Bodem- en oeverbescherming wordt gerealiseerd in een getijdegebied dan dient deze, in het geval van een niet-probabilistisch ontwerp en/of in het geval er geen projectspecifieke hydraulische randvoorwaarden beschikbaar zijn, te zijn gedimensioneerd op een laagwaterstand die 1% van de getijden wordt onderschreden (7 maal per jaar).

⁵ In toekomstige versies van de ROW wordt deze uitgebreid met andere constructies.

BO2: Bodem- en Oeverbescherming – Rekenkundig niveau bovenkant Bodembescherming

Voor het rekenkundig niveau van de bovenkant van de bodembescherming ter input van de stabiliteitsberekeningen dienen de volgende aspecten minimaal te worden beschouwd:

- Maatgevende laagste waterstand (MLW) in ontwerp conform eis BO1
- Maatgevende diepgang (T_s), incl. zoetwatertoeslag bij zeeschepen
- De minimale vereiste kielspeling (h_{keel})
- Onderhoudsmarge (h_{oh}), de grootte van deze marge is projectspecifiek en moet vooraf worden afgestemd met de opdrachtgever.



BO3: Bodem- en Oeverbescherming – Aanlegniveau Bodembescherming

In het vaststellen van het aanlegniveau van de bodembescherming dienen de volgende aspecten te worden meegenomen:

- Dikte van de toplaag conform eis BO39
- Dikte van een mogelijke onderlaag
- Systematische survey (on)nauwkeurigheid conform [SBRCURnet, 2014]
- Random survey (on)nauwkeurigheid conform [SBRCURnet, 2014]
- Bagbertolerantie gelijk aan:
 - 0,15 m bij een waterdiepte tot 5 m
 - 0,20 m bij een waterdiepte van 5 m tot 15 m
 - 0,25 m bij een waterdiepte van 15 m

Van deze bagbertoleranties kan alleen worden afgeweken in overeenstemming met RWS.

- Uitvoeringstolerantie in de dikte van de onderlaag (indien aanwezig) en bovenlaag.

BO4: Bodem- en Oeverbescherming – Verificatie niveau bovenkant en laagdikte bodembescherming

Ten aanzien van de verificatie van de bovenkant en de laagdikte van de Bodem- en Oeverbescherming geldt:

- Dat dient te worden voldaan aan de eisen zoals gesteld in het contract over hydrografische werkzaamheden, geodetische werkzaamheden en areaalgegevens.
- De laagdikte die wordt gespecificeerd in het ontwerp is de minimale laagdikte voor de constructie, exclusief uitvoeringstoleranties. Uit de metingen moet volgen dat de laagdikte overal groter is.
- De laagdikte wordt aangetoond middels een laagdiktemeting, waarin per specifieke laag, grafisch zijn weergegeven:
 - de vereiste laagdikte conform het ontwerp en;
 - de gemeten laagdikte, op een daarvoor geschikte schaal.
- Bij de bepaling van de laagdikte is uitgegaan van het halve bol referentievlak conform [SBRCURnet, 2014]. Hierbij geldt:
 - dat de meetresultaten zijn bewerkt tot referentieniveau halve bol;
 - er geen correctie is toegepast voor mogelijke indringing van een (top)laag in een onderliggende laag of bodem;
 - dat er wel correctie is toegepast voor de meetfout t.o.v. halve bol (systematisch en willekeurig) conform [SBRCURnet, 2014].
- Conform het rekenvoorbeeld uit [SBRCURnet, 2014] dienen de metingen via een vlak representatief te zijn voor de te realiseren constructie. Hierbij geldt dat bij de inzet van een multibeam het rekenvoorbeeld uit [SBRCURnet, 2014] mag worden aangehouden waarin voor de minimale laagdikte een vlak van $16 \cdot D_{n50}^2$ (met een minimum van 4 m²) is gehanteerd.
- Bij de inzet van een andere meettechniek dient het aantal metingen aan te sluiten bij een maat die representatief is voor het ontwerp van de constructie.

BO5: Bodem- en Oeverbescherming – Aangewend vermogen bij aan- en afmeermanoeuvres

In aanvulling op par. 6.2 uit [PIANC 180, 2015] en tenzij anders aangegeven in het contract, dienen voor het dimensioneren van een Bodem- en Oeverbescherming, voor het aangewend vermogen van schepen, de volgende percentages van het geïnstalleerde vermogen te worden aangehouden:

- Boegschroef en hekschroef (zeevaart en binnenvaart): 100%
- Hoofdschroef zeeschepen: 63%
- Hoofdschroef binnenvaart: 100%

Voor het aanwenden van bovenstaande schroefvermogens wordt een conventionele aandrijving van schepen bedoeld. Expliciet vallen bijvoorbeeld pod-aandrijvingen en Schottel Pump Jets hier niet onder.

B06: Bodem- en Oeverbescherming – Maximale vaarsnelheid

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen voor het bepalen van de verhouding tussen maximale vaarsnelheid en grenssnelheid in een normale vaarweg, in afwijking van de [Rock Manual], de volgende waarden te worden aangehouden in formule 4.171:

- $f_v = 0,9$ for loaded ships
- $f_v = 0,9$ for unloaded ships.

Bovenstaande waarden gelden niet voor de maximum-invaarsnelheid in een sluismond. Hiervoor dient een f_v van 2,0 te worden aangehouden [Ontwerpen van Schutsluizen, 2000].

B07: Bodem- en Oeverbescherming – Scheepsgeïnduceerde belastingen

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen de scheepsgeïnduceerde belastingen zoals retourstroming, haalgolven en secundaire golven (i.e. interferentiepieken), berekend te worden met de ontwerpmethodologie zoals beschreven in paragraaf 4.3.4 van de [Rock Manual].

B08: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid achter hoofdschroef

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt, in afwijking van formule 4.187 uit de [Rock Manual]:

De uitstroomsnelheid achter een hoofdschroef dient te zijn berekend met de volgende formule:

$$U_0 = 1,17 \cdot \left(\frac{f_p P}{\rho_w \cdot D_0^2} \right)^{1/3}$$

Waarbij:

U_0	=	uitstroomsnelheid direct achter de schroef of schroefbuis [m/s]
D_0	=	Straaldiameter bij begin van de schroefstraal [m] $D_0 = D/\sqrt{2}$ bij vrijstaande schroeven $D_0 = 0,85D_p$ bij schroeven in een tunnel (zonder straalbuis) $D_0 = 1,0D_p$ bij schroeven in een straalbuis
D_p	=	diameter van de schroef [m]
P	=	maximum vermogen per schroef [W]
f_p	=	aangewend vermogen per schroef, zie B04 [-]
ρ_w	=	dichtheid water [kg/m ³]

B009: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid achter boegschroeven in een straalbuis

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt, in afwijking van formule 4.187 uit de [Rock Manual]:

De uitstroomsnelheid achter een boegschroef in een straalbuis wordt berekend met de volgende formule:

$$U_0 = \xi \cdot 1,17 \cdot \left(\frac{f_p P}{\rho_w \cdot D_0^2} \right)^{1/3}$$

Waarbij:

U_0	=	uitstroomsnelheid van de schroef of schroefbuis [m/s]
D_0	=	diameter van de uitstroomopening van de boegschroef constructie [m]
P	=	maximum vermogen per schroef [W]
f_p	=	aangewend vermogen per schroef, zie B04 [-]
ξ	=	energieverliesfactor bij boegschroeven [-] $\xi = 0,9$ bij boegschroeven van binnenvaartschepen $\xi = 1,0$ bij boegschroeven van zeeschepen
ρ_w	=	dichtheid water [kg/m ³]

De uitstroomsnelheid achter een kanalen boegschroef wordt berekend met dezelfde relatie met inachtneming van het onderstaande:

Bij een kanalen boegschroef met rechthoekige kanalen (met afmetingen $b \times h$) wordt voor de uitstroming van de straal gerekend met een equivalente cirkelvormige uitstroomopening met:

$$D_0 = 2 \sqrt{\frac{bh}{\pi}}$$

B010: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid voor een stuurrooster en Compact-Jet boegschroef

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

Voor het berekenen van de uitstroomsnelheid dient onderstaande formule, conform aanpak van Manaois (PIANC 180, 2015) te zijn gehanteerd.

$$U_{0,m} = \frac{1,53}{1,17} \cdot \frac{\left(\frac{\Phi_{in}}{\Phi}\right)^{\frac{2}{3}}}{\cos \gamma} U_0 \xi$$

$$U_0 = 1,17 \cdot \left(\frac{f_p P}{\rho_w \cdot D_0^2}\right)^{1/3}$$

Waarbij:

$U_{0,m}$	=	uitstroomsnelheid van stuurrooster en Compact-Jet boegschroef [m/s]
U_0	=	uitstroomsnelheid volgens de formule voor een 'normale' boegschroef zonder energieverlies [m/s]
D_0	=	rekenkundige begindiameter van schroefstraal na Uitstroomopening = $\left(\frac{4}{\pi n_0 b h}\right)^{0,5}$ [m]
ξ	=	energieverliesfactor bij boegschroeven [-] $\xi = 0,9$ bij boegschroeven van binnenvaartschepen
γ	=	hoek tussen as van stuurrooster straal en vlak van uitstroomopening (kiel van schip) [°]
Φ	=	verhouding tussen uitstroomoppervlak ($n_0 b h$) en instroomoppervlak ($\frac{\pi}{4} D_p^2$) van de stuurrooster boegschroef
n_0	=	aantal uitstroomopeningen van stuurrooster [-]
b	=	breedte van uitstroomopening [m]
h	=	hoogte van uitstroomopening [m]
Φ_{in}	=	contractiefactor van het doorstroomoppervlak bij de instroming van de stuurrooster boegschroef = 0,5.
γ	=	hoek tussen as van stuurrooster straal en vlak van uitstroomopening (kiel van schip) [°]

B11: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld in vrije schroefstraal (vrijstaand schroeven en schroeven in Kort nozzles en boegschroeven)

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

Op basis van formule 4.189 uit de [Rock Manual] dient het snelheidsveld in een schroefstraal te worden berekend met de formule voor een vrije, onbegrensde schroefstraal:

$$U(x,r) = 2,8 \frac{D_0}{x} U_0 \cdot \exp\left(-15,4 \cdot \frac{r^2}{x^2}\right) \text{ voor } x > 2,8 \cdot D_0$$

Waarbij:

- $U(x,r)$ = (tijdgemiddelde) stroomsnelheid evenwijdig aan de schroefas in punt (x,r) [m/s]
 x = afstand vanaf schroef of uitstroomopening van schroefbuis, gemeten langs de straalas [m]
 r = radiale afstand tot de straalas [m]

Er is sprake van een vrije straal als de straal zich in alle richtingen onbelemmerd kan voortplanten. De coëfficiënten 2,8 en 15,4 zijn bepaald bij vrijstaande hoofdschroeven en bij hoofdschroeven in een 'Kort nozzle' stroombuis. Bij boegschroeven met een hiervan afwijkende geometrie kunnen (enigszins) afwijkende coëfficiënten gelden. Omdat exacte gegevens hierover ontbreken, wordt bij boegschroeven ook uitgegaan van coëfficiënten 2,8 en 15,4, echter wel met uitzondering van stuurroosters en compact jet boegschroeven. Hiervoor gelden de formules zoals beschreven bij BO12, 'Snelheidsveld in vrije schroefstraal (stuurroosters en compact jets)'.

BO12: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld in vrije schroefstraal (stuurroosters en compact jets)

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

Het snelheidsveld wordt berekend met een variant op de alternatieve formule van Manaois, waarbij de radiale verspreiding hetzelfde is als bij een 'normale' schroefstraal:

$$U(x,r) = 3,25 \frac{D_0}{x} U_0 \cdot \exp\left(-15,4 \cdot \frac{r^2}{x^2}\right) \text{ voor } x > 3,25 \cdot D_0$$

Deze formule is niet van toepassing bij Schottel Pump-Jets.

BO13: Bodem- en Oeverbescherming – Maximale stroomsnelheid horizontale bodem (vrijstaande schroeven en kort nozzles)

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodembescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

In afwijking van de [Rock Manual] geldt dat de maximale snelheid boven de bodem in de situatie van één enkele schroef wordt berekend met onderstaande formule:

$$U_{b,max,1} = f \cdot 0,306 \cdot \frac{D_0}{h_{pb}} \cdot U_0$$

Waarbij:

$U_{b,max,1}$ = maximale snelheid boven de bodem in de situatie van één schroef

[m/s]

h_{pb} = hoogte van as van schroefstraal boven horizontale bodem [m]

f = correctiefactor die de toename van de stroomsnelheid in rekening brengt als gevolg van begrenzingen van radiale verspreiding van de straal [-]

$f = 1$ als alleen sprake is van begrenzing door bodem en wateroppervlak en als de straal min of meer evenwijdig aan een constructie is gericht (zoals een kademuur)

$f = 1,4$ als de straal schuin tegen een kademuur is gericht
NB. De waarden van f die gelden bij een straal tegen een (oever)talud conform 'Schroefstraal tegen talud'.

NB. In de [Rock Manual] wordt een afgeronde coëfficiënt van 0,3 gebruikt in plaats van 0,306. Deze afgeronde coëfficiënt in combinatie met een afgeronde coëfficiënt van 1,15 in 'Snelheidsveld in vrije schroefstraal (vrijstaand schroeven en kort nozzles)' resulteert echter in minder stabiele steendiameters waardoor dit niet is toegestaan.

BO14: Bodem- en Oeverbescherming – Locatie maximale bodemsnelheid (vrijstaande schroeven en kort nozzles)

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt, in afwijking van de [Rock Manual]:

Hoewel door partiele differentie de maximale snelheid boven de bodem/oever op een afstand $x_{Umax} = 5,55 \cdot h_{pb}$ vanaf de schroef lijkt op te treden (uitgaande van een vrije stroming) dient in het ontwerp de praktijk te zijn gevolgd waarbij geldt dat de stroomsnelheid maximaal is tussen $4,0 \cdot h_{pb}$ en $10 \cdot h_{pb}$. Er dient daarom uit te gaan dat de maximale snelheid binnen deze bandbreedte aanwezig is.

BO15: Bodem- en Oeverbescherming – Meerdere schroeven

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

In de situatie van meerdere schroeven dient het totale snelheidsveld van de schroeven te zijn berekend door lineaire superpositie van de snelheidsvelden van de afzonderlijke schroeven op basis van [PIANC 180]. Bij deze lineaire superpositie geldt wel een bovengrens, namelijk:

Twee schroeven: $\sqrt{2} \cdot U_{b,max,1}$

Drie schroeven: $\sqrt{3} \cdot U_{b,max,1}$

In de situatie met **twee schroeven** resulteert de lineaire superpositie met genoemde bovengrens in de volgende set formules voor de maximale snelheid boven de bodem:

$$U_{b,max} = U_{b,max,1} \quad \text{als} \quad \frac{h_{pb}}{y_p} \leq 0,578 \quad (\text{schroeven ver uiteen})$$

$$U_{b,max} = 2 \cdot \frac{h_{pb}}{r_{pb}} \cdot U_{b,max,1} \quad \text{als} \quad 0,578 < \frac{h_{pb}}{y_p} < 1$$

$$U_{b,max} = \sqrt{2} \cdot U_{b,max,1} \quad \text{als} \quad \frac{h_{pb}}{y_p} \geq 1$$

waarbij:

$$r_{pb} = \sqrt{(h_{pb}^2 + y_p^2)}$$

y_p = horizontale afstand tussen de schroefas en de scheepsas [m]

BO16: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld loodrecht tegen de kademuur

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

De maximale stroomsnelheid die boven de bodem/oever voor een kademuur wordt veroorzaakt door een schroefstraal loodrecht tegen de kademuur, dient, op basis van [PIANC 180] te zijn berekend met de volgende formules:

$$U_0 = 1,0 \cdot \frac{U_o \cdot D_0}{h_{pb}} \text{ als } 1,0 < \frac{x_{pk}}{h_{pb}} < 1,8$$

$$U_0 = 2,8 \cdot \frac{U_o \cdot D_0}{x_{pk} + h_{pb}} \text{ als } \frac{x_b}{h_{pb}} \geq 1,8$$

Waarbij:

x_{pk} = afstand van schroef of van uitstroomopening tot de kademuur [m]

Op grotere afstand x_b van de kademuur wordt de stroomsnelheid in de teruggekaatste straal boven de bodem/oever berekend met:

$$U_b(x_b) = 1,0 \cdot \frac{U_o \cdot D_0}{h_{pb}} \text{ als } 1,0 < \frac{x_{pk} + x_b}{h_{pb}} < 1,8$$

$$U_b(x_b) = 2,8 \cdot \frac{U_o \cdot D_0}{x_{pk} + h_{pb} + x_b} \text{ als } \frac{x_b + x_{pk}}{h_{pb}} \geq 1,8$$

Bij meerdere schroefstralen gericht (loodrecht) tegen een kade dient de maximale stroomsnelheid boven de bodem/oever te zijn berekend door de stroomsnelheid als gevolg van één schroefstraal te berekenen en te vermenigvuldigen met \sqrt{n} waarbij n het aantal schroeven is.

BO17: Bodem- en Oeverbescherming – Schroefstraal tegen talud

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

Als een talud schroefstraalbelasting moet kunnen weerstaan, dan dienen hiervoor de formules in de betreffende en reeds hiervoor gegeven ontwerprandvoor-waarden te zijn gebruikt, met dien verstande dat wordt gerekend met $r=0$ voorbij de locatie waar de straalas het talud snijdt (omdat de straal niet door het talud heen gaat maar langs het talud omhoog stroomt).

Omdat de straal tegen het talud zal 'botsen' moeten alle berekende stroomsnelheden op het talud worden vermenigvuldigd met een correctiefactor.

Deze waarden zijn gebaseerd op de [PIANC 180] (PIANC 180, 2015):

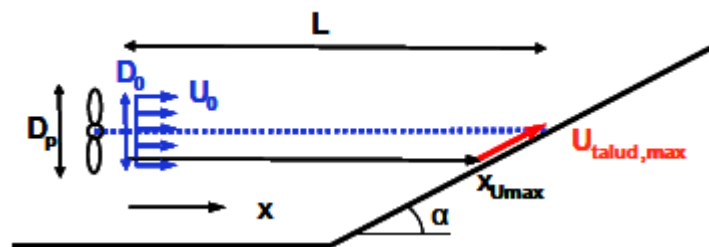
$f = 1,25$ bij een talud zonder (steiger)palen

$f = 1,5$ bij een talud met (steiger)palen

Voor de maximale stroomsnelheid op het talud gelden onderstaande formules:

$$U_{\text{talud,max}} = f \cdot 2,8 \cdot \frac{D_0}{x_{U\text{max}}} \cdot U_0 \cdot \exp \left(-15,4 \cdot \left(\frac{\frac{L}{x_{U\text{max}}} - 1}{\cot(\alpha)} \right)^2 \right)$$

$$x_{U\text{max}} = \frac{15,4}{(\cot(\alpha))^2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot (\cot(\alpha))^2}{15,4}} - 1 \right) \cdot L$$



NB: deze formules voor de maximale stroomsnelheid op een talud dienen ook te zijn gebruikt om de maximale stroomsnelheden boven een horizontale bodem te berekenen als gevolg van een schuin naar beneden gerichte straal van een stuurrooster of compact jet boegschroef.

BO18: Bodem- en Oeverbescherming – Afstand kiel – onderkant schroef

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen geldt:

- Bij zeevaart dient te zijn aangenomen dat de afstand tussen de onderkant van de sloopschroef en de kiel van het schip 0,5 m bedraagt tenzij aantoonbaar is dat dit een overschatting geeft van de benodigde steendiameter.
- Bij binnenvaart dient te zijn aangenomen dat de tip/onderkant van de sloopschroef samenvalt met de kiel van het schip tenzij aantoonbaar is dat dit een overschatting geeft van de benodigde steendiameter.

Bij boegschroeven van zeeschepen mag, indien geen specifieke gegevens beschikbaar zijn, worden aangenomen dat de as van de boegschroefbuis zich $1 \cdot D_0$ boven de kiel van het schip bevindt.

BO19: Bodem- en Oeverbescherming – Bepalen van de steenstabiliteit onder stroombelasting

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient voor het dimensioneren ervan, afhankelijk van het type bodembescherming en belastingssituatie, de formule van Izbash, dan wel die van Pilarczyk te zijn gehanteerd.

BO20: Bodem- en Oeverbescherming – Retourstroming en schroefstraalbelasting met 'Izbash'

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodembescherming dient bij het bepalen van de steenstabiliteit m.b.t. stroombelasting op basis van 'Izbash', in afwijking van formule 5.226 uit de [Rock Manual] de volgende formule toegepast te zijn voor de bepaling van de benodigde steendiameter:

$$D_{50} > \frac{1}{k_{sl}} \cdot \beta_{iz,cr} \cdot \frac{U_b^2}{2g\Delta}$$

Waarbij:

D_{50}	=	karacteristieke steendiameter [m] berekend met Izbash [m]
m_{tal}	=	factor voor invloed van taludhelling of bodemhelling [-]
	=	$\frac{1}{k_{sl}}$ (zie formule 5.114 uit de Rock Manual (CUR/CIRIA, 2007))
U_b	=	stroomsnelheid nabij de bodem [m/s]
g	=	gravitatieconstante [m/s ²]
Δ	=	relatieve dichtheid stortsteen [-]
$\beta_{iz,cr}$	=	Kritieke stabiliteitscoëfficiënt inclusief turbulentie-effect
		$\beta_{iz,cr} = 2,5$ bij schroefstraalbelasting
		$\beta_{iz,cr} = 3,0$ bij schroefstraalbelasting frequent op exact dezelfde locatie (terminals, af- en aanmeervoorzieningen etc.)
		$\beta_{iz,cr} = 1,4$ bij retourstroming

BO21: Bodem- en Oeverbescherming – Taludfactor

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient bij het bepalen van de steenstabiliteit op een talud louter de formule 5.114 uit de [Rock Manual] te worden gebruikt. De formules 5.115 en 5.116 uit de [Rock Manual] dienen niet gebruikt te worden.

BO22: Bodem- en Oeverbescherming – Retourstroming en schroefstraalbelasting met 'Pilarczyk'

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodembescherming dient bij het bepalen van de steenstabiliteit m.b.t. stroombelasting op basis van 'Pilarczyk' de notatie te zijn aangehouden conform formule 5.219 uit de Rock Manual. Voor de turbulentiefactor dient de waarde aangehouden te zijn volgens de beschrijving (incl. erratum) bij de formule 5.219. Voor (blokken)matten en matrassen dient een turbulentiefactor van $k_{t,pil}^2 = 3,5$ te zijn gehanteerd omdat bij blokkenmatten geen enkele beweging acceptabel is.

Voor de stabiliteitsfactor (ϕ_{sc}) in de Pilarczyk formule moeten de volgende waarden zijn aangehouden:

Type verdediging	Doorgaande bodembescherming
Breuksteen	0,75
Gabion/steenmatras	0,5
Blokkenmat	0,5

Bij schroefstralen wordt de stabiliteit berekend op basis van de stroomsnelheid (U_b) direct boven de bodem. Dit betekent dat in de formule van Pilarczyk $U = U_b$ en $k_h = 1$.

Voor de kritieke mobiliteitsparameter ψ_{cr} gelden de waarden die in tabel 5.53 in de [Rock Manual] worden genoemd, en aanvullend $\psi_{cr} = 0,07$ bij blokkenmatten.

BO23: Bodem- en Oeverbescherming – Steenstabiliteit randen

Bij het berekenen van de vereiste steensortering van de door stroming belaste randen van de bodembescherming dient de berekende steendiameter op basis van een doorgaande bodembescherming te worden vermenigvuldigd met een factor 2.

BO24: Bodem- en Oeverbescherming – Steenstabiliteit onder golfbelasting – golven m.u.v. scheepsgolven

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen bij de toepassing van ongebonden waterbouwsteen ten behoeve van het bepalen van de stabiliteit onder invloed van windgolven de methodes te worden gehanteerd die aangegeven staan als formule 5.136 t/m 5.140 in de [Rock Manual], inclusief de erbij gegeven aanwijzingen, beperkingen en richtlijnen. Een en ander in overeenstemming met wat opgenomen is in de [Handreiking Dijkbekledingen, Deel 4: Breuksteenbekledingen]

BO25: Bodem- en Oeverbescherming – Steenstabiliteit onder golfbelasting - scheepsgolven

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen bij de toepassing van ongebonden waterbouwsteen ten behoeve van het bepalen van de stabiliteit onder invloed van scheepsgolven de methodes te zijn gehanteerd die aangegeven staan als formule 5.143 en 5.146 in de [Rock Manual] voor secundaire scheepsgolven (interferentiepieken) en formule 5.147 in de [Rock Manual] voor haalgolven.

BO26: Bodem- en Oeverbescherming – Passieve gronddruk bij kademuren

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming bij een kademuur dient de passieve gronddruk te zijn geschematiseerd volgens de grondmechanische theorie van rechte glijvlakken tot een driehoek. Hierbij dient te zijn aangenomen dat het kritieke gekromde glijvlak door het buitenste hoekpunt van de passieve grondwig loopt.

BO27: Bodem- en Oeverbescherming – Breedte bij kademuren

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming bij een kademuur dient deze zodanig breed te zijn dat tijdens de gebruiksduur van de kademuur geen verlies van grond optreedt uit de passieve grondwig. Hierbij geldt dat zakking van de rand van de bodembescherming als gevolg van ontgroning naast de bodembescherming niet mag resulteren in verlies van grond uit de passieve grondwig.

BO28: Bodem- en Oeverbescherming – Aansluiting bij kademuren

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming bij een kademuur dient de aansluiting tussen bodembescherming en de kademuur zanddicht te zijn. Hierbij geldt:

- Indien er wordt gekozen voor een gepenetreerde constructie om de zanddichtheid te verzekeren, dan dient de vol-en-zat penetratie minimaal 1,5 m te overlappen met het geotextiel onder de bodembescherming.
- Indien er wordt gekozen om het geotextiel aan te brengen in de damwandkassen, dan moeten de flappen van het geotextiel minimaal 0,5 m omhoog staan tegen de damwand of buispaal.
- Als er in de kassen van de damwand of langs combiwand geen geotextiel aanwezig is onder de gepenetreerde steenbestorting, dan dient ten behoeve van de zanddichtheid een zekere overmaat aan beton aangebracht te zijn. Hierbij geldt dat bij het bepalen/berekenen van de totaal aan te brengen hoeveelheid beton aantoonbaar rekening dient te zijn gehouden met extra volume ten behoeve van holle ruimten langs de wand.
- Tevens kan er voor worden gekozen om ter plaatse van de damwand een geometrisch dicht filter aan te brengen voordat het gepenetreerde stortsteen wordt geplaatst.

BO29: Bodem- en Oeverbescherming – Toelaatbaar schadeniveau

Bij het ontwerpen van een granulaire Oeverbescherming dienen voor de bepaling van het maximaal toelaatbare schadeniveau conform [Rock Manual] (CIRIA/CUR/CETMEF, 2007) de onderstaande waarden voor het schadegetal S_d te zijn gehanteerd.

Taludhelling (cot α)	Maximaal toelaatbaar schadegetal S_d	
	f \leq 1/100 per jaar	f > 1/100 per jaar
<2	4	1
2 \leq cot α < 3	5	2
3 \leq cot α < 4	8	2
4 \leq cot α < 6	10	3

Waarbij:

cot(α)	=	taludhelling
S_d	=	schadegetal
f	=	frequentie

BO30: Bodem- en Oeverbescherming – Stabiliteit golfzone

Bij het ontwerpen van een granulaire Oeverbescherming dient de stabiliteit onder invloed van golven minimaal te gelden voor de golfzone, gedefinieerd als het gebied dat verticaal aan de onderzijde begrensd wordt door het waterstandsniveau (m NAP) – 2 H_s , dan wel waterstand – Y_{zm} (voor haalgolven), met $Y_{zm} = 4,4D_{50}(z_{max}/(4 \cdot D_{50}) - 0,3cot\alpha)$, waarbij geldt dat de te hanteren waarde van D_{50} die van het talud is beneden het beschouwde deel.

Aan de bovenzijde wordt de golfzone begrensd door waterstand + Run-up niveau, welke voor secundaire golven (interferentiepieken) bepaald wordt aan de hand van: $R_u = 2\xi H_i \sqrt{(\cos\beta) \gamma_r \gamma_b}$, met β = hoek van golfval, = 57 graden voor vrachtschepen; de te hanteren waarden voor de ruwheidsfactor γ_r en de bermfactor γ_b zijn als volgt:

$\gamma_r = 1,0$ glad, gesloten oppervlak

$\gamma_r = 0,90$ gezette steen

$\gamma_r = 0,75$ grof respectievelijk fijn grind

$\gamma_r = 0,55$ breuksteen

cot α = 5-7: $\gamma_b = 0,75$

cot α = 4: $\gamma_b = 0,60$

cot α = 3: $\gamma_b = 0,50$

BO31: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting zonder reflectie

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient, bij een onbegrensde horizontale bodem, zonder reflectie van een kademuur, te zijn uitgegaan van de onderstaande waardes voor de te verwachten maximale ontgrondingsdiepte:

1. Manoeuvres op volledig variabele locaties en niet frequent met maximale verdieping: 1,5 m
2. Manoeuvres redelijk frequent op ongeveer dezelfde locatie en met nagenoeg maximale diepgang: 3 m
3. Zeer frequent op exact dezelfde locatie met veel vermogen: 5m of meer.

NB. Bovenstaande ontgrondingsdieptes kunnen groter worden afhankelijk van het toegepast vermogen en bodemsamenstelling.

BO32: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting met reflectie

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient, bij een onbegrensde horizontale bodem, met reflectie van schroefstraal door een kademuur, te zijn uitgegaan van de onderstaande waardes voor de te verwachten maximale ontgrondingsdiepte:

1. Manoeuvres op volledig variabele locaties: 3 m
2. Manoeuvres redelijk frequent op ongeveer dezelfde locatie: 6 m
3. Manoeuvres frequent op exact dezelfde locatie: altijd bescherming nodig.

BO33: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting bij recent aangebracht zand

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen, bij een onbegrensde horizontale bodem maar in een situatie waarbij de bodem bestaat uit recent aangebracht zand, de verwachte ontgrondingskuilen uit BO31 of BO32 met een factor 2 te zijn vermenigvuldigd.

BO34: Bodem- en Oeverbescherming – Filterconstructie

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient onder toplagen van ongebonden waterbouwsteen, betonelementen en zetsteen een filterconstructie te zijn toegepast om erosie uit de onderliggende bodem te beperken of te voorkomen. Hierbij geldt als uitgangspunt dat gebruik wordt gemaakt van geometrisch gesloten of geometrisch open filters, dat wil zeggen dat er geen materiaalverlies kan optreden door de filterlagen. Een uitzondering hierop is slechts toegestaan indien kan worden aangetoond dat materiaalverlies uit de ondergrond geen invloed heeft op de stabiliteit en functionaliteit van de aangelegde constructie. Op het grensvlak tussen de toplaag en de direct daaronder gelegen laag dient altijd uitgegaan te worden van een geometrisch gesloten filter.

BO35: Bodem- en Oeverbescherming – Geotextiel als Filter

Bij toepassing van een geotextiel als filter in een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat een geometrisch gesloten filter dient te zijn gerealiseerd middels een geotextiel ontworpen conform (SBRCUR, 2017).

B036: Bodem- en Oeverbescherming – Granulaire filters onder stroming

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat geometrisch gesloten granulaire filters onder een toplaag belast door stroming dienen te voldoen aan de desbetreffende formules uit sectie 5.4.3.6 van de [Rock Manual].

Formule 5.2.7.2 in de [Rock Manual] geeft de verhouding $D_{f15}/D_{b85} < 5$. Dit geldt volgens de [CUR161] alleen als de dikte van de laag gelijk is aan $5D_{f50}$. Bij $2D_{f50}$ geldt dat $D_{f15}/D_{b85} < 3.3$.

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat geometrisch open granulaire filters onder een toplaag belast door stroming dienen te voldoen aan de formules uit sectie 4 van CUR-publicatie, [Design formula for stable open granular filters loaded by currents].

B037: Bodem- en Oeverbescherming – Granulaire filters onder golven

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient het ontwerp van granulaire filters onder een toplaag belast door golven nader te zijn beschouwd conform CUR-publicatie, [Design guideline for underlayers beneath rock armoured slopes under wave loading]. Hierbij geldt:

- dat uitspoeling van materiaal uit de onderlagen niet is toegestaan (*class* I en II uit tabel 4 van voornoemde publicatie).
- De maximale waarde voor de *notional permeability* P te gebruiken in de Van der Meer ontwerpformule (en afgeleiden daarvan) is 0,1.

Dit is tevens van toepassing op geotextielen als onderlaag onder golfbelasting.

B038: Bodem- en Oeverbescherming – Filter in combinatie met schroefstraalbelasting

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming mag deze bij optredende hydraulische belastingen door schroefstralen geen open granulaire filterlaag bevatten indien:

- De maatgevende schroefstraalbelasting frequent optreedt op dezelfde locatie.
- Het bodemmateriaal onder de bescherming bestaat uit een recente zandaanvulling.

B039: Bodem- en Oeverbescherming – Laagdikte

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat de vereiste laagdikte altijd minimaal $2 \cdot D_{n50,gem}$ dient te bedragen en minimaal 0,25 m bij fijne sorteringen breuksteen met $D_{n50,gem} < 0,125$ m. Hierbij geldt, met betrekking tot de aanleg van constructies met ongebonden waterbouwsteen, t.a.v. laagdikte en massa dat deze zodanig uitgevoerd dienen te zijn dat de per laag aangebrachte massa waterbouwsteen M [kg/m²], overal groter is dan $(1 - n) \cdot t \cdot \rho_s$.

Waarbij:

- t = laagdikte die overal minimaal aanwezig dient te zijn [m]:
 $t = 2 \cdot k_t \cdot D_{n50,gem}$ met k_t (laagdiktecoëfficiënt) = 1
 [Van der Meer, 1988].
- n = porositeit van de steenlaag
 $n = 0,38$ bij mm-sorteringen

ρ_s	=	$n = 0,40$ bij kg-sorteringen
$D_{n50,gem}$	=	steendichtheid [kg/m^3] de gemiddelde nominale steendiameter [m] van de toegepaste sortering. De waarde dient te blijken uit gegevens van de leverancier bij nieuwe steen, of uit de uitgevoerde keuringen bij hergebruik van steen.

BO40: Bodem- en Oeverbescherming – Robuustheidsfactor & Modelfactor

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient een modelfactor in rekening gebracht te worden. De waarde van de modelfactor is afhankelijk van het type formule:

- Bij toepassing van formules op basis van een bovengrensbenadering is de modelfactor $f_{\text{model}} = 1,0$. Voor de formules opgenomen in deze ROW mag worden aangenomen dat deze gebaseerd zijn op een bovengrensbenadering, tenzij nadrukkelijk aangegeven. Voor niet in de ROW opgenomen formules dient aantoonbaar gemaakt te worden dat er sprake is van een bovengrensbenadering van het 90% betrouwbaarheidsinterval.
- Bij toepassing van formules waarvoor niet aantoonbaar is dat er sprake is van een bovengrensbenadering is de modelfactor $f_{\text{model}} = 1,15$.

Bovenop de modelfactor dient een robuustheidsfactor in rekening gebracht te worden: $f_{\text{robuustheid}} = 1,10$.

De benodigde steendiameter volgt daarmee uit:

$$D_{n50,\text{benodigd}} = f_{\text{robuustheid}} \cdot f_{\text{model}} \cdot D_{n50,\text{rekenwaarde}}$$

BO41: Bodem- en Oeverbescherming – Stabiliteitsformules golfbelasting

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient bij het toepassen van de stabiliteitsformules onder golfbelasting de D_{n85}/D_{n15} ratio kleiner te zijn dan 2,25, tenzij de hydraulische correcte werking wordt aangetoond met behulp van fysiek modelonderzoek welke voorafgaand aan het onderzoek dient te worden vastgesteld.

BO42: Bodem- en Oeverbescherming – Materialen

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient deze Bodem- en Oeverbescherming te bestaan uit materialen die voldoen aan geldende wet- en regelgeving omtrent de toepassing daarvan. Voor waterbouwsteen geldt daarbij in het bijzonder dat deze moet voldoen aan de Europese norm [NEN-EN 13383], delen 1 en 2. Daarnaast ook aan de in Nederland voor de toepassing van waterbouwsteen van toepassing zijnde norm [NEN5180]. Hierbij geldt voor de verificatie van de eisen uit beide normen dat gebruik dient te worden gemaakt van certificaten op basis van [BRL9312] of daaraan gelijkwaardige certificeringen.

BO43: Bodem- en Oeverbescherming – Steendiameters

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient deze te voldoen aan de in de Europese norm [NEN13383] opgenomen standaardsorteringen. Deze sorteringen zijn vastgelegd aan de hand van een beperkt aantal grenzen (vier per sortering). Strikt genomen zijn op basis van deze grenzen geen karakteristieke steendiameters (D_{15} , D_{50} en D_{85} , dan wel D_{n15} , D_{n50} en D_{n85}) vastgesteld.

In Bijlage A zijn **voorbeeldwaarden** weergegeven, uitgaande van een steendichtheid van 2600 kg/m^3 . In deze bijlage zijn de in [NEN-EN 13383] gestelde eisen aan breuksteen sorteringen omgerekend naar minimale, ideale en maximale waarden van karakteristieke steendiameters. 'Ideale' waarden zijn verwachtingswaarden op grond van de 'geïdealiseerde' Rosin-Rammler curve conform [Rock Manual], paragraaf 3.4.3 (CUR/CIRIA, 2007). Als in de ROW de gemiddelde steendiameter wordt genoemd ($D_{50,gem}$ of $D_{n50,gem}$), dan wordt hiermee de ideale waarde uit bijlage A bedoeld.

Indien er een andere steendichtheid wordt gebruikt dan 2600 kg/m^3 , dan dient bij kg-sorteringen de volgende formule gebruikt te worden om de karakteristieke steendiameter uit te rekenen:

$$D = \left(\frac{2600}{\rho_s} \right)^{1/3} \cdot D_{2600}$$

Waarbij:

ρ_s = specifieke steendichtheid bij ontwerpen [kg/m^3]

Voor de omrekening van karakteristieke steendiameters op basis van zeefgrenzen naar nominale karakteristieke steendiameters dient de volgende formule gebruikt te worden:

$$D_{nX} = f_n D_X$$

Waarbij:

D_X = karakteristieke steendiameter (D_{15} , D_{50} , D_{85}) op basis van zeefgrenzen

D_{nX} = karakteristieke steendiameter op basis van gewicht

f_n = verhoudingsgetal afhankelijk van steensoort. Voor gebroken steen wordt in de regel 0,84 toegepast en voor afgeronde steen 0,80.

Bij het ontwerpen van een Oever- en Bodembescherming kan gebruik worden gemaakt van de voorbeeldgegevens zoals in Bijlage A. In dat geval dient de sortering gekozen te worden op basis van de minimale waarde behorend bij een steensortering, zodanig dat deze groter is dan de volgt uit de berekening (conform eis BO40):

$$D_{n50,sortering,min} > D_{n50,toepassing}$$

Alternatief kan bij het ontwerpen gebruik worden gemaakt van karakteristieke steendiameters volgend uit de uitgevoerde productcontroles (bij nieuwe steen) of uit keuringen (bij hergebruik). In dat geval mag gebruik worden gemaakt van de gemiddeld gemeten waarde in tenminste 10 proefnemingen (conform EN13383-2):

$$D_{n50,sortering,gemiddeld \text{ gemeten}} > D_{n50,toepassing}$$

Bij verificatie na uitvoering dient aantoonbaar gemaakt te worden dat de gekozen sortering is toegepast (documentcontrole). Daarbij dient tevens op basis van meetgegevens aangetoond te worden dat de gebruikte sortering voldoet aan de gestelde eisen. De gemiddeld gemeten waarde in tenminste 10 proefnemingen (conform EN13383-2) dient groter te zijn dan vereist:

$$D_{n50, \text{toegepast, gemiddeld gemeten}} > D_{n50, \text{toepassing}}$$

B044: Bodem- en oeverbescherming – Levensduur

Bij het ontwerpen van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dient deze, voor wat betreft de toegepaste materialen, een levensduur te hebben die is afgestemd op de vereiste levensduur van de constructie. Gedurende de vereiste levensduur dienen de eigenschappen van de materialen gegarandeerd te zijn aan de hand van verouderingsproeven. Voor waterbouwsteen bestaan dergelijke verouderingsproeven (nog) niet. In afwijking van het hiervoor gestelde dient de levensduur van waterbouwsteen te worden aangetoond aan de hand van recente toepassingen van gelijke waterbouwsteen (sortering en herkomst) onder gelijksoortige omstandigheden (saliniteit en belasting). Hierbij geldt dat alleen indien kan worden aangetoond dat er geen significante degradatie van stenen heeft plaatsgevonden in de eerste vijf (5) jaar na constructie kan worden gesteld dat de levensduur van het voorgestelde waterbouwsteen voldoende is.

BO45: Bodem- en oeverbescherming – breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton

Indien de bodem- en/of oeverbescherming bestaat uit breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton dan geldt dat:

- moet worden voldaan aan [CUR 18;2011];
- het colloïdaal beton een gesloten structuur moet hebben conform [CUR 18;2011];
- de opdrachtnemer dient conform [CUR 18;2011] met een uitspoelproef aan te tonen dat de uitspoeling van het betonmengsel maximaal 5% bedraagt;
- de sterkteklasse afgestemd moet zijn op de beoogde toepassing, rekening houdend met de optredende belastingen tijdens de verharding van het beton;
- de hoeveelheid colloïdale hulpstof per m³ beton dient minimaal 2 kg te bedragen;
- de watercementfactor maximaal 0,65 mag zijn;
- de grootste korrelafmeting (D_{max}) van het toeslagmateriaal afgestemd moet zijn op de breuksteensortering voor wat betreft het penetratiegedrag van het betonmengsel; bij een breuksteensortering van 5-40 kg mag de D_{max} maximaal 16 mm bedragen;
- de consistentie van het betonmengsel dient te worden aangepast op de beoogde toepassing waarbij geldt dat de zetmaat van het betonmengsel bij verwerking minimaal 200 mm dient te bedragen; de juiste consistentie van het mengsel dient via een praktijkproef te worden aangetoond; deze praktijkproef dient de daadwerkelijk te realiseren situatie zo goed mogelijk te benaderen;
- de breuksteen dient bij het verwerken van het colloïdaal beton zodanig schoon te zijn dat dit een goede hechting tussen beton en breuksteen niet in de weg staat;
- een wijze voor verwerking van het colloïdaal beton wordt toegepast waarbij de kans op een niet gepenetreerd oppervlak is geminimaliseerd;
- de hoeveelheid colloïdaal beton dient te worden afgestemd op de beoogde toepassing;
 - a. bij 'vol en zat penetreren' geldt een minimale hoeveelheid in liter/m² bepaald op basis van '[berekende gemiddelde laagdikte breuksteen in m] x [holle ruimte percentage/100] x [1000];
 - b. bij 'deelpenetratie', 'patroonpenetratie' of 'Verklammerung' geldt een minimale hoeveelheid in liter/m² die de helft bedraagt van de bij de hierboven aangegeven 'vol en zat penetreren' bepaalde hoeveelheid tenzij in overleg met de Opdrachtgever wordt bepaald dat hiervan mag worden afgeweken;
 - c. bij een geëiste waterdichte constructie dient bij a) (vol en zat penetreren) aangegeven hoeveelheid per m³ te worden verhoogd met 20 liter/m²;
- Tijdens de uitvoering dient geverifieerd te worden dat de omstandigheden tijdens de realisatie gelijkwaardig zijn aan de condities m.b.t. het uitgevoerde proefvak, zoals o.a. watertemperatuur, stroming & de kwaliteit van de toegepaste steen (vervuiling, scherven etc.);
- De minimaal uit te voeren (product)keuringen zijn hoeveelhedenregistraties, multibeammetingen en visuele inspecties.

3 Innovaties en onderzoek

In het voorgaande zijn eisen opgesteld op basis van ervaring met en kennis vervat in de voorgeschreven normen en richtlijnen, leidraden en literatuur. Daarmee zijn de eisen impliciet niet van toepassing op nieuwe ontwikkelingen in materiaal- en materieelgebruik en (kennis-)ontwikkeling van belasting op en gebruik van constructies. Tegelijkertijd is het geenszins de bedoeling om ontwikkelingen en innovaties tegen te houden met deze ROW. Dit hoofdstuk bevat daarom enige richtsnoeren voor het toepassen van nieuwe ontwikkelingen bij het ontwerpen en realiseren van waterbouwkundige constructies.

Praktijkproeven

Bij toepassing van nieuwe materialen en technieken kan een praktijkproef onderdeel zijn van het aantonen van de geschiktheid. Een praktijkproef is daarnaast noodzakelijk voor toepassing van (colloïdaal) beton en asfalt/bitumen voor het vastleggen van breuksteen.

Een praktijkproef voldoet tenminste aan de volgende voorwaarden:

- Voorafgaand aan de praktijkproef stelt opdrachtnemer een plan van aanpak op. Over het plan van aanpak dient uiterlijk 5 werkdagen voor de praktijkproef overeenstemming te zijn tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.
- De proef vindt niet plaats op het werk
- De locatie van de proef is representatief voor het werk. Opdrachtnemer dient dit aan te tonen. Denk aan de bodemgesteldheid, omstandigheden tijdens echte werk, etc.
- Opdrachtnemer stelt Opdrachtgever in staat om de proef bij te wonen. Daarbij wordt opdrachtgever in ieder geval tijdig (uiterlijk 5 werkdagen voor de proef) geïnformeerd over plaats en tijd van de praktijkproef.
- De resultaten van de praktijkproef worden in een rapport vastgelegd.

Niet bewezen werktechnieken

Bij niet bewezen werktechnieken wordt bedoeld op de inzet van nieuwe machines of afwijking van uitvoeringstechnieken die voorgeschreven zijn in contracten. Dit geldt ook voor technieken die niet beschreven zijn in de documenten in hoofdstuk 1 of technieken waarmee geen vergelijkbare projecten succesvol zijn uitgevoerd.

Bij niet bewezen werktechnieken dient altijd een praktijkproef plaats te vinden. In aanvulling op de beschreven eisen aan praktijkproeven moet de praktijkproef bovendien voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Opdrachtnemer stelt een evaluatierapport op van de proef en doet zo nodig verbetervoorstellen om tot acceptatie van opdrachtgever van de werkmethode te komen
- De werking van verbetervoorstellen zullen bewezen moeten worden in een nieuwe proef
- Er zullen maximaal 3 proeven worden uitgevoerd waarbij Opdrachtgever aanwezig is. Als na 3 proeven niet tot acceptatie kan worden gekomen, wordt de werkmethode niet geaccepteerd.

Niet bewezen dijkversterkingstechnieken

Bij niet bewezen dijkversterkingstechnieken wordt bedoeld op methodes om een dijk te versterken die zich tot op heden niet bewezen hebben. Rijkswaterstaat hanteert

hiervoor de werkwijze van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Deze is beschreven in de Handreiking Innovaties Waterkeringen, 2016. Over de wijze van aantonen dient voorafgaand aan toepassing overeenstemming te bestaan tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

Niet bewezen ontwerprichtlijnen

Nieuwe ontwerprichtlijnen zijn ontwikkeld binnen een range aan parameters die in het onderzoek zijn gevarieerd. Wanneer het ontwerp buiten de range van gevarieerde parameters valt, dient aangetoond te worden dat de formulering ook op het nieuwe ontwerp van toepassing is. Aantonen kan door middel van aanvullend schaalmodelonderzoek. Over de wijze van aantonen dient voorafgaand aan toepassing overeenstemming te bestaan tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

Aanvullend schaalmodelonderzoek

Voor het aantonen van toepasbaarheid van nieuwe ontwikkelingen kan gebruik worden gemaakt van schaalmodelonderzoek. Voorafgaand aan het uitvoeren van modelonderzoek dient een plan van aanpak te worden opgesteld en overeengekomen met opdrachtgever. Schaalearselen zijn een belangrijk onderdeel van het plan van aanpak. Daarnaast is een vertaling van meet- en maakonzekerheden in het model naar meet- en maakonzekerheden in het prototype een belangrijk aspect van het plan van aanpak.

Opdrachtnemer stelt opdrachtgever in staat om de verschillende modelproeven bij te wonen.

Aanvullend numeriek modelonderzoek

Voor specifieke situaties kan het van belang zijn om aanvullend modelonderzoek met geavanceerde rekenmodellen uit te voeren. Voorbeelden zijn complexe stroomsituaties rond bijvoorbeeld sluizen en niet-conventionele aandrijfsystemen. Voorafgaand aan het uitvoeren van numeriek modelonderzoek dient een plan van aanpak te worden opgesteld en overeengekomen met opdrachtgever. Uit het plan van aanpak volgt tenminste de toepasbaarheid van de gekozen modelschematisatie en de wijze waarop het rekenmodel wordt gevalideerd en gekalibreerd. Nadrukkelijk geldt dit ook voor de toepassing van zogenaamde CFD-rekenmodellen.

BIJLAGE A

P _{steen} (kg/m ³)		2600	STANDAARD SORTERINGEN NEN-EN 13383						
P _{water} (kg/m ³)		1000							
vormfactor F _s [-]		0,60							
Sortering		M _{gem}	M ₆₀	n _{RR}	D ₆₀	D _{n60}	D ₁₆	D ₈₆	D ₈₆ /D ₁₆
fijn				n _{RRD}	R-R eq	F _s ^{1/3} =	R-R eq	R-R eq	
licht				n _{RRM}		0,843			
zwaar				n _{RRM}					
		[kg]	[kg]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]
Fijn									
	min		0,4		0,063	0,053	0,038	0,086	1,28
oud: 40/100 mm	gem		0,7		0,077	0,065	0,053	0,102	2,01
	max		1,1		0,090	0,076	0,067	0,118	3,11
	min		3,0		0,125	0,105	0,075	0,169	1,24
oud: 80/200 mm	gem		5,5		0,153	0,129	0,106	0,198	1,96
	max		9,1		0,180	0,152	0,136	0,226	3,01
45/125 mm	min		0,4	3,11	0,063	0,053	0,045	0,087	1,43
	ideal		0,8	3,28	0,080	0,067	0,051	0,109	1,92
	max		1,1	3,81	0,089	0,075	0,061	0,116	2,58
	min		1,1	3,03	0,090	0,076	0,063	0,125	1,47
63/180 mm	ideal		2,3	3,19	0,114	0,096	0,072	0,156	1,96
	max		3,1	3,76	0,126	0,106	0,086	0,165	2,61
	min		3,0	3,11	0,125	0,105	0,090	0,173	1,42
90/250 mm	ideal		6,4	3,28	0,160	0,135	0,103	0,217	1,90
	max		8,6	3,86	0,177	0,149	0,121	0,229	2,55
	min		0,4	2,29	0,063	0,053	0,045	0,098	1,52
45/180 mm	ideal		1,5	2,41	0,098	0,083	0,054	0,149	2,32
	max		2,1	2,71	0,110	0,092	0,064	0,159	3,53
	min		2,6	4,13	0,118	0,100	0,083	0,151	1,34
90/180 mm	ideal		3,7	4,83	0,133	0,112	0,098	0,164	1,71
	max		5,2	5,11	0,150	0,126	0,113	0,182	2,19
Licht									
	min	10	14	1,71	0,21	0,17	0,16	0,25	1,26
5-40 kg	ideal		20	1,74	0,23	0,20	0,18	0,28	1,59
	max	20	28	1,81	0,26	0,22	0,20	0,31	2,01
	min	20	27	1,87	0,26	0,22	0,20	0,31	1,23
10-60 kg	ideal		33	2,02	0,28	0,23	0,22	0,33	1,49
	max	35	47	2,30	0,31	0,26	0,25	0,36	1,81
	min	80	102	2,01	0,40	0,34	0,32	0,48	1,24
40-200 kg	ideal		117	2,25	0,42	0,36	0,34	0,49	1,43
	max	120	152	2,66	0,46	0,39	0,38	0,52	1,65
	min	120	149	2,01	0,46	0,39	0,36	0,53	1,20
60-300 kg	ideal		176	2,25	0,48	0,41	0,39	0,56	1,42
	max	190	236	2,61	0,53	0,45	0,44	0,61	1,69
	min	45	71	1,14	0,36	0,30	0,23	0,48	1,25
15-300 kg	ideal		110	1,21	0,41	0,35	0,28	0,55	1,85
	max	135	212	1,63	0,51	0,43	0,38	0,63	2,71
Zwaar									
	min	540	628	2,53	0,74	0,62	0,63	0,83	1,21
300-1000 kg	ideal		671	3,00	0,75	0,64	0,64	0,84	1,31
	max	690	802	3,18	0,80	0,68	0,68	0,90	1,43

ROW (Richtlijn Ontwerp Waterbouw)

Nummer:	6038
Versienummer standaard:	1.0
Versienummer document:	2.0
Status:	In beheer
Type:	Handreiking
Inhoudelijk beheerder:	Marc Kruis
Verantwoordelijke afdeling:	Afd. Waterbouw en Ecotechniek
Netwerken:	Hoofdvaarwegennet, Hoofdwatersysteem
Rollen:	Technisch Manager, Contractmanager
Fase:	Planuitwerking, Verkenning, Realisatie, Onderhoud
Proceseigenaar:	Proceseigenaar Aanleg en Onderhoud
Link om te reageren:	Link