



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK - PERSOONSVERTROUWELIJK

Richtlijn Ontwerp Waterbouw

Datum	06-07-2018
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat GPO
Informatie	Wilbur van Beijnen
Telefoon	06-11526137
Fax	
Uitgevoerd door	Afdeling Waterbouw, Ecotechniek en Duurzaamheid
Opmaak	
Datum	06-07-2018
Status	Definitief
Versienummer	1.0

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
- 1.6 Technische innovaties—14

2 Bodem- en Oeverbescherming—16

- 2.1 Bodem- en Oeverbescherming Algemeen—16
- 2.2 Bodem- en Oeverbescherming Onderdelen—16
- 2.3 Bodem- en Oeverbescherming Ontwerprandvoorwaarden—16

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 een aanvulling op de reeds bestaande normen, richtlijnen en kaders. Dat betekent dat de ROW bestaat uit een lijst met verplicht toe te passen normen, richtlijnen en kaders (vanaf bladzijde 7). Daarnaast zijn er een set aan bepalingen opgenomen vanaf bladzijde 10 waarin aanvullingen, aanpassingen, wijzigingen en nadere uitwerkingen worden gegeven van die set normen, richtlijnen en kaders. Deze bepalingen gaan dus boven de normen, richtlijnen en kaders zelf.

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 onder andere te vinden via de website van het kennisveld HE:

http://corporate.intranet.rws.nl/Kennis_en_Expertise/Kennisvelden/Bouw_en_Onderhoudstechnologie/Hydraulic_Engineering/

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 (inclusief Dijkbekleding)
2. Bodem- en Oeverbescherming

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.
Technische innovatie	Een nieuwe of niet bewezen (werk)techniek
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.

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, klei, gras ²	Hoofdstuk 1
Technische innovatie	Nieuwe technieken, nieuwe werkmethodes, niet bewezen werkmethodes	Hoofdstuk 1
Bodem- en Oeverbescherming	Granulair ³	Hoofdstuk 2

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

² Er zijn meer mogelijke vormen zoals bijvoorbeeld asfalt, 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 algemene eisen; 2015
NEN 7024-2 zetsteen van cementbeton zonder interlock en zonder wapening; 2015
NEN 7024-3 zetsteen van cementbeton met interlock 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 Asfalt 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 rivierengebied; 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 Asfalt voor Waterkeren; Addendum; 2010
Vier quick wins grond en klei; Optimalisaties voor dijkversterkingen; 2018

Deltares
Analyse Macrostabiele 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> : Macrostabiele Binnenwaarts; 2016
Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities t.b.v. het

ontwerp van dammen, zee- en meerdijken; 2015
Ontwerprichtlijn stabiliteitsschermen primaire waterkeringen (groene versie) en addendum; 2013
Scour Manual incl. Update; 2016
Update inzichten in gebruik van klei voor ontwerp en uitvoering van dijkversterkingen; 2017
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 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
CUR683 The Rock Manual – errata; 2017
CUR 5180 Nederlandse aanvulling op NEN-EN 13383-1; 2004
Construction and survey accuracies for the execution of rock works; 2014
Ontwerprichtlijn Geotextielen onder steenbekleding, SBRCURnet-rapport; 2017

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

BRL9080 Zetsteen van Beton voor de natte waterbouw; 2016
BRL 9312 Waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken; 2007
BRL 9312 Wijzigingsblad.
BRL 9324 Groevesteen

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 near berth and protection methods using thin flexible revetments

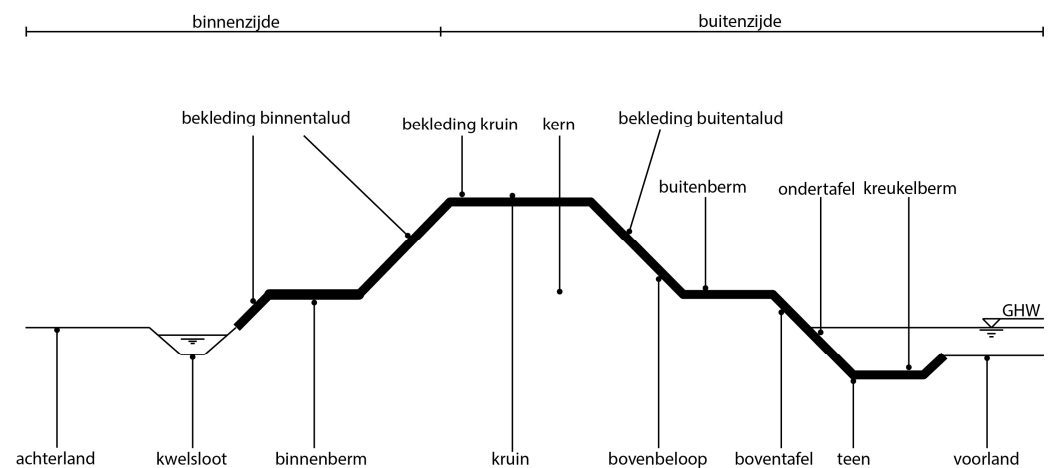
1 Dijk

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 immobilisanten 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. In beide gevallen vaak in combinatie met een filterconstructie.

In specifieke gevallen worden combinaties van oplossingen of alternatieve oplossingen toegepast.

1.5 Dijkbekleding Ontwerprandvoorwaarden⁴

DB1: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag 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 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 [Vier quick wins grond en klei; Optimalisaties voor dijkversterkingen; 2018].

DB2: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag 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 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 [Vier quick wins grond en klei; Optimalisaties voor dijkversterkingen; 2018].

DB3: Dijkbekleding – Realiseren kleilaag 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 [Vier quick wins grond en klei; Optimalisaties voor dijkversterkingen; 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 als een gesloten zode dient te zijn ontwikkeld conform de definitie in [Schematiseringshandleiding grasbekleding, 2018].

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].

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.

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 in paragraaf 1.2.2 opgenomen ontwerprandvoorwaarden 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.

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 – Grondwerk onder zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan geldt voor de grond waarop de filterlaag onder de zetsteen wordt aangebracht gemeten langs het vlak:

- Toegestane positieve afwijking: 0,02 m
- Toegestane negatieve afwijking: 0,02 m

DB9: Dijkbekleding – Toepassen filterlaag onder zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding met zetsteen dan dient deze zetsteen te zijn aangebracht op een filterlaag/uitvullaag. Hierbij geldt, indien deze filterlaag/uitvullaag bestaat uit granulair materiaal:

- Toegestane positieve afwijking: 0,00 m
- Toegestane negatieve afwijking: 0,04 m

Hierbij geldt verder dat deze filterlaag/uitvullaag in ieder geval een minimale laagdikte dient te hebben van 2Dn50 van de betreffende sortering.

DB10: 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

DB11: Dijkbekleding – Openingen tussen zetsteen

Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan geldt, in aanvulling op NEN 7024, 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.

DB12: 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 [NEN 7024] op elkaar zijn afgestemd.

DB13: 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 12620+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 [NEN 7024] genoemde proeven.

DB14: Dijkbekleding – Schoonmaken voor inwassen bij zetsteen

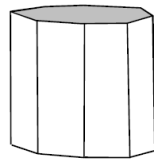
Indien de Dijk wordt voorzien van een Dijkbekleding van zetsteen, dan dienen de openingen tussen de zetstenen, voor het inwassen, te zijn schoongemaakt.

DB15: Dijkbekleding – Schoonmaken voor 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.

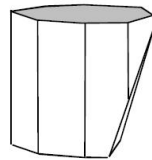
DB16: Dijkbekleding – Vorm van de zuilen

Indien de dijk wordt voorzien van een taludbekleding van zetsteen, dan geldt, in aanvulling op NEN 7024, dat de zuil een natuurlijke zuilvorm moet hebben als aangegeven in onderstaande figuur.

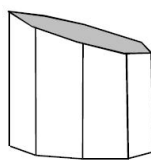


Natuurlijke zuilvorm

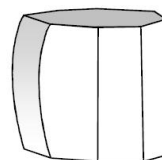
Afwijkende zuilvormen zoals hieronder aangegeven, worden in het ontwerp/uitvoering niet toegestaan.



Scherf van zijkant



Scherf van kop



Bolle zijkant

1.6 Technische innovaties

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 die moet voldoen aan de volgende voorwaarden:

- 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 een werkplan op hoe de proef wordt uitgevoerd en dient dit 5-werkdagen in voor start van de proef
- Opdrachtnemer nodigt Opdrachtgever uit voor het bijwonen van de proef, uiterlijk 5 werkdagen voor de proef
- Opdrachtnemer stelt een evaluatierapport op van de proef en doet zonodig 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.

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 of op een kraagstuk. 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 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).

BO2: Bodem- en Oeverbescherming – Niveau bovenkant Bodem- en Oeverbescherming

Voor de berekening van de stabiliteit van Bodem- en Oeverbescherming dient een karakteristiek niveau bekend te zijn van de bovenkant van de Bodem- en Oeverbescherming. Hierbij geldt voor het niveau waarop de Bodem- en oeverbescherming ontworpen dient te zijn:

$$h_{bodem} = MDL + D_{under} + 2D_{n50} + \delta_{s,syst} + \delta_{dredging}$$

Waarbij:

MDL	=	Gemiddelde niveau van de niet beschermde bodem/oever (Mean Dredging Level) [m]
D_{under}	=	dikte van de onderlaag van de Bodem-/Oeverbescherming (indien aanwezig) [m]
$\delta_{s,syst}$	=	systematische survey (on)nauwkeurigheid $\delta_{s,syst} = 0,07$ m
$\delta_{dredging}$	=	baggertolerantie $\delta_{dredging} = 0,20$ m bij een waterdiepte tot 15 m $\delta_{dredging} = 0,25$ m bij een waterdiepte vanaf 15 m

Afhankelijk van de beschikbare data, dient echter de verbeterde/gedetailleerdere versie van bovenstaande formule te zijn gehanteerd, waarbij ook rekening is

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

gehouden met de tolerantie $\delta_{D,under}$ in de laagdikte van de onderlaag.

$$h_{bodem} = MDL + D_{under} + 2 \cdot D_{n50,top} + \delta'_{under,surface}$$

$\delta'_{under,surface}$ = tolerantie in het niveau van de bovenkant van de onderlaag van de Bodem-/Oeverbescherming, inclusief random en systematische survey (on)nauwkeurigheid

$$\delta'_{under,surface} = \{(\delta_{dredging})^2 + (\delta_{D,under})^2 + (\delta_{s,r})^2\}^{0.5} + \delta_{s,sys}$$

Bovenstaande formule dient als uitgangspunt te worden gehanteerd. Alleen in overleg met Rijkswaterstaat kan van bovenstaande formule worden afgeweken.

Voor deze formule geldt:

$\delta_{D,under}$	=	tolerantie in de dikte van de onderlaag (indien aanwezig) [m]
$\delta_{s,r}$	=	random survey (on)nauwkeurigheid [m]
$\delta_{s,sys}$	=	systematische survey (on)nauwkeurigheid [m]

De toleranties dienen bepaald te worden aan de hand van [SBRCURnet, 2014].

De maximale hoogteligging van h_{bodem} wordt hierin bepaald door de laagste waterstand op de betreffende locatie, de maatgevende diepgang en de onderhoudsmarge. De onderhoudsmarge wordt bepaald door de verwachte sedimentatie en de gewenste onderhoudsfrequentie. Indien geen gegevens voorhanden zijn dient een minimale maat van 0,5m aangehouden te worden.

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

- Dat dient te worden voldaan aan de eisen zoals gesteld in de Bijlage 'Hydrografische werkzaamheden, geodetische werkzaamheden en areaalgegevens' bij het contract.
- De laagdikte die volgt uit 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 (productkeuring), 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 metingen 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 (systematisch en willekeurig t.o.v. halve bol referentie) conform [SBRCURnet, 2014].
- Conform het rekenvoorbeeld conform [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 conform [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 het ontwerp.

BO3: 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: 50%
- Hoofdschroef binnenvaart: 100%

BO4: Bodem- en Oeverbescherming – Maximale vaarsnelheid

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

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

BO5: Bodem- en Oeverbescherming – Scheepsgeïnduceerde belastingen

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming op scheepsgeïnduceerde belastingen zoals retourstroming, haalgolven en secundaire golven (i.e. interferentiepieken), dient de ontwerpmethode zoals beschreven paragraaf 4.3.4 van de [Rock Manual] te zijn gevolgd.

BO6: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid achter hoofdschroef

Bij het ontwerpen of verifiëren 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:

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

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	=	aangewend vermogen per schroef [W]
ρ_w	=	dichtheid water [kg/m ³]

BO7: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid achter boegschroeven in een straalbuis

Bij het ontwerpen of verifiëren 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:

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

Waarbij:

U_0	=	uitstroomsnelheid van de schroef of schroefbuis [m/s]
D_0	=	diameter van de uitstroomopening van de boegschroef constructie [m]
P	=	aangewend vermogen per schroef [W]
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 x h) wordt voor de uitstroming van de straal gerekend met een equivalente cirkelvormige uitstroomopening met:

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

BO8: Bodem- en Oeverbescherming – Uitstroomsnelheid voor een stuurrooster en Compact-Jet boegschroef

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

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

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

Waarbij:

$U_{0,m}$	=	uitstroomsnelheid van stuurrooster en Compact-Jet boegschroef [m/s]
U_0	=	uitstroomsnelheid volgens de formule voor een 'normale' [m/s] boegschroef zonder energieverlies (zie BO6) [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 $\left(\frac{\pi}{4} D_p^2 \right)$ van de stuurrooster boegschroef

n_0	=	aantal uitstroomopeningen van stuurrooster [-]
b	=	breedte van uitstroomopening [m]
h	=	hoogte van uitstroomopening [m]
Φ_{in} van	=	contractiefactor van het doorstroomoppervlak bij de instroming
γ	=	de stuurrooster boegschroef = 0,5. hoek tussen as van stuurrooster straal en vlak van uitstroomopening (kiel van schip) [°]

BO9: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld in vrije schroefstraal (vrijstaand schroeven en schroeven in Kort nozzles en boegschroeven)

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 BO10, 'Snelheidsveld in vrije schroefstraal (stuurroosters en compact jets)'.

BO10: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld in vrije schroefstraal (stuurroosters en compact jets)

Bij het ontwerpen of verifiëren 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:

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

BO11: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld en uitstroomsnelheid Pump-jets

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

Bij een Schottel Pump-Jet met 3 uitstroomopeningen is de uitstroming zeer

gecompliceerd. Voor dit gecompliceerde stroombeeld is nog geen rekenmethodiek ontwikkeld en dienen CFD berekeningen gemaakt te zijn of aanvullend onderzoek uitgevoerd te zijn waarmee wordt aangetoond dat de uitkomst voldoende robuust en betrouwbaar is.

BO12: Bodem- en Oeverbescherming – Maximale stroomsnelheid horizontale bodem (vrijstaande schroeven en kort nozzles)

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO13: Bodem- en Oeverbescherming – Locatie maximale bodemsnelheid (vrijstaande schroeven en kort nozzles)

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 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 ervan uit te gaan dat de maximale snelheid binnen deze bandbreedte aanwezig is.

BO14: Bodem- en Oeverbescherming – Meerdere schroeven

Bij het ontwerpen of verifiëren 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:

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

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

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

waarbij:

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

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

BO15: Bodem- en Oeverbescherming – Snelheidsveld loodrecht tegen de kademuur

Bij het ontwerpen of verifiëren 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:

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

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

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:

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

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

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.

BO16: Bodem- en Oeverbescherming – Schroefstraal tegen talud

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 ontwerprandvoorwaarden 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):

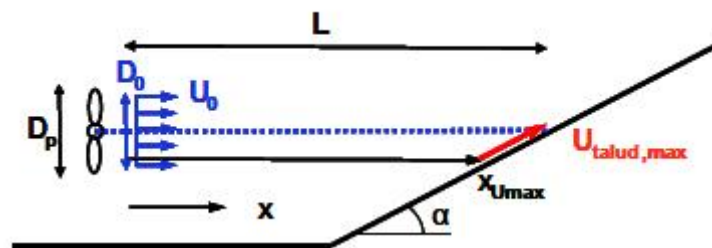
$f = 1,25$ bij een talud zonder (steiger)palen

$f = 1,5$ 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.

BO17: Bodem- en Oeverbescherming – Afstand kiel – onderkant schroef

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

- Bij zeevaart dient te zijn aangenomen dat de afstand tussen de onderkant van de sloopsschroef en de kiel van het schip 0,5 m bedraagt.
- Bij binnenvaart dient te zijn aangenomen dat de onderkant van de sloopsschroef samenvalt met de kiel van het schip.

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

BO18: Bodem- en Oeverbescherming – Bepalen van de steenstabiliteit onder stroombelasting

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming

dient voor het dimensioneren ervan, afhankelijk van het type bodembescherming en belastingsituatie, de formule van Izbash, dan wel die van Pilarczyk te zijn gehanteerd (zie hierna BO19 en BO20).

BO19: Bodem- en Oeverbescherming – Retourstroming en schroefstraalbelasting met 'Izbash'

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming 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}	=	karakteristieke 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 (CIRIA/CUR/CETMEF, 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

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

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming 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 zoals beschreven 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	Door stroming belaste randen
Breuksteen	0,75	1,5
Gabion/steenmatras	0,5	1,0
Blokkenmat	0,5	1,0

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.

BO21: Bodem- en Oeverbescherming – Robuustheid

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat voor alle belastingsituaties de minimaal te verwachten en in de norm NEN-EN 13383 (Waterbouwsteen) als zodanig aangegeven waarde van de karakteristieke maat van de gekozen standaard sortering waterbouwsteen altijd groter dient te zijn dan de benodigde waarde die uit de ontwerpberekening volgt, respectievelijk $D_{50,ben} = 1,2D_{n50,ben}$ en $M_{50,ben}$. Deze minimaal te verwachten steendiameters zijn beschreven in BO41.

Hierbij geldt dat bij de bepaling van de benodigde diameter ($D_{50,ben}$), dan wel massa ($M_{50,ben}$) altijd een robuustheidsfactor (f_r) van 1,1 op de minimaal benodigde steendiameter uit de ontwerpberekening dient te zijn toegepast.

BO22: Bodem- en Oeverbescherming – Steenstabiliteit onder golfbelasting – golven m.u.v. scheepsgolven

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 5.138 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]

BO23: Bodem- en Oeverbescherming – Steenstabiliteit onder golfbelasting – scheepsgolven

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 t/m 5.147 in de [Rock Manual] voor secundaire scheepsgolven (interferentiepieken) en formule (4.167)-(4.179) en 5.147 in de [Rock Manual] voor haalgolven.

BO24: Bodem- en Oeverbescherming – Passieve gronddruk bij kademuren

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO25: Bodem- en Oeverbescherming – Breedte bij kademuren

Bij het ontwerpen of verifiëren 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. Dit betekent dat voor de breedte van de bodembescherming formule 10-34 dient te zijn toegepast uit [PIANC 180].

BO26: Bodem- en Oeverbescherming – Aansluiting bij kademuren

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 geopenetreerde 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.

B027: Bodem- en Oeverbescherming – Toelaatbaar schadeniveau

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en 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 < 1/1000 per jaar	f > 1/100 per jaar
< 2	4	2
$2 \leq \cot\alpha < 3$	5	2
$3 \leq \cot\alpha < 4$	8	2
$4 \leq \cot\alpha < 6$	10	3
≥ 6	10	3

Waarbij:

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

B028: Bodem- en Oeverbescherming – Stabiliteit golfzone

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en 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) – $2H_s$, dan wel waterstand – Y_{zm} (voor haalgolven), met $Y_{zm} = 4,4D_{50}(z_{max}/(4 \cdot D_{50}) - 0,3\cot\alpha)$, 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 bepaald wordt door de secundaire golf (interferentiepiek) aan de hand van: $R_u = 2\xi H_i \sqrt{(\cos\beta)} \gamma_r \gamma_b$, met β = hoek van golfinval, = 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: $\gamma_b = 0,75$

$\cot \alpha = 4:$	$\gamma_b = 0,60$
$\cot \alpha = 3:$	$\gamma_b = 0,50$

BO29: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting zonder reflectie

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO30: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting met reflectie

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO31: Bodem- en Oeverbescherming – Ontgrondingsdiepte niet beschermde bodem onder schroefstraalbelasting bij recent aangebracht zand

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming dienen, bij een onbegrensde horizontale bodem conform BO33 of BO34, maar in een situatie waarbij de bodem bestaat uit recent aangebracht zand, de verwachte ontgrondingskuilen uit BO32 of BO33 met een factor 2 te zijn vermenigvuldigd.

BO32: Bodem- en Oeverbescherming – Filterconstructie

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 materiaaltransport 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.

BO33: Bodem- en Oeverbescherming – Filter

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat een geometrisch gesloten filter dient te zijn gerealiseerd middels een geotextiel ontworpen conform (SBRCUR, 2017) of een granulair filter opgebouwd uit één of meer voldoende dikke filterlagen.

B034: Bodem- en Oeverbescherming – Granulaire filters

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

B035: Bodem- en Oeverbescherming – Granulaire filters onder golven

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

B036: Bodem- en Oeverbescherming – Filter in combinatie met schroefstraalbelasting

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

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

B037: Bodem- en Oeverbescherming – Laagdikte

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming geldt dat de vereiste laagdikte altijd minimaal $2 \cdot D_{n50,gem}$ dient te bedragen. 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/m^2], overal groter is dan $(1 - n) \cdot t \cdot \rho_s$.

Waarbij:

t = laagdikte die over de gehele laag overal minimaal aanwezig dient te zijn [m].
 $t = 2 \cdot k_t \cdot D_{n50,gem}$ met k_t (laagdiktecoëfficiënt) = 1.
 n = porositeit van de steenlaag
 $n = 0,38$ bij mm-sorteringen
 $n = 0,40$ bij kg-sorteringen
 ρ_s = steendichtheid [kg/m^3]
 $D_{n50,gem}$ = de gemiddelde nominale steendiameter [m]. Deze worden weergegeven in Bijlage A.

B038: Bodem- en Oeverbescherming – Modelfactor

Bij het ontwerpen of verifiëren van een granulaire Bodem- en Oeverbescherming onder stromings- en golfbelasting dient een vanuit de literatuur erkende dan wel in deze ROW voorgeschreven methode te zijn gehanteerd voor het bepalen van de benodigde steensortering. Hierbij geldt dat deze formule aantoonbaar dient te zijn gericht op het bepalen van de bovengrens van het 90% betrouwbaarheidsinterval (dus de 5%-waarde) van de stabiele steendiameter. Ook is het toegestaan om

een formule te hanteren die gericht is op het bepalen van een gemiddelde verwachtingswaarde van de stabiele steendiameter, waarbij geldt dat de daarbij gehanteerde modelfactor minimaal 1,15 dient te bedragen op de benodigde steendiameter.

Indien uit de literatuur niet duidelijk is of er sprake is van een gemiddelde waarde dan wel van een bovengrenswaarde dan dient uitgegaan te worden van een modelfactor van 1,15 op de benodigde steendiameter.

Verder geldt dat als in de voorgeschreven literatuur meerdere ontwerp- en/of verificatiemethoden toepasbaar blijken te zijn voor de gegeven omstandigheden, dat te allen tijde de grootste waarde van de benodigde steendiameter dan wel de benodigde massa volgens de diverse methodes genomen dient te worden voor de bepaling van de benodigde steenbestorting conform [NEN-EN 13383, 2002].

BO39: Bodem- en Oeverbescherming – Stabiliteitsformules golfbelasting

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO40: Bodem- en Oeverbescherming – Materialen

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BO41: Bodem- en Oeverbescherming – Steendiameters

Bij het ontwerpen of verifiëren 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 (CIRIA/CUR/CETMEF, 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 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, voor afgeronde steen 0,80

De werkelijke waarden van de karakteristieke steendiameters dienen te volgen uit de uitgevoerde productcontroles. Bij het ontwerpen mag gebruik worden gemaakt van historische gegevens van de vermoedelijk toe te passen sortering, waarbij tenminste 10 proefnemingen beschouwd dienen te zijn.

Bij het ontwerp en de verificatie van de uitgevoerde werkzaamheden dient te zijn uitgegaan van veilige waarden van de betreffende karakteristieke steendiameter, verkregen uit het gemiddelde en eenmaal de standaarddeviatie van alle beschouwde proefnemingen. Bijvoorbeeld voor de D_{50} van de steensortering:

$$D_{50,veilig} = D_{50,gemiddeld} - \sigma_{D_{50}}$$

BO42: Bodem- en oeverbescherming – Levensduur

Bij het ontwerpen of verifiëren 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.

BIJLAGE A

ρ_{steen} (kg/m ³) ρ_{water} (kg/m ³) vormfactor F_s [-]		STANDAARD SORTERINGEN NEN-EN 13383							
		M_{gem}	M_{50}	n_{RR}	D_{50}	D_{n50}	D_{16}	D_{85}	D_{85}/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
	min		0,4	3,11	0,063	0,053	0,045	0,087	1,43
45/125 mm	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